

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ RADYASYON TAHMİNİ İÇİN BULANIK ZAMAN SERİSİ
YÖNTEMLERİ VE FOTOVOLTAİK SULAMA SİSTEMİ
OPTİMİZASYONUNDA UYGULANMASI**

DOKTORA TEZİ

Ceyda OLCAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

EYLÜL 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ RADYASYON TAHMİNİ İÇİN BULANIK ZAMAN SERİSİ
YÖNTEMLERİ VE FOTOVOLTAİK SULAMA SİSTEMİ
OPTİMİZASYONUNDA UYGULANMASI**

DOKTORA TEZİ

**Ceyda OLCAN
(507102111)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Elimhan MAHMUDOV

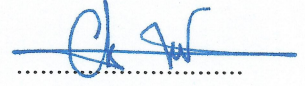
EYLÜL 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507102111 numaralı Doktora Öğrencisi Ceyda OLCAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GÜNEŞ RADYASYON TAHMİNİ İÇİN BULANIK ZAMAN SERİSİ YÖNTEMLERİ VE FOTOVOLTAİK SULAMA SİSTEMİ OPTİMİZASYONUNDA UYGULANMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

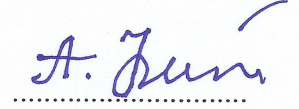
Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Elimhan MAHMUDOV**
İstanbul Teknik Üniversitesi



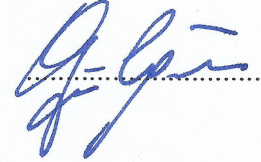
Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi



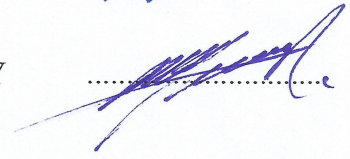
Prof. Dr. Abbas AZİMLİ
Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Gülgün KAYAKUTLU
İstanbul Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY
İstanbul Üniversitesi



Teslim Tarihi : 24 Haziran 2015
Savunma Tarihi : 28 Eylül 2015

ÖNSÖZ

Bu çalışmada desteklerinden dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Elimhan Mahmudov'a ve tez izleme komitesinde olan Prof. Dr. Cengiz Kahraman'a ve Prof. Dr. Abbas Azimli'ye teşekkürlerimi sunarım. Jürimde bulunan değerli hocalarım Doç. Dr. Gülgün Kayakutlu'ya ve Prof. Dr. Mehmet Mutlu Yenisey'e teşekkür ederim.

Bu süreç boyunca yanımda olan ve beni her zaman destekleyen aileme, tezime katkısı olan tüm yakınlarıma da teşekkür ederim.

Verilere ulaşmama yardımcı olan Meteoroloji Genel Müdürlüğü çalışanlarına ve ayrıca 2211-Yurt İçi Doktora Burs Programı kapsamında sağladığı maddi desteklerinden dolayı TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı birimine çok teşekkür ederim.

Haziran 2015

Ceyda Olcan
(Matematik-Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Yenilenebilir Enerji	2
1.2 Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik Sistemler	4
1.3 Güneş Radyasyonu Tanımı ve Tahmin Gerekliliği	7
1.3.1 Güneş radyasyonu ölçümü	9
1.3.2 Eğik yüzeyler	10
1.3.3 Tahmin gerekliliği.....	11
1.4 Tezin Amacı.....	12
1.4.1 Anlam ve önemi.....	12
1.4.2 Özgün değer ve yaygın etki.....	14
2. TAHMİN YÖNTEMLERİ	17
2.1 Yöntemlerin Sınıflandırılması.....	18
2.1.1 Tahmin doğruluğunun ölçülmesi	22
2.2 Zaman Serisi Yöntemleri	23
2.2.1 Ayrıştırma yöntemleri	26
2.2.2 Trend analizi	28
2.2.3 Düzeltme yöntemleri.....	29
2.2.3.1 Hareketli ortalama yöntemleri	30
2.2.3.2 Üstel düzeltme yöntemleri	31
2.2.3.3 Mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemleri.....	32
2.2.4 ARMA yöntemleri	32
2.2.4.1 Otoregresif süreç (AR)	33
2.2.4.2 Hareketli ortalama süreci (MA)	34
2.2.4.3 Otoregresif hareketli ortalama süreci (ARMA)	34
2.2.5 Box-Jenkins yöntemi	36
2.2.5.1 Aşama 1 – Modelin belirlenmeli	39
2.2.5.2 Aşama 2 – Modelin tahmini.....	51
2.2.5.3 Aşama 3 – Modelin uygunluk testi	53
2.2.5.4 Aşama 4 – Modelin gelecek tahmininde kullanılması	54
2.2.6 Box-Jenkins mevsimsel modeli	55
2.2.6.1 Mevsimsel zaman serisinin durağanlaştırılması.....	57
2.2.6.2 Mevsimsel modelin belirlenmesi	58
2.2.7 Diğer yaklaşımlar	61
2.2.8 Literatürdeki zaman serisi uygulamaları	62

2.3 Güneş Radyasyon Tahmini İçin Uygulamalar	68
2.3.1 Fiziksel modeller	70
2.3.1.1 NWP-tabanlı modeller	71
2.3.1.2 Bulut görüntüleme	71
2.3.1.3 Uydu-tabanlı modeller	72
2.3.1.4 Yeryüzünden görüntüleme	72
2.3.2 İstatistiksel yaklaşımlar	73
2.3.2.1 Tutarlı (naif) model.....	73
2.3.2.2 Zaman serileri analizi	73
2.3.2.3 Yapay zeka teknikleri.....	74
2.3.3 Yeni yaklaşımlar.....	75
2.3.4 Dünyada ve Türkiye’de kullanılan yöntemler	77
2.3.4.1 Dünyada uygulanan yöntemler	77
2.3.4.2 Türkiye’de uygulanan yöntemler	84
3. BULANIK ZAMAN SERİSİ YÖNTEMLERİ	87
3.1 Bulanık Zaman Serilerinin Tanımı	88
3.2 Çeşitli Bulanık Zaman Serisi Modelleri.....	90
3.2.1 Diğer bulanık zaman serisi modelleri.....	104
3.3 Literatürdeki Bulanık Zaman Serisi Uygulamaları.....	111
3.3.1 Ekonomi alanında uygulamalar.....	112
3.3.2 Eğitim alanında uygulamalar	115
3.3.3 Tarım alanında uygulamalar	116
3.3.4 Taşımacılık alanında uygulamalar.....	116
3.3.5 Diğer alanlarda uygulamalar	117
3.4 Geliştirilen Hibrid Bulanık Zaman Serisi Yöntemleri	120
3.4.1 Deneme-1 modeli	123
3.4.2 Deneme-2 modeli	123
3.4.3 Deneme-3 modeli	124
3.4.4 Deneme-4 modeli	124
3.4.5 Deneme-5 modeli	124
3.4.6 Deneme-6 modeli	125
3.4.7 Deneme-7 modeli	125
3.4.8 Deneme-8 modeli	126
4. TAHMİN YÖNTEMLERİNİN SEÇİMİ VE GÜNEŞ RADYASYONU	
TAHMİNİNDE UYGULANMASI.....	129
4.1 Box-Jenkins Uygulaması.....	129
4.1.1 Radyasyon test verisinde uygulama	132
4.2 Bulanık Zaman Serisi Uygulaması	140
4.2.1 Yıllık okul kayıt verisi ile uygulama	140
4.2.2 Günlük TAIFEX borsa indeksi verisi ile uygulama	142
4.2.3 Günlük TAIEEX borsa indeksi verisi ile uygulama	143
4.2.4 Günlük sıcaklık verisi ile uygulama	144
4.2.5 Radyasyon test verisi ile uygulama	145
4.2.5.1 Günlük radyasyon test verisi ile uygulama	146
4.2.5.2 Aylık radyasyon test verisi ile uygulama	148
4.3 Yöntem Seçimi	151
4.4 Geçmiş Veri	154
4.5 Tahmin Değerlerinin Üretilmesi	156
5. TAHMİN SONUÇLARININ PV SİSTEM TASARIMINDA	
KULLANILMASI	159

5.1 Tahmin Sonuçlarını Uygulama Alanları.....	159
5.1.1 PV sulama sisteminde uygulama	164
5.2 PV Sulama Sisteminde Optimizasyon.....	169
5.2.1 PV sulama sistemi hakkında genel bilgi	170
5.2.1.1 Avantaj ve dezavantajları	171
5.2.1.2 Sistem bileşenleri	175
5.2.2 PV sulama sisteminde tasarım ve optimal boyutlandırma	188
5.2.2.1 Sistem tasarım aşamaları	188
5.2.2.2 Su ihtiyacının belirlenmesi	192
5.2.2.3 Optimal eğim açısının hesaplanması	200
5.2.3 Optimal boyutlandırma yöntemleri.....	209
5.2.3.1 Boyutlandırma yöntemlerinin sınıflandırılması.....	211
5.2.3.2 Boyutlandırmada tek amaçlı optimizasyon.....	223
5.2.3.3 Boyutlandırmada çok amaçlı optimizasyon.....	237
5.3 Geliştirilen Çok Amaçlı Optimizasyon Modelleri	243
5.3.1 Çok amaçlı optimizasyon modeli-1	246
5.3.2 Çok amaçlı optimizasyon modeli-2	251
5.3.2.1 Çözüm yöntemleri	254
5.4 Optimal Boyutlandırma Uygulama Sonuçları.....	257
5.4.1 Örnek PV sulama sistemi için veriler	257
5.4.2 Model-1 sonuçları.....	264
5.4.3 Model-2 sonuçları.....	271
6. SİMÜLASYON VE PERFORMANS ANALİZİ	279
6.1 Yazılım Araçları.....	279
6.1.1 PV pompalama sistemi için uygulama	283
6.2 Performans Parametreleri	285
6.3 Performans Analizleri.....	291
6.3.1 Model-1 sonuçlarına göre aylık performans analizleri	291
6.3.2 Model-1 sonuçlarına göre yıllık performans analizleri.....	293
6.3.3 Model-2 sonuçlarına göre yıllık performans analizleri.....	294
6.4 Güneş Radyasyonu Tahmin Yönteminin Performansa Etkisi	294
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	299
KAYNAKLAR.....	305
EKLER.....	343
ÖZGEÇMİŞ	367

KISALTMALAR

ABC	: Yapay ari kolonisi
AC	: Alternatif akım
ACF	: Otokorelasyon fonksiyonu
ACS	: Yıllık sistem maliyeti
ADF	: Arttırılmış Dickey-Fuller
AIC	: Akaike bilgi kriteri
ALCC	: Yıllık kullanım maliyeti
AMPL	: Matematiksel programlama dili
ANFIS	: Adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi
AR	: Otoregresyon
ARARMA	: Parzen'in ARMA modeli (ARAR modeli)
ARCH	: Otoregresif koşullu değişen varyans
ARIMA	: Otoregresif entegre hareketli ortalama yöntemi
ARIMAX	: Dış değişkenlerle ARIMA
ARMA	: Otoregresif hareketli ortalama
ARMAX	: Dış değişkenlerle ARMA
ATVF	: Uyarlamalı zamana bağlı bulanık zaman serisi
BCR	: Kazanç-maliyet oranı
BDI	: Baltık kuru yük taşımacılığı endeksi
BLR	: Pilin yüke oranı
BZS	: Bulanık zaman serisi
CARDS	: Eşleştirilmiş otoregresif ve dinamik sistem
CART	: Sınıflandırma ve regresyon ağaçları
CEP	: Enerji ve İşlemler Merkezi
CF	: Kapasite faktörü
COE	: Enerji üretim maliyeti
CPDA	: Kümülatif olasılık dağılım yaklaşımı
CRF	: Geri kazanım faktörü
CSP	: Konsantre güneş gücü
CWR	: Bitki su tüketimi
DAX	: Alman borsası endeksi
DB-PVPS	: Direkt-bağlı PV pompalama sistemi
DC	: Doğru akım
DE	: Enerji eksikliği
DHF	: Dickey- Hasza-Fuller testi
DHI	: Dağınık yatay radyasyon (<i>D</i>)
DJIA	: Dow-Jones Endüstriyel Ortalama
DNI	: Direkt normal radyasyon
DOD	: Deşarj derinliği
DPS	: Enerji eksikliği
DPSP	: Güç tedarik eksikliği olasılığı
DW	: Durbin-Watson
ECMWF	: Avrupa Orta Vadeli Meteorolojik Tahminler Merkezi
EENS	: Karşılanmaması beklenen enerji

EKK	: En küçük kareler
ELECTRE	: Gerçeği yansıtan eleme ve seçim yöntemi
ELF	: Eşdeğer kayıp faktörü
ELR	: Enerjinin yüke oranı
EPG	: Enerji fazlası
ET	: Evapotranspirasyon
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FFT	: Hızlı Fourier dönüşümü
FLNN	: Bulanık mantık sinir ağı
FPE	: Final tahmin hatası
FSARIMA	: Bulanık mevsimsel otoregresif entegre hareketli ortalama
FSFTS	: Bulanık stokastik bulanık zaman serileri
FTS	: Fuzzy time series
FWWNN-AR	: Fonksiyonel ağırlıklı dalgacık sinir ağı tabanlı duruma bağlı AR
GA	: Genetik algoritma
GARCH	: Genelleştirilmiş otoregresif koşullu değişen varyans
GEM	: Küresel çevresel çok ölçekli model
GFS	: Küresel tahmin sistemi
GHI	: Global (küresel) yatay radyasyon (G)
GM	: Gri model
GSMH	: Gayri Safi Millî Hasıla
HEGY	: Hylleberh-Engle-Granger-Yoo testi
HOGA	: Genetik algoritmalar ile hibrid optimizasyon
HOMER	: Yenilenebilir elektrik için hibrid optimizasyon modeli
HSI	: Hang Seng endeksi
IBDT	: İndeks tabanlı bulanıklık kaldırma tekniği
IBWT	: İndeks tabanlı ağırlıklandırma tekniği
ICFA	: Fonksiyonel yaklaştırma için gelişmiş kümeleme
IMA	: Entegre hareketli ortalama
IRR	: İç verim oranı
I-V	: Akım-gerilim
IWR	: Sulama ihtiyacı
İMKB	: İstanbul Menkul Kıymetler Borsası
JIT	: Tam zamanında model
LA	: Otonomi seviyesi
LCC	: Yaşam döngüsü maliyeti
LCE	: Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (veya LCOE)
LCR	: Yük kapsama oranı
LEGP	: Üretilecek enerji eksikliği olasılığı
LLP	: Yük kaybı olasılığı
LOE	: Enerji kaybı
LOESS	: Yerel polinomial regresyon uydurma
LOL	: Yük kaybı
LOLE	: Beklenen yük kaybı
LOLH	: Yük saatleri kaybı
LOLP	: Yük kaybı olasılığı
LOPP	: Güç kaybı olasılığı
LPSP	: Güç tedarik kaybı olasılığı
LR	: En çok olabilirlik (benzerlik) değeri
LUEC	: Seviyelendirilmiş birim elektrik maliyeti

MA	: Hareketli ortama
MAD	: Ortalama mutlak sapma
MAPC	: Ortalama mutlak yüzde değişim
MAPE	: Ortalama mutlak yüzde hata
MBD	: Ortalama tabanlı kesikleştirme
MBE	: Ortalama bias hatası
ME	: Ortalama hata
MEPA	: Minimum entropi prensibi yaklaşımı
MF	: Eşleşme faktörü
MLIP	: Karmaşık doğrusal tamsayıli problemi
MLP	: Çok katmanlı algılayıcılar
MMF	: Çoklu model yapısı
MOEA	: Çok amaçlı evrimsel algoritma
MOS	: Model çıktı istatistikleri
MPE	: Ortalama yüzde hata
MPPT	: Maksimum güç noktası takipçisi
MSE	: Ortalama hata kare
NAM	: Kuzey Amerika mezo-ölçekli modeli
NASDAQ	: Ulusal Menkul Değer Tüccarları Otomatik Piyasa Fiyatlandırma Birliği
NCEP	: Çevresel Tahmin Ulusal Merkezleri
NIWR	: Net sulama ihtiyacı
NLN	: Mantık sinir ağları
NOCT	: Nominal çalışma hücre sıcaklığı
NPV	: Net şimdiki değer
NREL	: Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
NWP	: Sayısal hava durumu tahmini
PACF	: Kısmi otokorelasyon fonksiyonu
PE	: Yüzde hata
PR	: Performans oranı
PSEP	: Üretilen enerji fazlası yüzdesi
PSH	: Pik (zirve) güneş saatleri
PSO	: Parçacık sürü optimizasyonu
PV	: Fotovoltaik
PVGIS	: Fotovoltaik coğrafi bilgi sistemi
QMOO	: Çok amaçlı kuyruk optimizasyon yazılımı
RBF	: Radyal taban fonksiyonu
RBFN	: Radyal tabanlı fonksiyon ağı
REPG	: Fazla üretilen bağılı güç
RMSE	: Ortalama hata karenin karekökü
RNN	: Tekrarlı sinir ağları
RPD	: Tekrar parçalama tabanlı kesikleştirme
RSM	: Yanıt yüzey yöntemi
RTM	: Işınımsal transfer modelleri
SAC	: Örneklem otokorelasyonu fonksiyonu
SARIMA	: Mevsimsel otoregresif entegre hareketli ortalama
SBC	: Schwarz-Bayes kriteri
SC	: Schwarz kriteri
SDE	: Hataların standart sapması
SDO	: Simulink Tasarım Optimizasyonu

SF	: Güneş fraksiyonu
SIR	: Kazanç-yatırım oranı
SOC	: Şarj durumu
SODA	: Güneş radyasyon verisi
SOFM	: Kendi kendini organize eden haritalar
SPAC	: Örneklem kısmi otokorelasyon fonksiyonu
SPL	: Sistem performans seviyesi
SSR	: Hata kareler toplamı
STAR	: Otoregresif düzgün geçiş
STC	: Standart test koşulları
SVM	: Destek vektör makinesi
SVR	: Destek vektör regresyonu
ŞB	: Şebekeye bağlı sistem
TAC	: Toplam yıllık maliyet
TAIEX	: Tayvan Borsası Sermaye Ağırlık Endeksi
TAIFEX	: Tayvan Borsası Gelecek Sermaye Endeksi
TALE	: Toplam yıllık enerji yük talebi
TB	: Tek başına sistem
TDH	: Toplam dinamik yükseklik
TDNN	: Zaman gecikmeli sinir ağı
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TEL	: Toplam enerji kaybı
TFA	: Yamuk bulanıklaştırma yaklaşımı
TMY	: Tipik meteorolojik yıl
TSI	: Toplam gökyüzü görüntüleme
TÜFE	: Tüketici fiyat endeksi
TÜMAS	: Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi
UCM	: Gözlenmeyen bileşenler modeli
UF	: Kullanım faktörü
UL	: Karşılanmayan talep
VAR	: Vektör otoregresif
VARMA	: Vektör otoregresif hareketli ortalama
WCDDT	: Ağırlıklı c-bulanık karar ağacı
WRF	: Hava durumu araştırma ve tahmin modeli
YSA	: Yapay sinir ağları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Türkiye için güç kaynakları ve tahminler	7
Çizelge 2.1 : Tahmin doğruluğu hesabında kullanılan hata ölçüleri.....	22
Çizelge 2.2 : ARMA modellerinin özellikleri.....	35
Çizelge 2.3 : Zaman serisiyle otokorelasyon fonksiyonu arasındaki ilişki	42
Çizelge 2.4 : AR, MA ve ARMA modellerinin ACF ile PACF yapısı	50
Çizelge 2.5 : Durağanlık ve tersine çevrilebilirlik koşulları.....	52
Çizelge 2.6 : İstatistiksel olarak anlamlı gecikmeler.....	59
Çizelge 2.7 : Box-Jenkins modellerinin özellikleri.....	61
Çizelge 2.8 : Zaman serisi yöntemlerini uygulayan çalışmalar	65
Çizelge 2.9 : Meteorolojik uydu verisi kullanan çalışmalar	78
Çizelge 2.10 : Yeryüzünden çekilen görüntüleri kullanan çalışmalar.....	78
Çizelge 2.11 : NWP kullanan çalışmalar	79
Çizelge 2.12 : Angstrom modelini kullanan çalışmalar	79
Çizelge 2.13 : Yapay zeka kullanan çalışmalar	80
Çizelge 2.14 : Türkiye’de yapılan çalışmalar	85
Çizelge 3.1 : Taban belirleme tablosu	98
Çizelge 3.2 : (3 – 4 – 5) kuralında aralık sayısı belirleme tablosu	104
Çizelge 3.3 : Göreceli farklara göre taban belirleme tablosu.....	105
Çizelge 3.4 : Ekonomi alanında BZS çalışmaları	113
Çizelge 3.5 : Eğitim alanında BZS çalışmaları.....	115
Çizelge 3.6 : Geliştirilen hibrid modellerin aşamalarına göre özeti.....	127
Çizelge 4.1 : Aday modeller arasından seçilen modeller	138
Çizelge 4.2 : Seçilen modellerin hata sonuçları	139
Çizelge 4.3 : Okul kayıt verisi için süre ve hata sonuçları	142
Çizelge 4.4 : TAIFEX verisi için süre ve hata sonuçları	143
Çizelge 4.5 : TAIEX verisi için süre ve hata sonuçları	144
Çizelge 4.6 : Sıcaklık verisi için süre ve hata sonuçları	145
Çizelge 4.7 : Günlük radyasyon test verisinin hata sonuçları.....	147
Çizelge 4.8 : Günlük verinin mevsimsel indekslerle hata sonuçları	147
Çizelge 4.9 : Aylık radyasyon test verisinin hata sonuçları.....	149
Çizelge 4.10 : Aylık verinin mevsimsel indekslerle hata sonuçları	149
Çizelge 4.11 : 2000-2005 yılları için aylık radyasyon tahmini hata sonuçları	153
Çizelge 5.1 : PV enerji sistemlerinde büyüklük optimizasyonu çalışmaları	163
Çizelge 5.2 : Literatürdeki PV pompalama sistemi optimizasyon çalışmaları	167
Çizelge 5.3 : Literatürdeki eğim açısı optimizasyonu çalışmaları	169
Çizelge 5.4 : Örnek bir PV panelinin elektriksel özellikleri.....	181
Çizelge 5.5 : Bitki türleri için yaklaşık mevsimsel su ihtiyaçları	196
Çizelge 5.6 : $\overline{H_0}$ hesabında her ay için önerilen gün sayıları.....	204
Çizelge 5.7 : Enleme göre otonomi günlerinin sayısı.....	225
Çizelge 5.8 : Uygulama türlerine göre istenen LLP değerleri	226
Çizelge 5.9 : Literatürde LLP eğrisi kullanan boyutlandırma çalışmaları.....	231
Çizelge 5.10 : Literatürde LPSP eğrisi kullanan boyutlandırma çalışmaları.....	233

Çizelge 5.11 : PV modül malzemesine göre standart teknik veriler	237
Çizelge 5.12 : Farklı senaryolar için güvenilirlik hesaplamaları	249
Çizelge 5.13 : Model-1 (senaryo-1) DPSP ve LCC sonuçları	266
Çizelge 5.14 : Model-1 (senaryo-2) DPSP ve LCC sonuçları	268
Çizelge 5.15 : Model-1 (senaryo-3) DPSP ve LCC sonuçları	269
Çizelge 5.16 : Model-1 (senaryo-4) DPSP ve LCC sonuçları	271
Çizelge 5.17 : Model-1 için optimal boyutlandırma sonuçları (aylık veri)	271
Çizelge 5.18 : Model-2 ile Model-1'in optimal boyutlandırma sonuçları (s-1)	273
Çizelge 5.19 : Model-2 ile Model-1'in optimal boyutlandırma sonuçları (s-2)	274
Çizelge 5.20 : Model-2 ile Model-1'in optimal boyutlandırma sonuçları (s-3)	275
Çizelge 5.21 : Model-2 ile Model-1'in optimal boyutlandırma sonuçları (s-4)	276
Çizelge 5.22 : Model-2 için optimal boyutlandırma sonuçları (yıllık veri)	276
Çizelge 5.23 : Model-1 için optimal boyutlandırma sonuçları (yıllık veri)	277
Çizelge 6.1 : PV sistemleri için boyutlandırma ve simülasyon yazılım araçları	280
Çizelge 6.2 : Model-1 sonuçlarına aylık ortalama performans değerleri	292
Çizelge 6.3 : Model-1 sonuçlarına yıllık ortalama performans değerleri	293
Çizelge 6.4 : Model-2 sonuçlarına yıllık ortalama performans değerleri	294
Çizelge 6.5 : Tahmin yöntemlerinin performans karşılaştırması	297
Çizelge C.1 : 1985-2005 yılları için gerçek aylık değerler ile tahminler	355
Çizelge F.1 : Seçilen PV sistem bileşenleri için teknik özellikler ve fiyatlar	359
Çizelge F.2 : Antalya'da PV sulama sistemi için varsayılan veriler	359

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Türkiye güneş radyasyon haritası	6
Şekil 1.2 : Türkiye için toplam güç ve elektrik tüketimi	7
Şekil 1.3 : Direkt, dağınık ve yansıyan radyasyon çeşitleri	8
Şekil 1.4 : Sabit yatay, eğik ve takip eden toplayıcı türleri	10
Şekil 2.1 : Tahmin yöntemlerinin sınıflandırılması	18
Şekil 2.2 : İstatistiksel yöntemlerin adımları	19
Şekil 2.3 : Yatay veri seyri (sol) ve genel artış trendi (sağ).....	20
Şekil 2.4 : Mevsimsel veri seyri	20
Şekil 2.5 : Döngüsel veri seyri	21
Şekil 2.6 : Trend, mevsimsel ve rastsal değişkenlik gösterimi	26
Şekil 2.7 : Zaman serilerinde veri seyirlerinin sınıflandırılması.....	27
Şekil 2.8 : Düzeltme yöntemlerinin sınıflandırılması.....	30
Şekil 2.9 : Box-Jenkins tahmin yönteminin aşamaları	38
Şekil 2.10 : Havayolu modeli için zaman grafiği.....	57
Şekil 2.11 : Güneş radyasyon tahmin yöntemleri	70
Şekil 2.12 : Çözünürlüğe göre radyasyon tahmin yöntemleri	76
Şekil 3.1 : Bulanık zaman serisi ile tahmin adımları.....	88
Şekil 3.2 : 6 genden oluşan kromozom yapısı	99
Şekil 3.3 : Yamuk bulanık sayı	103
Şekil 4.1 : Aylık radyasyon test verisinin korelogramı	133
Şekil 4.2 : Aylık radyasyon (sol) ve mevsimsel fark (sağ) grafikleri.....	134
Şekil 4.3 : Mevsimsel fark alınmış test verisinin korelogramı	134
Şekil 4.4 : Mevsimsel fark alınmış test verisinin birim kök testi.....	135
Şekil 4.5 : Aylık radyasyon test verisinde çeşitli farkların grafikleri.....	136
Şekil 4.6: ARIMA(0,1,1) * (0,1,0) ₁₂ gerçek ve tahmin karşılaştırmalı grafiği.....	139
Şekil 4.7 : Okul kayıt verisinin grafiği	141
Şekil 4.8 : TAIFEX verisinin grafiği.....	142
Şekil 4.9 : TAIEEX verisinin grafiği	143
Şekil 4.10 : Sıcaklık verisinin grafiği	144
Şekil 4.11 : Günlük radyasyon test verisinin grafiği	146
Şekil 4.12 : Aylık radyasyon test verisinin grafiği.....	148
Şekil 4.13 : Gerçek değerler ile deneme-8 modeli tahminlerinin karşılaştırılması..	150
Şekil 4.14 : Chen (2002) 2.derece modelin kalıntılarının grafiği	151
Şekil 5.1 : Bir güneş PV su pompalama sisteminin tasarımı	165
Şekil 5.2 : PV sulama sisteminin çalışma prensibi.....	170
Şekil 5.3 : Güneş enerjili sulama örneği.....	175
Şekil 5.4 : Tipik bir PV sulama sisteminin gösterimi.....	176
Şekil 5.5 : PV su pompalama sistemi	177
Şekil 5.6 : Tipik bir PV sulama sisteminin akış diyagramı	178
Şekil 5.7 : PV hücresi, modülü, paneli ve dizisi	179
Şekil 5.8 : Bir PV hücresinin eşdeğer devresi.....	180

Şekil 5.9 : PV hücresinin I-V eğrisi	181
Şekil 5.10 : Bir PV modülün güç/voltaj/akım değerleri.....	186
Şekil 5.11 : Statik ve toplam dinamik yükseklik	191
Şekil 5.12 : Bitkinin sulanmasıyla ilgili hidrolojik döngü	192
Şekil 5.13 : Çeşitli bitki tipleri için ET_{crop} / ET_0 oranları.....	196
Şekil 5.14 : Bitki katsayısının büyüme mevsimlerine göre değerleri	197
Şekil 5.15 : Atmosfer dışı radyasyonun dağılıma, yansıma ve yayılması.....	201
Şekil 5.16 : Güneş enerjisi uygulamalarında temel açılar	202
Şekil 5.17 : PV sistemde optimal boyutlandırma aşamaları.....	209
Şekil 5.18 : Güneşli bir güne ait radyasyon ve PSH değerleri	210
Şekil 5.19 : Optimal boyutlandırma yöntemlerinin sınıflandırılması	212
Şekil 5.20 : Enerji dengesine dayalı boyutlandırma süreci	225
Şekil 5.21 : Örnek bir boyutlandırma eğrisi (en düşük maliyetli sistem gösterimi)	227
Şekil 5.22 : Örnek bir LPSP eğrisi ($LPSP = 0,01$)	228
Şekil 5.23 : Varsayılan PV su pompalama sistemi	244
Şekil 5.24 : Optimal boyutlandırma için Model-1 algoritması.....	248
Şekil 5.25 : Seçilen örnek PV hücresi.....	259
Şekil 5.26 : Seçilen örnek motor-pompa ünitesi.....	260
Şekil 5.27 : Seçilen örnek invertör.....	261
Şekil 5.28 : Seçilen örnek su tankı.....	262
Şekil 5.29 : Seçilen örnek şarj regülatörü.....	262
Şekil 5.30 : Seçilen örnek pil.....	263
Şekil 5.31 : Senaryo-1 ve 2 için sistem bileşenleri	266
Şekil 5.32 : Model-1 (senaryo-1), 2 günlük depolama için DPSP ve LCC eğrileri.	267
Şekil 5.33 : Senaryo-3 ve 4 için sistem bileşenleri	269
Şekil 6.1 : Farklı performans parametrelerinin senaryolara göre değişimi	292
Şekil 6.2 : Tahmin modellerinin enerji verimi karşılaştırması	298
Şekil G.1 : PVSYST yazılımının ekran görüntüsü-1	360
Şekil G.2 : PVSYST yazılımının ekran görüntüsü-2	360
Şekil G.3 : Antalya 2005 yılı için günlük ortalama radyasyon şiddetleri	361
Şekil G.4 : Güneş enerjisi ile su ihtiyaçları (sol), ortalama tank doluluğu (sağ).....	361
Şekil G.5 : Aylık ortalama enerji ve su kullanım sonuçları	361
Şekil H.1 : Depolama biriminin aylık ortalama şarj durumu	362
Şekil H.2 : Üretilen ve talep edilen enerji karşılaştırması.....	363
Şekil H.3 : Aylık ortalama kullanılan enerji miktarı	364
Şekil H.4 : Aylık ortalama eksik kalan enerji miktarı	365
Şekil H.5 : Aylık ortalama artan enerji miktarı	366

GÜNEŞ RADYASYON TAHMİNİ İÇİN BULANIK ZAMAN SERİSİ YÖNTEMLERİ VE FOTOVOLTAİK SULAMA SİSTEMİ OPTİMİZASYONUNDA UYGULANMASI

ÖZET

Bir yüzeye ulaşan güneş ışınları, Dünya atmosferinin dinamik özelliklerine göre rastsal olarak değişkenlik göstermektedir. Güneş enerjisi uygulamalarını verimli şekilde planlamak, yönetmek ve sistem tasarımcılarına rehber olabilmek amacıyla, güneş radyasyonunun doğru tahminleri gerekli olmaktadır. Bu kapsamda, tez çalışmasında çeşitli zaman serisi modelleri ve bulanık mantıkla entegre edilmiş yöntemler incelenmiştir. Test verileri kullanılarak deneysel analizler gerçekleştirilmiş ve tahmin yöntemlerinin performansı istatistiksel tahmin hatalarına göre karşılaştırılmıştır. Bulanık zaman serileri, belirsiz veriler için etkin tahmin araçlarıdır ve ekonomi, eğitim gibi alanlarda sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışma, bulanık zaman serilerini düzensiz ve rastsal yapıya sahip radyasyon tahmininde uygulayan ilk çalışmadır. Ek olarak mevcut bulanık modeller 8 farklı hibrid model şeklinde iyileştirilmiş, orijinal modellerin başarılı olan aşamaları birleştirilmiş ve geliştirilmiştir. Radyasyon verisi mevsimsel dalgalanmalar içerdiği için, tahmin hatasını azaltmak amacıyla mevsimsellikten arındırma süreci uygulanmıştır. Sonuçlara göre geliştirilen Deneme-8 modeli, diğer bulanık modeller ve klasik zaman serisi yöntemlerine kıyasla en yüksek performansı göstermiştir. Güneş radyasyonu ve benzer şekilde sıcaklık tahminleri, birçok güneş enerjisi uygulamasında girdi olarak kullanılmaktadır.

Tek başına fotovoltaik (PV) su pompalama sistemleri, uzak bölgelerde sulama amacıyla güneş enerjisinden etkin şekilde faydalanmaktadır. Ancak güneş enerjisinin rastsal değişkenliği ve tahmin edilemezliği nedeniyle, PV uygulamaların yayılması zorlaşmakta ve sistem tasarımı karmaşıklaşmaktadır. Bu tür sistemlerin optimal boyutlandırılması başlıca görevlerden biridir. Bu nedenle tez çalışmasında tekno-ekonomik optimizasyon modelleri de önerilmiştir. Böylece su depolama tankı veya pilleri kullanan PV su pompalama sistemi bileşenlerinin kapasitelerini optimal şekilde belirlemek amaçlanmıştır. Önerilen modeller güvenilirlik ve maliyet göstergelerine göre geliştirilmiştir. Güvenilirlik, güç tedarik eksikliği olasılığıyla, maliyet ise yaşam döngüsü maliyetleriyle ifade edilmiştir. Burada önerilen ikinci optimizasyon modeliyle literatüre yenilik getirilmiş ve iki amaç fonksiyonu analitik olarak tanımlanmıştır. Çok amaçlı optimizasyon yöntemlerinden olan ağırlıklandırma tekniği ile uzlaşık çözüm araştırılmıştır. Mevcut boyutlandırma çalışmalarında çok amaçlı boyutlandırma yöntemleri genellikle simülasyonlar ve sezgiseller ile uygulanmıştır. Analitik boyutlandırma yöntemleri ise tek bir amaç fonksiyonuna odaklanmıştır.

PV su pompalama sisteminin boyutlandırılması, bitki su ihtiyaçları ve optimal eğim açısı için detaylı analizleri de kapsamaktadır. Uzun dönemli güneş radyasyonu ve sıcaklık zaman serileri gerekliliğinin yanı sıra, sulama ihtiyaçlarının doğru tahminleri belirlenmelidir. PV dizisinin eğimi çoğunlukla enleme eşit bir açıyla kabul

edilmektedir. Fakat yıllık, mevsimlik ve hatta aylık sıklıkta optimal eğim açısının hesaplanması ve sistemin bu eğime göre yerleştirilmesi, daha yüksek sistem verimiyle sonuçlanmaktadır. Bu nedenle eğim açısının düzenli olarak değiştirilmesi ve güneş enerjisi çıktısının en büyüklenmesi önerilmiştir. Geliştirilen optimal boyutlandırma modelleri tüm bu iyileştirmeleri içermektedir ve PV su pompalama veya sulama sistemlerinin kapsamlı şekilde optimizasyonunu gerçekleştirmektedir. Eğim açıları yıllık ve mevsimsel olarak farklı senaryolarda değiştirilmiştir. Ayrıca depolama birimi, su tankı ve piller olarak farklılaştırılmış, bu senaryoların performansları karşılaştırılmıştır. Antalya’da yerleştirilen limon bahçesi PV sulama sistemi örnek uygulama olarak varsayılmıştır. Önerilen analitik model (Model-2) sayısal algoritmaya dayanan modelle (Model-1) karşılaştırılmıştır. Boyutlandırma sonuçları 25 yıllık analiz için benzer elde edilmiştir. Böylece analitik modelin sonuçlarının doğruluğu gösterilmiştir. Çeşitli performans parametrelerine göre performans analizi gerçekleştirilmiş, seçilen güneş radyasyonu tahmin yöntemlerinin optimal boyutlandırma sonuçlarına etkisi incelenmiştir.

FORECASTING SOLAR RADIATION WITH FUZZY TIME SERIES AND OPTIMIZATION APPLICATION IN PHOTOVOLTAIC IRRIGATION SYSTEM

SUMMARY

Renewable and environmentally friendly green technologies are more preferable and currently show an increasing importance over traditional energy sources such as fossil fuels and nuclear energy. Solar energy is one of the cleanest among renewable resources and has lower maintenance costs compared to other alternatives, e.g. wind, biomass. Prevention of contaminating gases' emissions and low maintenance costs are the benefits of solar energy whereas high investment costs, dependency on weather conditions and hourly changes in day-time are the main disadvantages. Solar radiation incident on a surface varies randomly due to the dynamic characteristics of Earth's atmosphere. This random variability and unpredictability of solar radiation makes difficult the penetration of solar energy implementations and complicate the system design. In order to plan, manage solar energy installations efficiently and to guide system designers, accurate solar radiation forecasting is essential. For this purpose, this study analyzes various time series and fuzzy integrated forecasting methods. Solar radiation forecasting methods are generally classified in three types: physical models that depend on meteorological parameters, statistical methods that depend on past radiation values and new approaches including non-parametric statistical methods and stochastic forecasting methods. Besides the literature review of solar radiation forecasting methods, time series models and Box-Jenkins methodology have been described in details. Fuzzy time series (FTS) models have been developed for linguistic and nonlinear data where the assumption of stationarity is no longer needed. FTS are effective forecasting tools with uncertain data and they are widely used in economics, education, etc. This study is the first successful attempt at implementing FTS on radiation which possesses an irregular and random nature.

The aim is to find the methods having higher accuracy of forecasting for solar radiation. Therefore experimental tests have been carried out with test data and the performances of forecasting methods are compared according to statistical forecasting errors. These methods are traditional time series, seasonal autoregressive integrated moving average models and fuzzy time series models. Additionally, existing fuzzy models have been improved using 8 different hybrid models which combine and develop aspects of the original FTSs. As the radiation contains seasonal pattern, a deseasonalization procedure has been performed in order to reduce errors. The forecasts were produced with deseasonalized data after seasonal index calculations were performed. To calculate seasonal indices, a "ratio to moving averages" technique was used. The experimental tests have been also realized for original and deseasonalized data. The calculations of fuzzy forecasts have been applied easily with codings developed in MATLAB and time series forecasts using statistical softwares. The results have proved that the proposed Hybrid Model-8

shows higher performance compared to other fuzzy models and traditional time series methods. Furthermore, the deseasonalization procedure applied to fuzzy models has been founded more successful considering the decrease in the forecasting error results. After determining the models which have smaller errors especially with solar radiation test data, the real datasets of both radiation and temperature have been obtained from Turkish State Meteorological Service. Then the missing values have been estimated with interpolation and the forecasting models have been applied with real data of 7 provinces of Turkey for a period 25 years which is considered in this study as the lifetime of solar energy systems. These forecasts of solar radiation and similarly of temperature are utilizable in many solar energy applications.

Once solar radiation is properly forecasted, many applications are possible in energy systems that transform solar beams into electrical energy. Designing, planning, optimal sizing and decision making, site selection or optimal allocation of energy systems and also meteorological forecasting need solar radiation data. Accurate prediction of radiation improves the efficiency of these applications and prevents unnecessary expenses with the appropriate sizing of the system's components. Photovoltaic (PV) systems are developed as stand-alone, grid-connected or hybrid systems. In stand-alone systems, all the electricity demand is supplied by the PV system. Stand-alone PV water pumping systems effectively use solar energy for irrigation purposes in remote areas. However the random variability and unpredictability of solar energy makes difficult the penetration of PV implementations and complicate the system design. An optimal sizing of these systems proves to be essential. The optimal sizing and techno-economic evaluation of PV water pumping systems is basically dependent to the required hydraulic energy and its relation to monthly average daily solar radiation.

In general, optimal sizing methods which commonly considered single objective are carried out with simulations and heuristic methods. In the present study, multi-objective optimization is handled and a mathematical model is defined according to reliability and cost parameters. This study also recommends techno-economic optimization models to determine optimally the capacity of the components of PV water pumping system using a water storage tank or batteries. The proposed models are developed regarding the reliability and cost indicators, which are the deficiency of power supply probability and life-cycle costs, respectively. The technical performance of the system is quantified by the ratio of actual power supplied and total power required for pumping water to meet irrigation requirements. It is obvious that to increase the reliability, i.e. minimize the energy deficit, PV system size must be greater in order to cover water supply requirements, while the costs also increase. Therefore a compromise solution of these two objectives is requisite to guide the system designers and investors. The novelty of this study is that the second proposed optimization model is analytically defined for two-objectives and it is able to find a compromise solution using the weighting method, whereas existing sizing methods are carried out with simulations or heuristics and analytical methods are only focused on single objective function. Although solving in analytical way is harder than computational methods, a better approximation to the optimal is effectively reached.

The sizing of a stand-alone PV water pumping system comprises a detailed analysis of crop water requirements and optimal tilt angles. Besides the necessity to long solar radiation and temperature time series, the accurate forecasts of irrigation needs have to be determined. The tilt of PV array is commonly set to an angle equal to the latitude. However the calculation of the optimal tilt angle for yearly, seasonally and

monthly frequencies, and install the system accordingly results in higher system efficiency. It is, therefore, suggested to change regularly the tilt angle in order to maximize solar energy output. The proposed optimal sizing models incorporate all these improvements and can accomplish a comprehensive optimization of PV water pumping systems. The tilt angles are changed yearly and seasonally in different scenarios. Also the storage units are differed as water tank and batteries in order to compare the performances. A case study is conducted considering the irrigation of citrus trees yard located in Antalya, Turkey. The proposed analytical model (Model-2) is compared with the computational model (Model-1) and it is shown that sizing results are similar for an analysis of 25 years. Thus the accuracy of the results of Model-2 is pointed out. A performance analysis is carried out using several performance parameters and the impact of chosen solar radiation forecasting methods to the optimal sizing results is investigated.

1. GİRİŞ

Enerji, insan hayatı için en önemli gereksinimlerden biridir. Ayrıca ülkelerin kalkınması için önemli bir yere sahip olan enerjinin tüketimi, gelişmişlik ile birlikte artmaktadır (Bilgili ve Özgören, 2011). Günümüzde enerji talebi çoğunlukla fosil yakıtlardan (kömür, petrol, doğal gaz), hidroelektrik ve nükleer santrallerden karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtlar yakıldığında karbon açığa çıkardığı için küresel ısınmaya neden olmakta, hidroelektrik santraller kuraklık ile çevresel tahribata yol açmakta, nükleer santraller ise hem çevre hem de insan sağlığı açısından tehlike yaratmaktadır. Enerjiye ihtiyacın artması, küresel ısınma gibi çevresel problemler, yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalar, maliyet artışı, fosil yakıtların tükenme riski nedenleriyle yenilenebilir ve çevre dostu yeşil teknolojilerin önemi vurgulanmaktadır. Güneş, rüzgar, biyokütle, hidrolik enerji uygulamaları olan yenilenebilir kaynakların içinde güneş enerjisi, en iyi bilinen temiz enerjilerden biridir (Sudirman ve diğ, 2012). Bunun nedeni üretimi sırasında zararlı gazların salınımı olmamasıdır. Diğer bir avantajı ise bakım ve onarım maliyetlerinin düşük olmasıdır. Kyoto protokolü¹ ve yeşil enerjiyle ilgili çeşitli yasalar da (tarife modeli, premium model gibi) güneş enerjisini desteklemektedir (Martin ve diğ, 2010). Ancak güneş enerjisi verimli bir enerji kaynağı olmasına rağmen, uygulamada geride kalmıştır. Bunun nedeni, ilk kurulum maliyetinin yüksek olması ve hava durumu koşullarına, saatlik değişimlere, şafak ve akşam karanlığındaki düşüş oranlarına bağlı olmasıdır. Rastsal değişkenlik olması maliyetlerini etkilemekte ve düşük kapasiteli uygulamalar olmasına neden olmaktadır (Pedro ve Coimbra, 2012). Bu nedenlerle güneş enerjisinin tahmini önem kazanmaktadır.

Son yıllarda güç sistemlerinin planlama ve işletimi, “akıllı şebeke” bakış açısıyla ele alınmaktadır. Akıllı şebeke denilen elektrik ağları, daha güvenilir, etkin ve çevre dostu uygulamalar yapmak için yeni teknolojilerin ve hizmetlerin dahil edilmesini

¹ Kyoto Protokolü, küresel ısınma ve iklim değişikliğine karşı mücadele etmek amacıyla imzalanan uluslararası bir anlaşmadır. Karbondioksit (CO₂) ve sera etkisine neden olan gazların salınımlarını azaltmak istenmektedir.

kapsamaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmak en önemli hedeflerdendir. Bu tür enerji kaynaklarının belirsiz yapısı nedeniyle, tasarımları ve en iyi akıllı şebeke oluşturup kontrol etme için ileri teknikler gerekmektedir. Dolayısıyla tahmin yöntemleri, mevcut enerji kaynaklarının etkin kullanımı, güvenli ve ekonomik güç sistemi tasarımı için temel görev olmaktadır (Bracale ve diğ, 2013).

Bu tez çalışması kapsamında, güneş enerjisi kaynağı olan radyasyon (ışınım) değerlerinin tahmini ve bir güneş enerjisi sisteminden üretilebilecek enerjinin hesabı incelenmiştir. Literatürde bulunan güneş radyasyonu tahmin modelleri incelenmiş, verinin yapısına uygun olan tahmin yöntemleri kıyaslanmıştır. Herhangi bir bölge için elde edilen tahmin sonuçlarından enerji üretiminin tahmin hesabı ve bu tahminlerin bir güneş enerjisi uygulamasında kullanımı gerçekleştirilmiştir. Tarımsal sulamada sıkça kullanılan fotovoltaiik (PV) su pompalama sistemleri için büyüklük optimizasyonu incelenerek, su ihtiyacı, eğim açısı, güvenilirlik ve ekonomiklik boyutları değerlendirilerek optimum sistem boyutunu öneren modeller geliştirilmiştir. Örnek veriler kullanılarak tahmin yöntemleri ile optimal boyutlandırma modellerinin testi ve performans analizi gerçekleştirilmiştir.

1.1 Yenilenebilir Enerji

Geleneksel enerji kaynaklarının azalması, küresel ısınma, iklim değişimi ve çevre kirliliği nedeniyle tüm dünyada, yeşil ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji alternatiflerine yönelme olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları, geleneksel enerji kaynaklarının yarattığı karbon salınımı, ozon tabakasının incelmeye gibi zararlar ve bu kaynakların stoklarının azalması, maliyetlerinin artması, fosil yakıtların bulunabilirliği hakkında belirsizlik nedeniyle tercih edilmektedirler.

Güneş, Dünya'nın en önemli enerji kaynağı olmakla birlikte, yer ve atmosferdeki fiziksel oluşumları da etkilemektedir. Madde ve enerji akışları, güneş enerjisi sayesinde mümkün olmaktadır. Rüzgar, deniz dalgaları, okyanus sıcaklık farkları, biyokütle enerjileri, güneş enerjisinin ortaya çıkardığı olgulardır. Güneş enerjisi ile doğadaki su döngüsünün gerçekleşmesi sağlanarak akarsu gücü oluşmaktadır. Doğal enerji kaynaklarının çoğunun kaynağı olan güneş enerjisinden, ısıtma ve elektrik üretme amacıyla doğrudan faydalanılmaktadır (Terzi ve diğ, 2011).

Geleneksel enerji kaynakları fosil yakıtlar (petrol, maden kömürü, doğal gaz) ve nükleer enerji olarak sayılabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir (İbrahim, 2006).

- Güneş (solar): Güneş enerjisinden iki şekilde faydalanılabilir. Bunlardan ilki termal ısı üretimi ve ısının su ısıtmada veya suyun tuzunun giderilmesinde kullanılmasıdır. Diğer yöntem ise güneş radyasyonunun fotovoltaikler (PV) yardımıyla doğrudan elektriğe çevrilmesidir. Bu sistemlerde çok miktarda enerji toplayabilmek için, çok fazla sayıda güneş paneli (toplayıcı) gerekmektedir. Ayrıca güneş ışınları sürekli değildir ve ışınların olmadığı zamanlarda kullanmak üzere enerji depolama cihazlarına (batarya veya pillere) ihtiyaç duyulabilir.
- Rüzgar: Rüzgarla çalışan elektrik türbinleri birçok ülkede kullanılmaktadır. Büyük ölçekli güç sistemlerinde birkaç türbin birleşir ve üretilen enerji toplanarak bir sisteme aktarılır. Bu şekilde rüzgar çiftlikleri oluşturulur. Rüzgar enerjisi de güneşle benzer olarak temiz ve çevre dostudur ancak rüzgarın olmadığı durumlarda kullanmak üzere enerji depolama gerekebilir.
- Hidroelektrik: Genel olarak barajlarda veya nehirlerde kullanılmaktadır. Temel prensip, barajdaki suyun enerjisi ile elektrik türbininin çarklarını döndürmek ve elektrik elde etmektir. Bu sistemlerin bakım masrafları azdır ve enerji her zaman bulunur.
- Jeotermal: Yerkürenin içindeki ısıdan dolayı oluşur. Yüzeyin altında sıcaklığın tahmin edilenden yüksek olduğu yerler vardır ve sıcaklık kayalar ile emilerek depolanır. Yüzeye yapılacak bir kazıda, sıcak buhar yüzeyden çıkar ve bu buhar elektriğe veya başka bir enerjiye dönüştürülebilir.
- Biyokütle: Bitkiden dolayı oluşan bir enerji türüdür ve ağaç, mangan kömürü gibi tarımsal artıklar ile oluşur. Biyokütle sürekli olarak fotosentez ile üretilmektedir ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Biyokütle, bir bitki veya canlı türüne ait yaşayan organizmaların belli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak ifade edilebilir. Gelişmekte olan ülkelerde geleneksel enerji kaynaklarına ulaşmak kolay olmadığı için, biyokütle kullanımı yaygın olmaktadır.
- Gelgit: Dünya ve Ay arasındaki çekim gücü nedeniyle gelgit oluşmaktadır. Günde iki kez olarak gerçekleşen gelgitler çeşitli genişlikte olabilmektedir.

Gelgit enerji sistemlerinde, suyun gelmesi ile birlikte yatay havuzlar dolar, sular çekildikten sonra ise bu su türbinler üzerinde bırakılır. Bu şekilde türbinler yardımıyla elektrik enerjisi üretilir.

- Dalga: Deniz ve okyanus yüzey hareketleri ile dalga enerjisi oluşmaktadır. Dalga hareketleri genellikle rüzgar gücünün etkisinden oluşur. Kullanılabilir enerji miktarı dalganın genişliği ve sıklığına bağlı olarak değişir.

Bunların dışında kimyasal enerji, yakıt hücreleri ve çöp enerjisi de sayılabilmektedir. Kimyasal enerji pil, akümülatör, hidrojen jeneratörleri gibi araçlardan kimyasal yollarla enerji elde etmektedir. Yakıt hücreleri akümülatör teknolojisini kullanan elektromekanik bir cihazdır ve kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik akımına dönüştürür. Çöp enerjisi ise çöp artıklarından yüksek ısı elde edip, buharı kullanarak buhar türbinlerini çalıştırır. Türbinlerin ucunda bulunan jeneratörler ise elektrik akımı sağlar (Haktanır, 2004).

Türkiye diğer ülkeler gibi yenilenebilir enerji teknolojilerini teşvik etmektedir. 1990'ların başından itibaren, tüketilen enerjinin %40'ının hidrolik kaynaklardan karşılanmasına rağmen son yıllarda rüzgar, jeotermal ve güneş enerjisi kapasiteleri geliştirilmektedir. Özellikle 2009 ile 2011 yılları arasında rüzgar kapasitesine eklemeler yapılmıştır. 2023 için elektriğin %30'unu yenilenebilir kaynaklardan elde etme hedefi vardır (Atiyas ve diğ, 2012; Bölüm 4).

1.2 Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik Sistemler

1970'deki enerji krizinden sonra ve geleneksel yollarla elde edilen enerjinin fiyatlarının artması, ozon tabakasının azalması, hava kirliliği, sera etkisi, vb. çevresel etkilerinin çoğalması gibi nedenlerle güneş enerjisine olan ilgi artmıştır. Güneş enerjisi, dünyadaki enerji talebinin önemli bir kısmını karşılayabilmektedir. Bu nedenle etkin güneş enerji sistemleri ve enerji depolama sistemleri tasarımı için iklimsel ve güneş radyasyon verisi oldukça önem taşımaktadır (Dinçer ve diğ, 1996).

Fosil yakıtlara göre çevreyi daha az kirleten güneş enerjisi teknolojileri, güneşin enerjisi ve ışığından faydalanarak, ısıtma, aydınlatma, sıcak su, elektrik ve hatta evler, işletmeler ve endüstri için soğutma amacıyla kullanılmaktadır. Bu teknolojiler genellikle güneş ışığını yakalama şekli, dönüştürme şekli ve dağıtım şekline göre pasif veya aktif olarak sınıflandırılır (Demain ve diğ, 2013). Ayrıca güneş enerjisinde

üç farklı yaklaşım söz konusudur:

- Isıtma amaçlı kullanılan termal uygulamalar,
- Direkt elektrik üretimi yapan fotovoltaik (PV) sistemler,
- Buhar ile elektrik üreten konsantre güneş gücü (CSP) yaklaşımları.

Güneş termal uygulamalar ışınları termal enerjiye dönüştürür, bu sayede sıcak su elde etmede ve ev ısıtmada sıklıkla kullanılır. PV sistemler ışınları elektrik enerjisine dönüştürür. Termal sistemlerden farklı olarak yansıyan, aralıklı gelen ışınlarla çalışır ancak bulutlara karşı duyarlıdır. CSP ise ışınları sırasıyla termal, mekanik ve elektrik enerjisine dönüştürür. Genellikle sistemin içinde bir termal deposu bulunur.

PV sistemler, yenilenebilir enerji dönüşüm sistemlerinden olup güneş enerjisi kullanarak elektrik üretimi sağlamaktadır. Bu yüzden güneş radyasyonu, PV enerji kaynağı olarak sistemin tasarımında temel oluşturur (Markvart ve Castañer, 2003). Elektrik şebekesine bağlı olup olmamasına göre tek başına (şebekeden bağımsız), şebekeye bağlı veya hibrid PV sistemleri olarak sınıflandırılabilir.

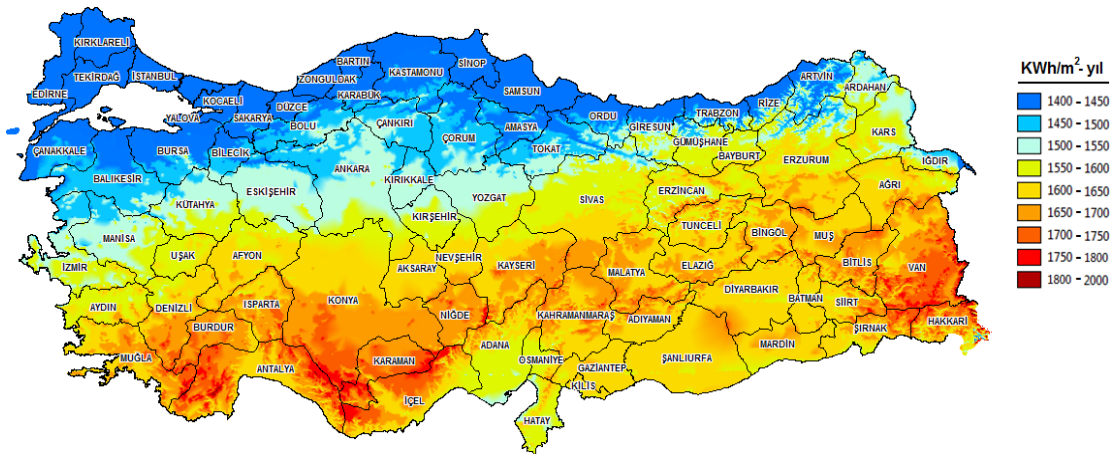
PV sisteminin çıktısı, güneş radyasyonu ve hava sıcaklığı gibi etmenlerden etkilenmektedir. Dolayısıyla şebekeye bağlı PV operasyonu, değişkenliği ve rastsal özellikleri yüzünden güç sistemi güvenliğini ve düzenini etkilemektedir. Bu nedenle PV sisteminin çıktısını tahmin etmek hem anlamlı olmakta hem de güç sisteminin kısa dönemli ve gerçek zamanlı doğru işletimi için gerekli olmaktadır. Ayrıca PV sistemi bileşenlerinin bakımı ve onarımı için de yardımcı olmaktadır (Hang ve diğ, 2012).

2002 yılından beri hızla büyüyen enerji teknolojisi olan PV sistemler, elektrik üretimi için gün geçtikçe daha çok tercih edilmekte ve ortalama olarak yıllık %48 artış göstermektedir (Espinar ve diğ, 2010). Ayrıca günümüzde PV maliyetleri gittikçe azalmaktadır. PV sistemlerde güneş panellerinin ve dönüştürücülerinin giderek maliyetlerinin düşmesi, etkinliklerinin artması, bu sistemlere olan ilgiyi daha da arttırmaktadır. 2010 verilerine göre, tüm dünya kapasitesi 15.200 MW'a ulaşmıştır. Bu sistemlerin çoğu şebekeye bağlı olmaktadır. PV uygulamaları arttıkça sistemin yönetimi de önemli olmaktadır. PV sisteminin ana zorluğu değişken ve hava durumu koşullarına oldukça bağımlı olmasıdır. Benzer durum rüzgar enerjisi için de geçerlidir. Geleneksel güç kaynakları, teknik arızalar dışında kolaylıkla yönetilip, gelecek elektrik üretimleri kesin olarak planlanabilir (Espinar ve diğ, 2010). Ancak

PV sistemlerde bunu tahmin etmek zordur. Bir PV güç sisteminden üretilen elektrik, güneş radyasyonuna göre değişir ve Dünya yüzeyine gelen ışınlar, kurulum yeri ve belirsiz hava koşulları (bulutlar, sıcaklık, nem) PV sisteminden üretilecek enerjiyi etkiler (Bracale ve diğ, 2013).

Güneş enerjisinin ve PV sistemlerin bölgeye göre kapasitesinin değişmesini iyileştirmek mümkündür; sabit eğimli güneş panelleri yerine 2-eksende güneşi izleyen hareketli paneller performansı oldukça arttırmaktadır. Soğuk hava da güneş enerjisini etkileyen bir diğer faktördür. Soğuk havalarda güneş az olduğu ve paneller karla kaplanabileceği için daha az enerji üretilmektedir fakat kardan yansıyan ışınlar sayesinde ilave güç elde edilecektir. Ayrıca panel etkinliği düşük sıcaklıklarda artmaktadır.

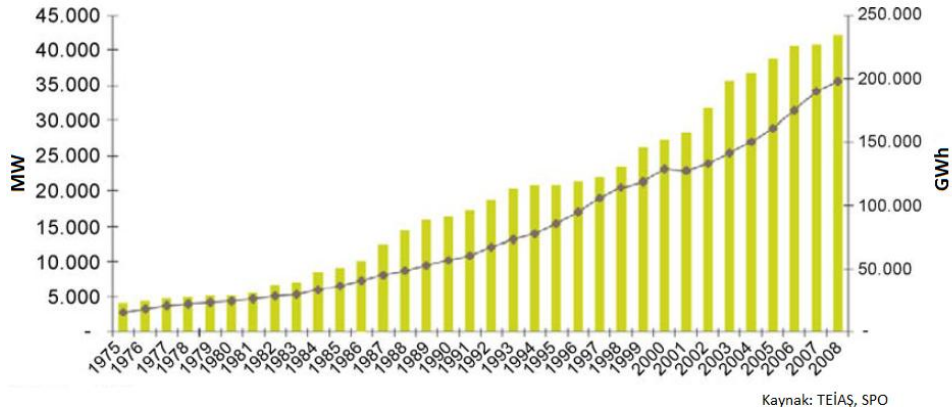
Türkiye coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan bir ülkedir. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır (Url-1). 783.562 km² alana sahip olan Türkiye, sıcak iklim kuşağında yer almaktadır. Şekil 1.1'de Türkiye'nin yıllık ortalama direkt normal ışınlarına (DNI) ait güneş radyasyon haritası bulunmaktadır (Url-2). Görüldüğü üzere, özellikle güneyine doğru güneş enerjisi potansiyeli artış göstermektedir.



Şekil 1.1 : Türkiye güneş radyasyon haritası.

Elektrik enerjisi üretildiği an tüketilmesi gerekir. Bu sebeple talep miktarı elektrik enerjisi üretimini belirleyen temel unsurdur. Türkiye'de enerji talebi gün geçtikçe artmaktadır ve bu talebi karşılamak üzere 2020 yılına kadar ilave 35-60 GW'lık

tesisin kurulması gerekmektedir. Dolayısıyla %40-50 civarında elektrik kapasitesi arttırılmalıdır (Kaygusuz, 2011). TEİAŞ verilerine göre, Şekil 1.2’den görüldüğü gibi Türkiye’de toplam güç ve elektrik tüketimi büyük bir hızla artmaktadır.



Şekil 1.2 : Türkiye için toplam güç ve elektrik tüketimi.

Türkiye’de enerji kaynaklarına göre 2008 kapasitesi ve 2020 yılı için hedef kapasiteler Çizelge 1.1’de verilmiştir (Kaygusuz, 2011). Görüldüğü üzere fosil kaynakların kullanımı oldukça fazladır ancak yenilenebilir enerji kapasitesinin büyüme hedefleri dikkat çekmektedir.

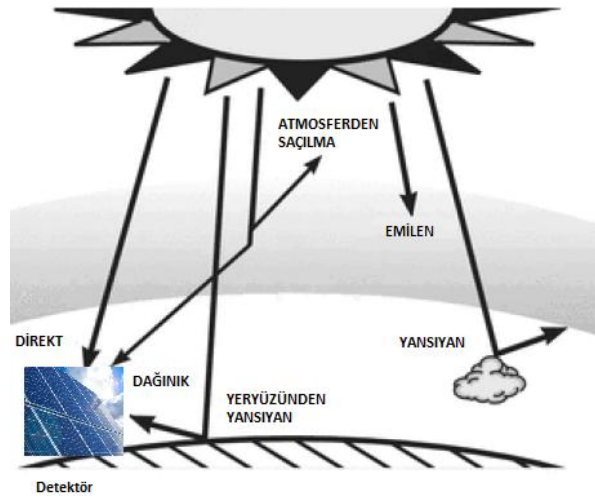
Çizelge 1.1 : Türkiye için güç kaynakları ve tahminler.

Güç kaynakları	2008 kapasitesi (GW)	2020 hedef kapasitesi (GW)	Ortalama yıllık büyüme (%)	Tahmin edilen kaynaklar
Kömür	8	10	10	1126 milyon ton
Doğal gaz	34	46	30	8 milyar m ³
Hidrolik	14	17	12	124 milyar kWh
Jeotermal	0,2	1,0	15	2843 Mtoe
Rüzgar gücü	0,8	5	40	60 milyar kWh
Güneş PV	0,2	0,4	10	305 milyar kWh
Nükleer	0,0	5	14	-
Biyokütle	1,0	2,0	20	2 milyar kWh

1.3 Güneş Radyasyonu Tanımı ve Tahmin Gerekliliği

Güneş radyasyonu güneşten gelerek yeryüzüne ulaşmadan önce atmosferden geçmektedir. Atmosfer dışındaki güneş radyasyonu sabit kabul edilir ve güneş enerjisi atmosfer dışına güneş sabiti (1367 W/m^2) kadar ulaşmaktadır. Güneş, ışığı geniş bir spektrum içinde elektromanyetik radyasyon şeklinde yaymaktadır. Atmosfer dışındaki solar radyasyon spektrumu 200 nm ile 3000 nm arasında yaklaşık 500 nm tepe noktasına sahip sürekli bir spektrumdur. Ancak güneş radyasyonu atmosferi geçince spektrumu ve şiddeti bazı bozulmalara uğramaktadır. Güneş

enerjisinin yaklaşık %48'i yeryüzüne görülebilir spektrumda ulaşmaktadır. %6'sı morötesi, %45'i ise kızılötesi spektrumda yeryüzüne ulaşmaktadır (İbrahim, 2006). Atmosfer nedeniyle yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinde bazı kayıplar olmakta ve radyasyon miktarı atmosferden geçerken azalmaktadır. Açık gökyüzü olduğu güneşli bir günde enerji miktarı, atmosferden geçmeden önceki enerjisinin %30'unu kaybeder. Bulutlu günde bu oran %80'e kadar artabilmektedir (İbrahim, 2006). Bunun nedeni atmosferdeki gazların da etkisiyle, güneş radyasyonunun atmosfere girdiğinde bir kısmının emilmesi, bir kısmının yansıtılması ve bir kısmının ise dağılmasıdır. Güneş radyasyonu iki şekilde yayılma gerçekleştirir: Rayleigh yayılımı ve gazlar tarafından soğurulma (emilme) (Öztürk, 2012). Ayrıca bulut kaplaması, aerosol içeriği, atmosfer gazlarının troposferde (su buharı, karbondioksit, oksijen) ve stratosferde (ozon) varlığı yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının miktarını azaltabilmektedir. Radyasyonun bu şekilde dağılması nedeniyle radyasyon tanımları sınıflandırılmıştır. Şekil 1.3'den de görüldüğü gibi, direkt, dağınık, yansıyan (aklık) radyasyon tanımları vardır ve bunların toplamına global (küresel) radyasyon denilmektedir (Paoli ve diğ, 2009). Yüzeye düşen toplam radyasyon miktarı, toplam veya global radyasyon ile adlandırılır.



Şekil 1.3 : Direkt, dağınık ve yansıyan radyasyon çeşitleri.

Direkt (doğrudan) radyasyon, yansımayan veya dağılmayan kısmıdır. Direkt normal radyasyon (DNI), güneşin gökyüzündeki konumuna hep dik gelen yani ışının yönüne dik bir yüzeye düşen ve bir birimlik yüzeye düşen saçılmamış radyasyon miktarı olarak tanımlanır. Gelen DNI yıl içinde hep dik karşılanabilirse radyasyon miktarı maksimize edilmiş olur. Bu durum konsantre güneş termal ve güneşi takip eden sistemler için önemlidir. Direkt yatay radyasyon ise yatay düzlemdeki direkt normal

güneş radyasyonudur ve onunla, direkt güneş ışını ile yüzey normalinin arasındaki açının kosinüsünün çarpımına eşittir (Lundholm, 2013). Dağınık (difüz) radyasyon ise, dağılan radyasyonun yeryüzüne ulaşan kısmıdır. Dağınık yatay radyasyon (DHI), dağınık ve aralıklı olarak gelen ışınların bir birimlik yüzeye düşen radyasyon miktarı olarak tanımlanır. Ayrıca radyasyonun bir kısmı ise yeryüzünden yansır. Bu yansıyan kısma aklık denir. Bu radyasyon miktarı yüzeyin yansıtma özelliğine bağlıdır (çimen, kar, kuru veya ıslak toprak). Global (küresel) radyasyon ise yüzeye düşen toplam radyasyon miktarı olup üç bileşenin toplamıdır ve global yatay radyasyon (GHI) olarak adlandırılır. GHI, yere yatay bir yüzeye gelen kısa dalga radyasyonun toplam miktarını ifade eder ve PV kurulumları için önemlidir.

1.3.1 Güneş radyasyonu ölçümü

Bazı araştırmacılara göre güneş radyasyon verisindeki %20'lik hata payı, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerin uygulamalarında %4-%20 arası değişime sebep olmaktadır. Bu hataları azaltmak için güneş radyasyonunun doğru ölçülmesi önemlidir. Güneş radyometri, herhangi bir eğim açısına sahip bir yüzeye düşen direkt, dağınık ve toplam radyasyon miktarını ölçen birimdir. Radyasyon genellikle W/m^2 birimiyle ölçülür. Güneş enerjisinin ölçümü için birçok alet bulunmakta, bilgisayarlara bağlanıp uzak yerlere otomatik veri gönderebilmektedir. Bu aletler; global veya dağınık radyasyonu ölçen piranometre, ışın radyasyonunu ölçen prelyometre olarak sayılabilir (İbrahim, 2006).

Ölçülen güneş enerjisi değerleri, güneş enerjisi ile meteorolojik, coğrafik ve iklimsel değişkenler (ortam sıcaklığı, nem, güneş ışığı oranı, güneşlenme süresi, enlem ve boylam, yağış, rüzgar hızı, bulut oranı) arasındaki matematiksel ilişkiyi açıklamak için geliştirilen modellerde kullanılmaktadır. Bu modeller daha sonra, güneş enerjisini ölçen cihaz olmasa bile geçmiş meteorolojik verileri kullanarak doğrudan ve dağınık olan güneş enerjisini tahmin etmek için kullanılabilir (Khalil ve Shaffie, 2013). Güneş radyasyonu tahmini için meteorolojik verilere dayanarak birçok deneysel yöntem geliştirilmiştir. En çok kullanılan parametre olarak güneşlenme süresi dikkate alınmıştır. Güneş radyasyonunu sayısallaştırmak için iki yaklaşım olduğu söylenebilir. Bunlardan ilki, atmosferde oluşan ve radyasyonu etkileyen fiziksel süreçlerle oluşturulan fiziksel modellemedir. İkincisi ise zaman serileri analizine dayanan istatistiksel güneş klimatolojisi (Paoli ve diğ., 2009). Bu

kapsamda modellerde kullanılan iki parametreden söz edilebilir.

- Açıklık indeksi: $K_T = G/G_o$ küresel güneş radyasyonunun (G) yeryüzü dışı radyasyona (G_o) oranıdır (Zhang ve diğ, 2004). Güneş radyasyonunun zaman içindeki değişimini inceler. Bulut kaplaması veya görünürlüğünün aksine gözlemleyenden bağımsız, objektif bir atmosfer ölçüsüdür. Günlük açıklık indeksi, atmosferdeki aerosol, gazlar, bulutlar tarafından etkilenen radyasyon geçişinin, genel bir saçılma ve emilme ölçüsüdür (Che ve diğ, 2005). Hangi etmenin daha çok etkilediğini bulmak için basit regresyon kullanılabilir.
- Dağınık kısım: $K_D = D/G$ dağınık radyasyonun (D) küresel radyasyona oranıdır. Bu ölçü, bir bölgede güneş enerjisi kullanımının potansiyelini değerlendirmede ve uzun vadede güneş toplayıcıların çıktısını tahmin etmede önemli olmaktadır. Küresel radyasyonun günlük dağınık kısmı ise, saçılan ışığın oranını ifade eden bir ölçüdür. Çoğu güneş enerjisi uygulamaları direkt radyasyona ihtiyaç duyar ancak bitkilerin fotosentez sistemleri ışık saçıldığı zaman daha etkindir. Bu nedenle dağınık kısım, atmosfer fizikçilerinin ve biyologların çalışma alanına girmektedir (Che ve diğ, 2005).

1.3.2 Eğik yüzeyler

Eğik yüzeyler için güneş radyasyonu hesabı, toplam yatay radyasyonun içerdiği göreceli ışıma ve yayılma miktarına bağlıdır. Genelde meteorolojik veriler yatay yüzeye düşen toplam radyasyon miktarını gösterse de, çoğu güneş toplayıcısı maksimum enerji alabilmek için Şekil 1.4'teki gibi yatayla belli bir açıda yerleştirilmiştir (Url-3). Bu açının hesaplanması önemlidir. Maksimum enerjiyi toplamak için en iyi yöntem takip eden ve her gün hareket eden güneş yörünge sistemlerinin kullanımıdır. İki yönlü dönen eksenli olan sistem yaklaşık %40 daha fazla enerji toplayabilmektedir. Ancak maliyetlerinin yüksekliği, hareketleri için gereken enerji ve bakımlarının kolay olmaması tercih edilmelerini zorlaştırır.



Şekil 1.4 : Sabit yatay, eğik ve takip eden toplayıcı türleri.

Çoğu güneş enerjisi uygulamasında, farklı açılardaki eğik düzlemler kullanılmıştır. Yatay düzlem için ölçüm yapan istasyonların sayısına kıyasla, eğik düzlem için ölçüm yapan merkezlerin sayısı oldukça azdır. Yatay veri ile eğik düzleme düşen güneş radyasyonu tahmini yapan bazı modeller vardır (Khalil ve Shaffie, 2013).

1.3.3 Tahmin gerekliliği

Atmosferin üst tabakalarına ulaşan güneş ışıınımı kolaylıkla bulunabilse de, alt tabakalarda atmosferin koşullarına göre oldukça değişkenlik göstermektedir. Güneş enerjisini toplayacak olan termal veya PV sistemlerde tedarik ve talep artışlarını karşılamak üzere güneş radyasyonunun elverişliliği tahmin edilmelidir.

Güneş radyasyonu veya ışıınımı dünyada çeşitli yerlerde ölçülmektedir. Güneş radyasyon verisi PV, güneş termal sistemleri ve pasif güneş tasarımları gibi güneş enerjisi uygulamalarına girdi oluşturmaktadır (Özgören ve diğ, 2012). Herhangi bir bölgede güneş teknolojilerinin tasarımı, kurulumu, optimizasyonu, performans değerlendirmesi için hazır ve güvenilir veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Yatay veya eğik düzlemlere düşen günlük güneş verisi, uygulamaların performanslarının günlük izlenebilmesi için gerekmektedir. Bu uygulamalar arasında aydınlatma ve tarımsal süreçler sayılabilir. Çeşitli güneş enerjisi dönüşüm cihazları ve uygun model tasarımı için güneş radyasyon verileri önemli olmaktadır (Khalil ve Shaffie, 2013).

Güneş radyasyon ölçümleri diğer meteorolojik değişkenlere kıyasla hatalara daha çok açıktır ve teknik veya operasyonel problemlerle karşılaşır. Örneğin kalibrasyon problemi, sensörde kir problemi, birikmiş su problemi, direklerin sensörleri gölgelemesi gibi sorunlar olabilmektedir. Küresel güneş radyasyon ölçümü yapan istasyonlarda bile bazı günlere ait verilerin olmadığı veya hatalı olduğu görülebilir. Bu nedenle mevcut meteorolojik verilerden güneş radyasyonu tahmini yapan çalışmalar sıkça geliştirilmektedir (Özgören ve diğ, 2012).

Güneş radyasyon verisinin tahminleri, şebekeye bağlı PV sistemlerinin entegrasyonu için kullanılmakla beraber tek başına ve hibrid güneş sistemleri işletiminin optimizasyonunda da önemli olmaktadır. PV sistem uygulamaları arasında uzak bölgeler için elektrik üretimi, iletişim, soğutma, su pompalama (özellikle tarımsal sulama için) sayılabilmektedir. Tek başına PV sistemleri, elektrik şebekesinden uzak bölgeler için en uygundur ve güneş radyasyonu verisi sistem tasarımı ve boyutlandırmasında önemli bir parametredir (Mellit ve diğ, 2008). Bu nedenle güneş

radyasyonunu daha doğru modellemek ve tahmin etmek için doğru sonuç üreten yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Genellikle güneş radyasyon tahmini yapan yöntemler üç gruba ayrılmaktadır: meteorolojik parametrelere bağlı olan, geçmiş radyasyon değerlerine bağlı olan ve ikisini birleştiren yöntemler vardır (Mellit ve Pavan, 2010).

Tahmin edilen güneş radyasyon değerleri, sıcaklık değerleri, güneş panellerinin alanı ve etkinliği gibi girdiler sayesinde güneş enerjisi sisteminden elde edilecek güç ve enerji hesaplanabilmektedir. Bir PV sistemin tasarımında boyutlandırma yapabilmek için sistemden elde edilebilecek enerjinin tahmini önemli olmaktadır. İhtiyaç duyulan enerjiyi optimal şekilde karşılayacak ve maliyeti minimize edecek sistemin tasarımında, genellikle PV panellerin büyüklüğü (dizi alanı) ve pillerin depolama kapasiteleri hakkında karar verilmelidir. Literatürde PV sistemlerinde optimal boyutlandırma için çeşitli analitik, sayısal ve hibrid yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri olan yük kaybı olasılığı (LLP), boyutlandırma eğrisi oluşturmak için PV sisteminin belirli bir zaman aralığında çalışmasını modellemeyi gerektirir. Güneş radyasyon verisi doğrudan gözlemle elde edilemediğinde sentetik olarak güvenilir bir algoritmayla üretilmelidir (Mellit ve diğ, 2008).

1.4 Tezin Amacı

1.4.1 Anlam ve önemi

Güneş radyasyonu hava durumu koşullarına oldukça bağımlı olduğu için rastsal değişkenliklere uğrayabilmektedir. Bu nedenle güneş enerjisi uygulamalarını doğru planlayabilmek ve yönetebilmek amacıyla radyasyon tahminlerinin mümkün olduğu kadar doğru hesaplanması gerekmektedir. Bu tez kapsamında, güneş radyasyon tahmini yapan çeşitli yöntemler incelenerek, geçmiş verileri istatistiksel olarak analiz eden ve tahminler üreten zaman serileri analizine odaklanılmıştır. Zaman serileri analizi oldukça başarılı ve ilgi gören yöntemlere sahiptir. Klasik zaman serileri modellerinin yanı sıra bulanık mantık kullanılarak da geliştirilmiştir. Bulanık zaman serileri, güneş radyasyonu gibi değişkenliği yüksek ve düzensiz yapıdaki verilerle çalışabilmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında, güneş radyasyon tahmini için klasik ve bulanık zaman serileri modellerinin incelenmesi, minimum hataya sahip modelin seçilerek tahminlerin üretilmesi amaçlanmıştır. Literatürde yer alan çeşitli yöntemlerden güneş radyasyonu tahminine en uygun modellerin hata payları ve

karmaşıklığı dikkate alınarak seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda verinin seyri, doğruluk payı, yöntemin hesaplama ve anlama kolaylığı da dikkate alınmıştır. Ayrıca bulanık zaman serilerinde hibrid modeller geliştirilerek tahmin doğruluğu iyileştirilmiştir.

Örnek veriler (okul kaydı, borsa indeksi, sıcaklık ve radyasyon) ile modeller test edilmiştir. Bu testleri gerçekleştirebilmek için MATLAB'ta kod yazılmış ve çeşitli istatistiksel programlar (Eviews, Minitab, Gretl) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre gerçek veriyle uygulanacak zaman serisi ve bulanık zaman serisi modelleri belirlenmiştir. Zaman serisi yöntemlerinde verinin yapısına uygun olan mevsimsel ARIMA modelleri seçilmiştir. Modelin parametre tahminleri test verisine göre hesaplanmıştır. Bulanık zaman serilerinde ise literatürde geliştirilen birçok model incelenerek, başarılı olan adımları birleştirilmiş ve hibrid modellerde geliştirilmiştir. Amaç, tahmin hata payını azaltacak şekilde hibrid bulanık modeller önermektir. Radyasyon verisinin mevsimsel yapısını arındırarak işlem yapmak için mevsim indeksleri hesaplanmıştır. Sonuçta en az hatayı veren ve uygulama açısından kolaylıkları bulunan bulanık modeller tercih edilmiştir. Son olarak ilgili kurumlardan geçmiş veriler tedarik edilmiş, verilerde düzenleme yapılarak analizleri gerçekleştirilmiştir.

Geçmiş verinin elde edilmesi için T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na bağlı olan Meteoroloji Genel Müdürlüğü ile iletişime geçilmiştir. TÜMAS (Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi) adlı web siteleri aracılığıyla, Türkiye'nin yedi bölgesine ait birer şehir seçilerek radyasyon ve sıcaklık verileri alınmıştır. Bu veriler düzenlenerek eksik olan değerler lineer interpolasyon yardımıyla üretilmiştir. Geçmiş verilere uygulanan zaman serisi ve bulanık zaman serisi modelleri sonucunda en iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Böylece en başarılı yöntem seçimi gerçekleştirilmiş ve bu yöntem aracılığıyla gelecek yıllar için radyasyon değerleri tahmin edilmiştir. Bu tahminler çeşitli güneş enerjisi uygulamalarında kullanılabilmektedir. Bu çalışmada özellikle PV sulama ve su pompalama uygulamaları ele alınmıştır. Tarımsal PV sulama sistemlerinde güneş enerjisi kullanımı oldukça elverişli olmaktadır. Tahmin sonuçlarını girdi olarak kullanarak, tek başına PV su pompalama sisteminde optimizasyon modelleri geliştirilmiş ve optimal boyutlandırmayı elde etmek için örnek verilerle uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre performans analizleri çeşitli parametreler

ve yazılım aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tahmin yöntemi seçiminin, sonuçlara etkisi incelenmiştir.

1.4.2 Özgün değer ve yaygın etki

Güneş radyasyon verisi birçok alan için temel oluşturmaktadır. Bu nedenle belirli bir zaman aralığında değişimini anlamak, atmosfer enerji-denge çalışmaları, binalarda termal yük analizleri, yenilenebilir enerji güç kaynaklarının planlanması, meteoroloji, tarımsal çalışmalar ve bazı çevresel etki analizleri gibi birçok uygulama açısından önemli olmaktadır. Güneş enerjisi uygulamaları arttıkça radyasyon verisinin önemi de artmaktadır (Mellit ve Pavan, 2010).

Araştırma kapsamında, literatürde güneş radyasyon tahmini yapan çalışmalar irdelenmiş ve daha başarılı tahmin sonuçları elde etmeye yönelik yöntem geliştirmeleri yapılmıştır. Bunun için sıklıkla kullanılan istatistiksel zaman serisi yöntemleri ve bulanık zaman serisi yaklaşımları ile tahmin gerçekleştirilmiştir. Bulanık zaman serisi ekonomi, eğitim, üretim, turizm ve sıcaklık tahmini gibi alanlarda kullanılmış olsa da, güneş radyasyonu gibi değişken ve belirsiz bir veri ile henüz uygulanmamıştır. Bu çalışmada hem mevcut bulanık zaman serileri hem de geliştirilen hibrid modeller radyasyon tahmininde uygulanmış, verinin mevsimsel yapısı hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Ayrıca klasik zaman serisi yöntemleri ile ortak veri ve değerlendirme ölçütleri kullanılarak tahmin başarısı test edilmiştir.

Ek olarak, araştırma kapsamında elde edilen tahmin sonuçları ile bir PV sisteminin optimal boyutlandırma çalışması gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Özellikle tarımsal sulama sistemlerindeki uygulamalar incelenmiştir fakat çalışma, diğer tipteki PV sistemleri için de geliştirilebilecektir. Burada geleceğe yönelik tahminlerle değerlendirilecek olan sistem tasarımı, maliyet ve verim analizleri sayesinde daha kapsamlı ve çok boyutlu olarak ele alınabilmektedir. Literatürde çoğunlukla tek amaca yönelik modeller mevcut iken, bu çalışmada çok amaçlı optimizasyon teknikleri yardımıyla aynı zamanda hem maliyet hem de güvenilirlik optimizasyonu sağlanmıştır.

Belirtildiği gibi, güneş enerjisi uygulamaları temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olduğu için büyük ilgi görmektedir. Bu uygulamaların doğru kurulumu ve yönetilmesi için güneş radyasyonunun dolayısıyla enerji üretiminin tahminleri önem taşımaktadır. Tez çalışması sonucunda geliştirilen tahmin modelleri ile hata

paylarının minimize olması istenmektedir. Elde edilen tahminler, tarımsal veya diğer ihtiyaçlar için kullanılan güneş enerjisi uygulamalarını desteklemenin yanı sıra meteorolojik tahminler için de uygulanabilecektir. Ancak araştırma kapsamında tarımsal sulama örnek alınacağı için, geliştirilecek tahmin modeli ile sistem büyüklüğü optimizasyon modelinin, PV su pompalama sistemi kuracak yatırımcılar ve tasarımcılar için rehber olması istenmektedir. Ayrıca güneş enerjisi cihaz üreticilerinin de faydalanabilmesi mümkün olacaktır.

2. TAHMİN YÖNTEMLERİ

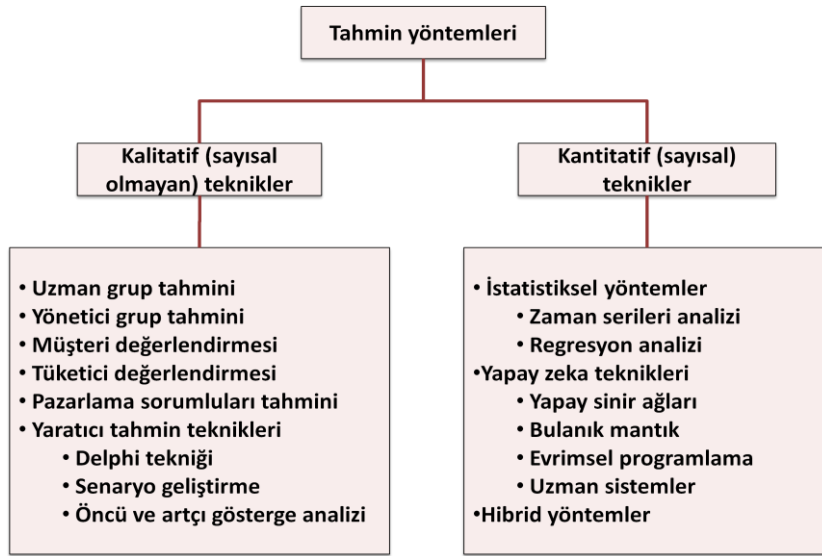
Karar verme ve planlama süreçlerinde tahminler, işletmecilik, ekonomi, mühendislik, sosyal, biyoloji ve tıp gibi alanlarda büyük önem taşımaktadır. Gelecek dönemler için talebi, teknolojik yeniliği, maliyeti, fiyatı, rakip davranışlarını, yasaları, iklim şartlarını ve daha birçok etmeni tahmin etmek yönetimin karar vermesine ve önlemler almasına yardımcı olmakta, belirsizliğin etkileri ortadan kaldırılıp gelecek hakkında fikir oluşturulmasını sağlamaktadır. Tahminler, özellikle yönetimin stratejik kararlarında rehberlik etmektedir (Orhunbilge, 1999). Ancak tahmin yöntemlerinin avantajları olduğu gibi kısıtlamaları da vardır çünkü gözlemlenenin dışında bir değer belirler (ekstrapolasyon) ve hata payı olacaktır (Makridakis ve Wheelwright, 1989). Tahmin yöntemleri, geçmiş verilerin gelecekte çok fazla farklılık göstermeyeceği durumlarda başarılı sonuçlar elde etmektedir. Tahmin problemleri genellikle kısa dönemli, orta dönemli ve uzun dönemli olmak üzere gruplanabilir. Doğru bir şekilde tahmin geliştirmek için sistematik bir süreçte ihtiyaç vardır. Öncelikle verinin toplanması ve incelenmesi gerekir. Verinin yapısına uygun olan tahmin yöntemi seçilmeli ve uygulanmalıdır. Uygulandıktan sonra doğruluk payının kontrolü gerçekleştirilip, yeterli değilse önceki adımlara geri dönmelidir.

Tahmin yöntemleri 1950'lerde önce askeri olarak, sonra iş dünyası tarafından uygulanmaya başlamıştır. Özellikle bilgisayarın hayatımıza girişinden sonra daha etkin bir şekilde kullanılmıştır. Esas olarak Brown (1950), Holt (1952), Winters (1960) tarafından geliştirilen bu yöntemler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. 1950'lerin sonrasında ABD hükümeti Census bürosunda Shiskin (1957, 1961) tarafından geliştirilen ayrıştırma yöntemleri (Census II paketi) büyük ilgi görmüş, 1960'larda istatistiki açıdan karmaşık tahmin yöntemleri (çoklu regresyon, ekonometrik modeller) geliştirilmeye başlanmıştır. 1976 yılında Box-Jenkins metodolojisi geliştirilmiş ve otoregresif hareketli ortalama tekniklerinin çeşitleri (ARIMA vb.) zaman serilerinin analizinde önemli bir prosedür haline gelmiştir. Daha sonra bu yöntemleri düzelter ve daha etkin kılan ARARMA modelleri, Kalman filtreleri, vektör otoregresif modelleri gibi yeni yöntemler oluşturulmuştur.

2.1 Yöntemlerin Sınıflandırılması

Tahmin yöntemleri, kantitatif (nicel) ve kalitatif (nitel) olmak üzere iki ana sınıfa ayrılabilir. Eğer geçmiş veriler sayısalda kantitatif, sözel veya sübjektif ise kalitatif tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. Kalitatif yöntemler arasında kişisel görüş ve yargılar, delphi yöntemi, nominal grup yöntemi, pazar araştırması sayılabilir. Eğer veri sayısı çok az veya hiç veri yoksa uzman görüş ve deneyimlerine dayanır. Kantitatif yöntemler arasında ise geçmiş dönem değeri, basit ve ağırlıklı hareketli ortalamalar, üstel düzeltme, mevsimsel indeksler sayılabilir.

İnsanın bilgi işleme kapasitesi sınırlı olduğu için verilerin sistematik bir şekilde toplanabildiği durumlarda kantitatif yöntemlerin daha doğru sonuçlar vereceği söylenebilir (Makridakis ve Wheelwright, 1989). Uygulamada tahminler için hem kantitatif hem kalitatif tekniklerin birlikte kullanıldığı gözlenmektedir. Kantitatif tekniklerle elde edilen tahmini değerler, tarafsız ve deneyimli uzmanların görüşleri ile bazı değişiklikler yapılarak kullanılmaktadır (Orhunbilge, 1999). Tahmin yöntemlerinin sınıflandırması Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

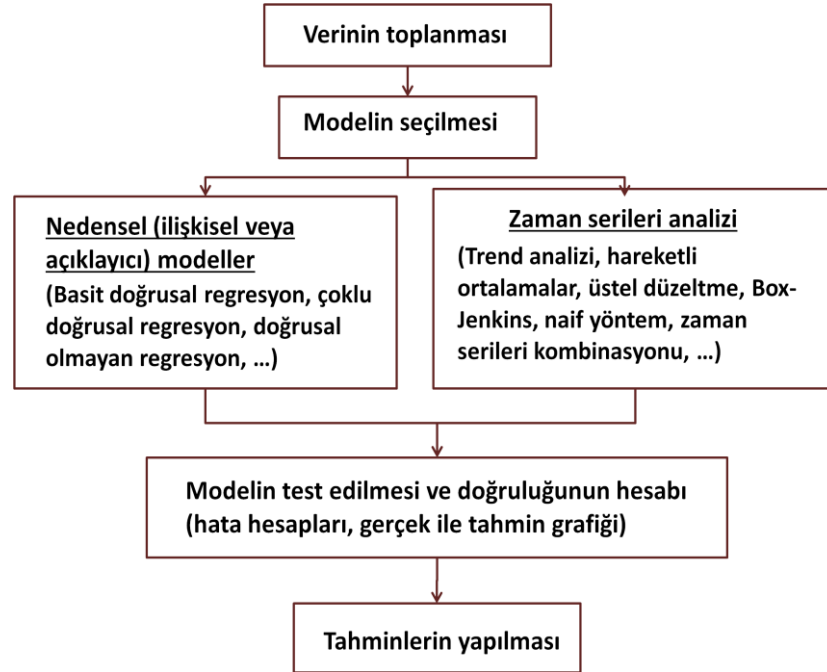


Şekil 2.1 : Tahmin yöntemlerinin sınıflandırılması.

İstatistiksel tahmin yöntemleri genellikle geçmiş verinin zaman içindeki durumunun tanımlanması ve değişkenliğe sebep olan etmenlerin incelenmesi yani nedensel etkilerin araştırılması şeklinde ikiye ayrılır (Makridakis ve Wheelwright, 1989). Bunlardan ilki zaman serilerini kullanarak analiz yapmakta, ikincisi ise açıklayıcı yöntemler olup regresyon gibi teknikleri kullanmaktadır. Açıklayıcı veya nedensel modellerde nedensellik ilişkisi araştırıldığı için, tahmin edilecek verinin yanı sıra

bazı ek değişkenleri hesaba katmak gerekebilir. Temel olarak bir değerin (çıktı), bir veya birçok değişkene (girdi) bağlı olduğu bir fonksiyon oluşturmaya çalışılır. İstatistiksel yöntemlerin adımları kısaca Şekil 2.2'deki gibi gösterilebilir (Şener, 2005). Nedensel modeller; tahmin edilecek değişkeni etkileyen değişkenleri belirleyerek, bu değişkenler aracılığıyla tahmin yapar. Zaman serileri analizi ise tahmini yapılacak değişkenin geçmiş durumlarının analizi ve bu analize dayanarak gelecek değerlerinin tahmini için kullanılır (Orhunbilge, 1999). Fakat burada nedensel ilişkiler incelenmez.

Zaman serileri analizi içerisinde yer alan naif yaklaşım, basit olarak gelecek dönemdeki değerin en yakın dönemdeki değere eşit olduğunu varsayar. Bazı durumlarda maliyet etkin ve verimli bir yöntem olabilir (Makridakis ve Wheelwright, 1989). Diğer yöntemler ise daha karışık hesaplamalar gerektirmektedir.

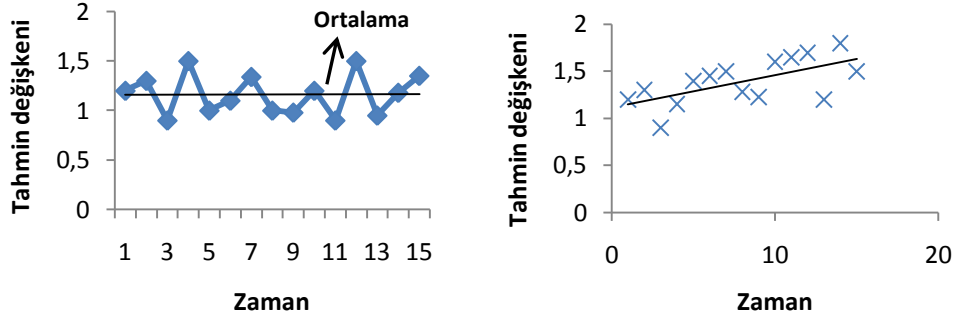


Şekil 2.2 : İstatistiksel yöntemlerin adımları.

Tahmin yöntemi uygulanmadan önce, verideki ilişkilerin varlığının araştırılması ve seyrinin analizi için dört eleman açısından ele almak gerekmektedir: trend, mevsimsellik, döngüsellik ve rastsallık. Bazı zaman serilerinde birden fazla veri seyri gözlemlenebilir. Bu tür serilerde, daha sonra anlatılacak olan ayrıştırma yöntemleri uygulanmaktadır (Makridakis ve Wheelwright, 1989).

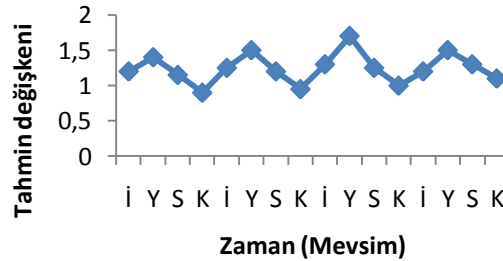
- **Trend:** Verinin uzun dönem eğilimini ifade etmektedir, sürekli bir artma veya azalma gösterir. Doğrusal veya doğrusal olmayan kuadratik, üstel trendler

olabilir (Orhunbilge, 1999). Herhangi bir eğilim gözlenmiyorsa yatay seyirden söz edilir. Bu durum durağanlık olarak da tanımlanır ve sistematik bir artış veya düşüş trendi oluşmamaktadır (Şekil 2.3, soldaki grafik). Genel bir artışa işaret eden trend seyri ise Şekil 2.3, sağdaki grafikte görülmektedir.



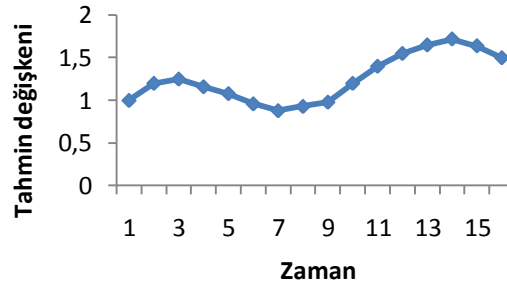
Şekil 2.3 : Yatay veri seyri (sol) ve genel artış trendi (sağ).

- **Mevsimsellik:** Seride mevsimsel faktörün etkisiyle kendini tekrar eden dalgalanmalar mevcut olabilir. Düzenli olarak aşağı ve yukarı dalgalanmalar mevcuttur. Mevsimler aylar veya dört mevsim olabileceği gibi, saat, gün, hafta da olabilir. Örneğin hava durumu ve ondan etkilenen satışlar düşünülebilir (Şekil 2.4). Mevsimsel etkiler, değışkenlerin değeri trendin üzerinde veya altında olmasına neden olur (Orhunbilge, 1999).



Şekil 2.4 : Mevsimsel veri seyri.

- **Döngüsellik:** Konjonktür olarak da adlandırılır. Mevsimselliğe benzer fakat tek bir döngünün uzunluğu genelde bir yıldan fazladır. Tahmin edilmesi oldukça zordur çünkü sabit zaman aralıklarında tekrar etmez ve süresi değışebilmektedir (Şekil 2.5). Burada aşağı ve yukarı dalgalanmalar tekrarlanır fakat bu dalgalanmaların büyüklükleri farklıdır. Ekonomiyle ilgili faktörlerin etkileşimi nedeniyle oluşur ve genelde 2-10 yıllık veya daha uzun sürelerde görülür.



Şekil 2.5 : Döngüsel veri seyri.

- Rastsallık: Hata veya tesadüfî faktörler olarak ifade edilir. Sistematiğ olmayan hata (kalıntı) kısmıdır. Rastsal değışkenlik beklenmeyen durumlar nedeniyle oluşur. Düzensiz dalgalanmalar ve önceden tahmin edilmesi mümkün olmayan olaylardır. Kısa süreli ve tekrarlanmayan bir bileşendir.

Kantitatif yöntemler bu elemanları daha etkin olarak ele alır ve daha doğru tahminler yapabilmek için özellikle ilk üç elemanı kullanır, rastsallık tahmin edilemezdir. Ancak izole edilebildiğinde şiddeti tahmin edilir ve değışkenliği belirlenebilir. Dolayısıyla rastsallık gelecek tahminlerde belirsizliği kaldırmamıza yardımcı olabilir (Makridakis ve Wheelwright, 1989). Ancak veride ilişki yoksa veya seyri belirlenemiyorsa tahmin üretmek mümkün olmayabilir. Genel olarak veri sayısı arttıkça ve homojenleştikçe (örneğin birçok bölge yerine tek bölgeye odaklanınca) tahminler daha doğru olacaktır (Makridakis ve Wheelwright, 1989). Tahminin başarısı, analizin yapıldığı dönem özelliklerinin gelecekte de çok büyük farklılık göstermeden, seride geçmişte gözlenen özelliklerin devam etmesine bağlı olmaktadır. Bu nedenle tahmin (veya öngörü), gelecekte, geçmiş şartlardan önemli sapmalar olmayacağı varsayımı ile birlikte ifade edilmektedir (Akgül, 2003a).

Makridakis ve Wheelwright (1989) aşağıdaki altı özelliğın tahmin yöntemini belirlerken dikkate alınması ve uygun özelliklere sahip tahmin yönteminin seçilmesi gerektiğini dile getirmiştir.

1. Zaman ufku: kısa dönem (1-3 ay), orta dönem (3 ay-2 yıl) ve uzun dönem (2 yıldan fazla) olarak sınıflandırılabilir.
2. Verinin seyri: trend, mevsimsel, döngüsel veya ortalama değerin kullanılabileceğı rastsal seri olabilir.
3. Maliyet: veri hazırlama ve depolama, tahmin yöntemini geliştirme ve uygulama maliyetleri dikkate alınabilir.
4. Doğruluk derecesi: istenen doğruluğın % değeri belirtilmelidir.

5. Basitlik ve uygulama kolaylığı
6. Bilgisayar yazılımının mevcut olması

Ek olarak geçmiş verinin elde edilebilir ve uygun olması önemlidir. Veri sayısının artması ile daha karmaşık yöntemlere geçiş yapılması gerekebilir. Her duruma uygun en iyi tahmin yöntemini belirlemek zordur. Bazı durumlarda birden fazla yöntemi birleştirmek (hibrid yöntemler gibi) doğruluk payını arttırıp hatayı azaltabilir.

2.1.1 Tahmin doğruluğunun ölçülmesi

Tahmin sonuçlarında hatanın minimum olması istenir. Öncelikle mevcut veriler için yapılan tahmin değerlerinde hata oranlarına bakılır. Eğer yöntem başarılı ise gelecek değerlere yönelik tahmin ile devam edilir. Ancak yetersiz ise yeni bir modelin tanımlanarak işlemlerin tekrarlanması gerekmektedir. Genel olarak hata $e_i = (X_i - F_i) = (Gerçek - Tahmin)$ şeklinde hesaplanır ($F_i = \hat{X}_i$). Burada i zaman periyodudur. $\sum_{i=1}^n e_i$, n tane gözlemin toplam hatasını ifade eder. Hataların toplanması veya ortalaması yanıltabilir çünkü +/- değerler birbirini elimine edebilir. Bu nedenle hataların karelerini veya mutlak değerlerini alarak hesap yapmak daha doğrudur. Hataların kareleri alınırsa aşırı sapmaların etkisi daha büyük olacaktır. Dolayısıyla büyük bir sapma yerine küçük sapmalar tercih edilir. Genel olarak doğruluğun hesabı için Çizelge 2.1'deki ölçüler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları tahmin yöntemlerini karşılaştırmak için kullanılmaktadır.

Çizelge 2.1 : Tahmin doğruluğu hesabında kullanılan hata ölçüleri.

Hata ölçüsünün tanımı	Hata ölçüsünün matematiksel formülü	Hata ölçüsünün tanımı	Hata ölçüsünün matematiksel formülü
Ortalama hata veya ortalama bias hatası	$ME = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$	Hataların standart sapması	$SDE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-1}}$
Ortalama mutlak sapma	$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n e_i }{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i - F_i }{n}$	Yüzde hata	$PE_i = \frac{X_i - F_i}{X_i} * 100$
Ortalama hata kare	$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - F_i)^2}{n}$	Ortalama yüzde hata	$MPE = \frac{\sum_{i=1}^n PE_i}{n}$
Ortalama hata karenin karekökü	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}}$	Theil-U kriteri	$U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{F_{i+1} - X_{i+1}}{X_i} \right)^2}{\sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{X_{i+1} - X_i}{X_i} \right)^2}}$
Ortalama mutlak yüzde hata	$MAPE = 100 * \frac{\sum \frac{ X_i - F_i }{X_i}}{n}$	Ortalama mutlak yüzde değişim	$MAPC_x = \frac{\sum_{t=1}^{n-1} \left \frac{X_{t+1} - X_t}{X_{t+1}} \right }{n-1}$

MSE ve RMSE pozitif ve negatif değişimleri dikkate alır, büyük hatalardan etkilenir ve yöntemlerin karşılaştırılması için yardımcı olabilir. MAD negatifleri yoksayar ve her ikili arasındaki uzaklığın ortalamasını alır. MAPE bir bağıl hatadır, pozitif-negatif değişimleri yansıtır ve modeller arası tahmin doğruluğunu karşılaştırmayı sağlar. Bunların haricinde maksimum mutlak hata da kullanılmaktadır. Bu hata ölçüsüyle gerçek ve tahmin değerleri arasındaki en büyük fark hesaplanabilir. Theil-U kriteri ise uç değerlerden oldukça etkilenir fakat tahmin modellerinin karşılaştırılması için faydalı olabilir. U değeri, 1'den büyükse tahmin modeli naif modelden daha kötü, 1'den küçükse (özellikle $U \leq 0,55$ ise) daha iyi kabul edilmektedir (Akgöl, 2003a). Ortalama mutlak yüzde değişim ise tahmin yöntemlerini karşılaştırmak için kullanılabilir. En küçük hata ölçüsü değerine sahip model, en iyi olarak belirlenmektedir. Bu ölçüler genellikle birimlerden bağımsız olmadığı için aynı özellikte seriler için kullanılmalarının uygun olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca grafik analiziyle de veri ile tahminin dönüm noktaları incelenebilmektedir. Seri değerleri ile modelden tahmin edilen değerlerin bir grafik üzerinde işaretlenmesi aradaki uyumu gösterebilir. Hem uyumu iyi olan hem de dönüm noktalarını öngörmeye başarılı olan modelin başarısının yüksek olması beklenir. Eğer tahmin değerlerinin dönüm noktaları öncü durumundaysa, bu durum grafikte görülebilir ve R^2 belirlilik katsayısının yüksek çıkmasıyla desteklenmelidir (Akgöl, 2003a).

2.2 Zaman Serisi Yöntemleri

Zaman serileri belirli bir zaman aralığına göre dizilmiş ve arka arkaya toplanmış gözlem değerlerinden oluşmaktadır. Zaman serileri yöntemleri temel olarak ele alınan değişkenin geçmişteki davranışını incelemek ve bu doğrultuda gelecek davranışını araştırmak için kullanılmaktadır. Zaman serileri analizinde belirli zaman aralıklarında gözlenen bir olay hakkında, gözlenen serinin yapısını veren stokastik süreci modellemek ve geçmiş dönemlere ilişkin gözlem değerleri yardımıyla geleceğe yönelik tahminler yapmak amaçlanmaktadır (Kaynar ve Taştan, 2009).

Gerçekte gözlenen bir zaman serisi x_t ($t = 1, 2, \dots, N$), stokastik süreç olarak adlandırılan bir teorik sürecin gerçekleşmesi olarak düşünülür. Bir stokastik süreçte her gözlem yani serideki her değer ($x_1, x_2, \dots, x_N$) bir olasılık dağılımından rastsal olarak çekildiğinden rastsal bir değişkendir ve gözlemlerin belirli bir olasılık

dağılımına göre oluştuğu varsayılmaktadır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010). Dolayısıyla bir zaman serisi $X = \{x_t, t = 1, \dots, N\}$ şeklinde tanımlanabilir. Burada t zaman indeksi, N toplam gözlem sayısıdır (Aydın ve diğ., 2009). Zaman serileri, zaman içinde ard arda noktalarda veya zamanın birbirini izleyen dönemlerinde ölçülmüş gözlemler kümesi olarak tanımlanabilir. Birbirini izleyen gözlem değerleri birbirine bağımlıdır ve buna iç bağıllık denir. Bir zaman serisinin stokastik bir seri olarak ortalaması, varyansı, kovaryansı ve daha yüksek dereceden momentleri incelenen zaman sürecince değişmiyorsa veya seri periyodik dalgalanmalardan arınmışsa “durağan seri” veya “durağanlık” denir. Özetle istatistiksel olarak dengeye gelmesi, sıralı gözlemlerin sabit bir ortalama seviyesinde olması olarak ifade edilebilir (Bircan ve Karagöz, 2003). Zaman serisi analizinde, model kurmadan önce zaman serisinin doğru analiz edilmesi, durağanlık ve mevsimsellik durumlarına göre farklı ele alınması gerekmektedir. Literatürde durağanlık için çeşitli testler geliştirilmiştir (Arttırılmış Dickey-Fuller (ADF), Elliott-Lothenberg-Stock, Phillips-Perron, KPSS birim kök testi, Schmidt-Phillips ve Zivot-Andrews gibi). Durağan ve durağan olmayan zaman serilerinde tahmin modelleri ayrı olarak geliştirilmiştir (Dazhi ve diğ., 2012). Bu yöntemler aşağıdaki gibi özetlenebilir ve Box-Jenkins süreciyle çözülebilmektedir.

- Durağan trend
 - AR: otoregresif yöntem
 - MA: hareketli ortalama yöntemi
 - ARMA: otoregresif hareketli ortalama yöntemi
- Durağan olmayan trend
 - IMA: entegre hareketli ortalama yöntemi
 - ARIMA: otoregresif entegre hareketli ortalama yöntemi
 - SARIMA: mevsimsel otoregresif entegre hareketli ortalama yöntemi

Zaman serileri analizi tek değişkenin zaman içindeki davranışını incelemenin yanı sıra çok değişkenli olarak da ele alınabilir. Diğer tahmin modellerine göre daha az veriye gereksinim duyması, model oluşturmanın kolay olması, değişkenlerin nedensellikleriyle ilgili ön bilgiye gerek duyulmaması ve kısa dönemli tahminlerde başarılı olması sonucu yaygın olarak kullanılmaktadır (Akgül, 2003b). Ekonomi, doğal bilimler, biyoloji, sosyal bilimler, fizik, mühendislik, yönetim gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Fuller, 1996).

Zaman serisi verileri, değişkenin bir dönemden başka bir döneme ardışık şekilde gözlemlendiği sayısal değerler hakkında bilgi vermektedir ve zaman serileri yöntemleri ile ele alınan değişkenin geçmişteki davranışı incelenmekte ve bu doğrultuda gelecek davranışı araştırılmaktadır (Kaynar ve Taştan, 2009). Zaman serisi analizinin ilk geliştiği dönemde modellerdeki fonksiyonel ilişki sadece T zamanı içermekteydi ($X_t = f(T)$). Ekonomik araştırmalarla birlikte 1960'ların sonunda, bir serinin gözlenen ve gözlenmeyen bileşenlerinin sentezi olması gerektiği öne sürülmüştür. Dolayısıyla zamanın etkisi hem sistematik kısımda hem de rastsal kısımda vardır ($X_t = f(T_t, e_t)$). Böylece serinin özellikleri daha iyi anlaşılmış ve daha iyi tahminler yapılabilmektedir (Akgül, 2003a). Bu kapsamda geliştirilen zaman serileri, günümüzde trend (eğilim), mevsimsellik, döngüsellik (konjonktür) ve rastsallık (düzensizlik) bileşenlerinin bir kombinasyonu olarak modellenmektedir. Verilerin sabit bir ortalama etrafında dalgalandığı kalıplar, rastsal kalıplar olarak adlandırılır. Trend ise zaman serisinin uzun dönemli eğilimini gösterir. Trend kalıpları, artan, azalan, değişmeyen olabildiği gibi doğrusal veya doğrusal olmayan olabilir. Mevsimsellik belirli aralıklarda tekrarlı ve sistematik salınımlardır. Döngüsellik veya konjonktürel dalgalanmalar ise mevsimsellik gibi sistematik değildir, düzensiz dönemlerde sistematik olmayan dalgalanmalardır. Bazı durumlarda anlık ve yoğunlukla tekrarlanmayan uç değerler olabilir. Bu tür kalıplara ise sapan değerli kalıplar denir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010).

Zaman serilerinde serinin ortalamasından gösterdiği sapmalar ve bu sapmaların düzenli veya düzensiz olması, seri hakkındaki tanımlamaları değiştirecektir. Bu nedenle durağanlık, istatistiksel çıkarımlar yapabilmek ve değişkeni daha iyi tanımlayabilmek açısından önem kazanmaktadır. Bu aşamada serinin ortalamasının içerdiği trendin stokastik veya deterministik olması da araştırılmalıdır. Dolayısıyla seriler için öncelikle durağanlık araştırması yapılmalı, ardından ne türden bir trende sahip olduğu belirlenmelidir (Bozkurt, 2013). Bir zaman serisinin tahmini için iki standart yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki Box-Jenkins yöntemidir; otoregresif ve hareketli ortalama modellerini (AR, MA, ARMA, ARIMA) kullanmaktadır. Ancak Box-Jenkins yöntemlerinde durağanlık önemli bir varsayımdır. Box-Jenkins modellerine, doğrusal durağan stokastik modeller de denmektedir. Üç gruba ayrılabilir: doğrusal durağan stokastik modeller, durağan olmayan doğrusal stokastik modeller ve mevsimsel modeller (Bircan ve Karagöz, 2003). İkinci yaklaşım ise

ayırıştırma olarak adlandırılır ve her eleman trend, mevsimsel, döngüsel ve rastsal (hata) bileşenleri ile gösterilir. Zaman serileri analizinde kullanılan temel yöntemler olarak ayırıştırma modelleri, trend analizi ve düzeltme yöntemleri sonraki alt bölümlerde anlatılmıştır.

2.2.1 Ayırıştırma yöntemleri

Zaman serisinin özelliklerini inceleyebilmek için serinin bileşenlerine ayırıştırılması, rastsal bileşen dışındaki bileşenlerin ayrı ayrı incelenmesi ve sonrasında tahminlerinin birleştirilmesi mümkündür (Orhunbilge, 1999). Burada denklem 2.1'deki gibi, verinin bileşenlerin bir fonksiyonu olarak ifade edildiği düşünülür.

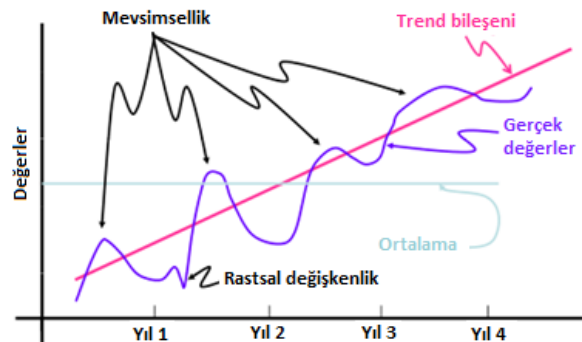
$$x_t = f(T_t, S_t, C_t, E_t) \quad (2.1)$$

Ayırıştırmanın amacı, zaman serisinin özelliklerinin ortaya çıkarılması ve tahminden önce yöntem seçimine yardım etmektir (Akgül, 2003a). Sırasıyla trend, mevsimsellik, döngüsellik ve rastsal bileşenleri toplamaları (toplamsal ayırıştırma modeli (2.2)) veya çarpımları ( arpımsal ayırıştırma modeli (2.3)) şeklinde modeller mevcuttur (Orhunbilge, 1999).

$$x_t = T_t + S_t + C_t + E_t \quad (2.2)$$

$$x_t = T_t * S_t * C_t * E_t \quad (2.3)$$

En çok kullanılanı çarpımsal ilişkidir çünkü çoğu seride mevsimsellik ve döngüsellik trende oran şeklinde karşımıza çıkar ve daha uygundur. Bazı durumlarda (gözlenemeyen bileşenler modeli), trend ve döngüsellik toplamsal, mevsimsellik ise çarpımsal olabilmektedir ($X_t = (T_t + C_t) * S_t$) (Akgül, 2003a).



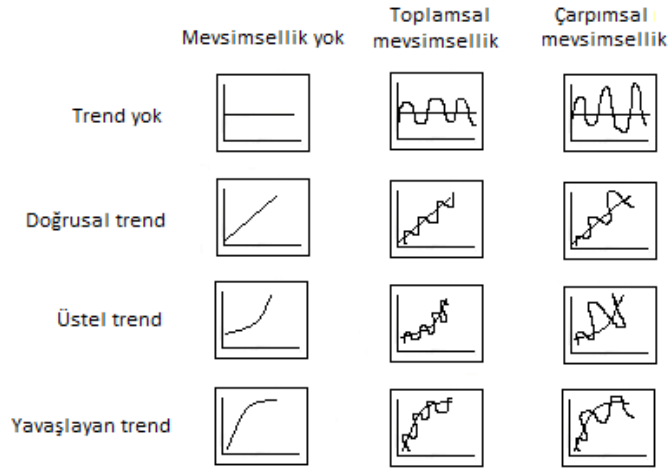
şekil 2.6 : Trend, mevsimsel ve rastsal değişkenlik gösterimi.

şekil 2.6'da trend, mevsimsel ve rastsal bileşenleri gösteren örnek bir grafik yer almaktadır. Bu grafikten de görüldüğü gibi trend ve mevsimsel bileşenler analiz

edilebilir ancak döngüsel bileşeni incelemek zordur. Döngüsel bileşen düzenli olmayan ekonomik döngüleri içerir ve geçmişteki birçok dış etmene bağlıdır. Rastsal bileşen veya hata bileşeni ise tahmin sürecinde dikkate alınmaz çünkü tahmin edilmesi mümkün olmayan rastsal gürültü şeklindedir. Bu nedenle toplamsal modelde, elemanlar denklem 2.4 gibi basitleştirilebilir (Štěpnička ve diğ., 2009).

$$x_t = T_t + S_t \quad (2.4)$$

Veri seyir tipleri, trend ve mevsimsellik durumlarına göre Şekil 2.7’de gösterilmektedir (Akgül, 2003a). Uygulanacak yöntemin verinin özelliğine uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Benzer bir sınıflandırma Pegels tarafından da yapılmıştır. Pegels sadece toplam/çarpımsal trend ve mevsimsellik durumlarına göre sınıflandırmıştır.



Şekil 2.7 : Zaman serilerinde veri seyirlerinin sınıflandırılması.

Ayrıştırma yönteminin adımları şu şekilde özetlenebilir (Makridakis ve Wheelwright, 1989):

1. Mevsimsel faktörlerin belirlenmesi: Hareketli ortalama ve gerekirse merkezi hareketli ortalama hesabıyla mevsimsel indeksler bulunur.
2. Trend faktörlerinin belirlenmesi: Veriye bir trend eğrisi uydurulmalıdır. Doğrusal trend varsayılırsa basit regresyonla bulunur.
3. Döngüsel faktörlerin belirlenmesi: Hareketli ortalamalar mevsimsellik ile rastsalılığı kaldırdığı için trend ve döngüsellik kalmıştır. Dolayısıyla hareketli ortalama trende bölündüğü zaman döngüsellik elde edilir.
4. Trend-döngüsellik değerlerinden daha fazla tahmin elde etme: Mevsimsellikten arındırılmış veri ile başlayıp hareketli ortalama alınır.

5. İstenen zaman periyodu için tahmin hazırlama: Mevsimsel faktörü düzeltilmiş mevsimsel indeksler ile trendi eğri denkleminde yerine koyarak ve döngüselliği mevcut örüntüden tahmin ederek bulmak gerekir. Tahmin için üçünün toplamı veya çarpımı alınır.

Tahmin edilen trend denkleminin katsayıların anlamlılığı için t -testi, modelin açıklama gücü için R^2 , otokorelasyon durumu için de Durbin-Watson (DW) d -testi kullanılmaktadır. Mevsimselliğin anlaşılamadığı bazı durumlarda ise mevsim etkilerinin ortaya çıkarılmasını sağlayan Kruskal-Wallis testi kullanılabilir (Akgül, 2003a).

Ayrıştırma yöntemleri basitlik ve işlem kolaylığı açısından üstünlük sağlamasının yanı sıra, istatistiksel bir yonteme dayanmaması ve her yeni veri için işlemlerin tekrarlanması açısından dezavantaj oluşturur. Özellikle kısa dönemli öngörülerde kesin ve başarılı sonuçlar vermesinden dolayı sıkça kullanılır. Aslında ayrıştırma bir tahmin yöntemi olarak geliştirilmemiştir ancak önemli bir temel sağlamaktadır. Yöntemin amacı zaman serilerinin özelliklerini ortaya çıkarmak ve tahminden önce yöntem seçimine yardım etmektir (Akgül, 2003a).

2.2.2 Trend analizi

Değişkenin geleceğe yönelik değerlerinin tahmini için kullanılan yaklaşımlardan biri trend analizidir. Zaman serisinin (X_t), zaman (T) ve rastsal hatanın (ε_t) fonksiyonu olduğu düşünülür. İncelenen zaman serisinin doğrusal veya eğrisel olarak değişimini (artma, azalma veya sabit) tahmin etmek için, uygun bir fonksiyon denklemi türetilmektedir. Başlıca trend tipleri değişmeyen parametrelili modeller (doğrusal trend, doğrusal olmayan trend modelleri) ve değişen parametrelili modeller olarak geliştirilmiştir (Akgül, 2003a).

Değişmeyen parametrelili modellerde, aşağı veya yukarı doğru eğilim, artan, azalan veya sabit trend olabilir. Genel olarak doğrusal bir ilişki durumunda uygun model denklem 2.5 gibi olabilir.

$$X_t = \alpha + \beta T + \varepsilon_t \quad (2.5)$$

Doğrusal trend modelinde değişkenle zaman arasındaki ilişkinin gücü ve yönü hem grafiksel olarak hem de korelasyon katsayısı (ρ) hesabıyla görülebilir. Uygulamada eğri tipine karar verirken, orijinal serinin grafiğinin yanı sıra ($X_t - X_{t-1}$) şeklindeki

ilk fark serisinin de grafiği incelenebilir. İlk fark serisinin trendi yoksa doğrusal model, trendi varsa eğrisel model uygun olacaktır. Zaman serisi ile zaman arasındaki ilişkinin şekline göre basit veya çoklu regresyon denklemleri kullanılmaktadır. Yöntemin yararlı olabilmesi için trendi tanımlayan parametrelerin zaman içinde değişmiyor olması gerekir. Başlıca trend modelleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Doğrusal trend modeli: Model sabit artışlı olup, verilerdeki ilk farklar sabittir.
- Doğrusal olmayan trend modeli
 - Özünde doğrusal olan modeller: Değişkenlere göre doğrusal olmayan fakat tahmin edilen parametrelere göre doğrusal olan modellerdir. Polinom (kuadratik, kübik), üstel büyüme modelleri örnek verilebilir.
 - Özünde doğrusal olmayan modeller: Hem değişkenlere hem de parametrelere göre doğrusallık bulunmaz. Bazı fonksiyonel formlar hiçbir dönüşümle doğrusal yapılamamaktadır. Lojistik (S-eğrisi) model, Gompertz eğrisi örnek verilebilir.

Değişen parametrelili modellerde ise parametrelerin zaman içinde değişmesi ve yeni veri eklendiğinde güncellenmesi söz konusudur. Yeni veri eklendiğinde parametreler değişiyorsa; ilave veri durumunda parametrelerin yeniden tahmini yapılması gerekir, parametre hesabından önce hareketli ortalama alınır, parametrelerin daha etkin bulunmasını sağlayan üstel düzeltme yöntemleri uygulanır.

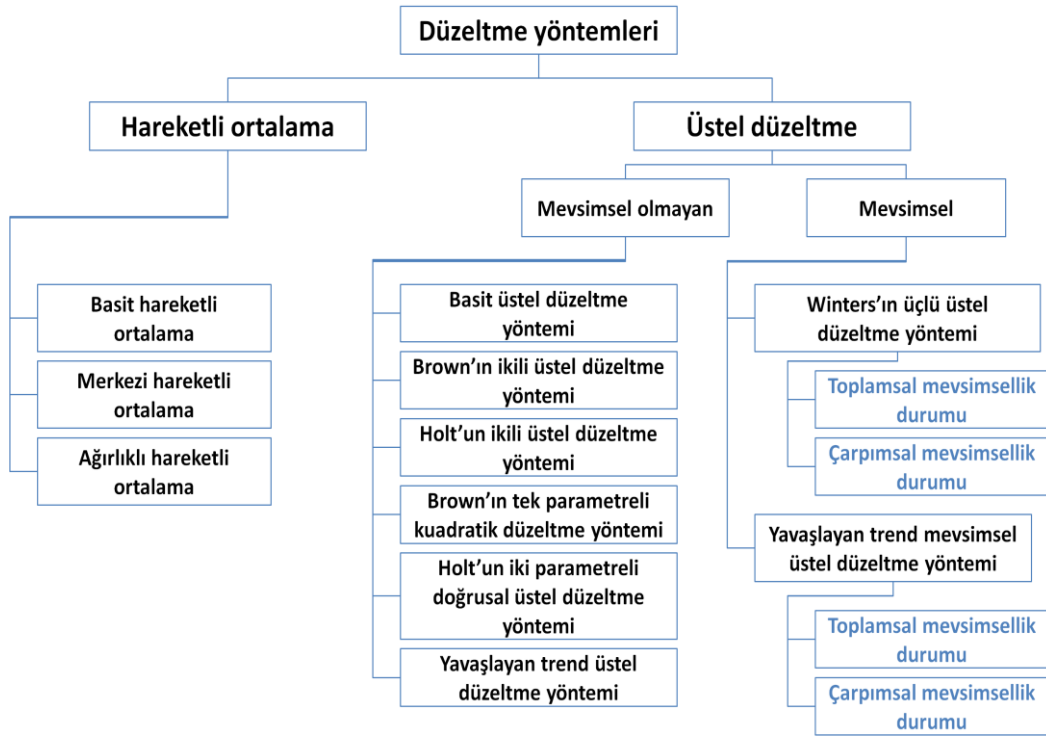
2.2.3 Düzeltme yöntemleri

Zaman serisindeki dalgalanmaları ve mevsimselliği kaldırmak veya azaltmak amacıyla uygulanan yaklaşımlardan bir diğeri düzeltme yöntemleridir (Akgül, 2003a). Bu yöntemler sayesinde serinin davranışı daha anlaşılır hale gelmekte, rastsallık mümkün olduğunca kaldırılmakta ve serinin gelecekte alacağı değerleri öngörmede yardımcı olmaktadır. Geçmiş veriler düzeltilerek veya ortalamaları alınarak rastsallıktan uzaklaştırılmaktadır. Bu yöntemler genel olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 2.8):

- Hareketli ortalama yöntemleri
- Üstel düzeltme yöntemleri (Holt-Winters)

Verideki rastsal dalgalanmalar ile bulunması istenen örüntünün belirlenmesi için düzeltme kullanılmaktadır. Rastsallığın mümkün olduğunca ayrıştırılmasına ve kaldırılmasına çalışılmaktadır. Her iki yöntem de durağan zaman serileri ile

çalışmaktadır, yani seride trend, döngüsellik veya mevsimsellik olmaması durumunda başarılıdır (Makridakis ve Wheelwright, 1989). Hareketli ortalama yönteminde son birkaç dönemin ortalaması alınarak rastsallık etkisinin azaltılması hedeflenmektedir. Amaç mevsimselliği ve rastsallığı azaltmaktır. Hareketli ortalama yöntemlerinde her verinin ağırlığı eşit kabul edilirken, üstel düzeltme yöntemlerinde ağırlıklandırma üstel olarak yapılmaktadır (Makridakis ve Wheelwright, 1989). Üstel düzeltmede parametreler veya ağırlıklar serinin özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkar. Trend ve mevsimsellik tipine göre üstel düzeltme yöntemleri sınıflandırılabilir (Dong ve diğ., 2013). Ayrıca mevsimsel etkileri taşıyan serilerde mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemleri de uygulanabilmektedir. Burada mevsimsellikten arındırmak için mevsim indeksleri hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.8 : Düzeltme yöntemlerinin sınıflandırılması.

2.2.3.1 Hareketli ortalama yöntemleri

Bu yöntemin amacı, son birkaç dönemin ortalaması alınarak rastsallık etkisinin azaltılmasıdır. Yöntemde bileşenlere ayrıştırmak yerine, sadece mevsimselliği ve rastsallığı kaldırmak hedeflenmektedir. Hareketli ortalama uygulandıktan sonra seride trend ve döngüsellik bileşenleri kalmaktadır. Hareketli ortalaması alınan dönem sayısı arttıkça, rastsallık daha çok kaldırılabilir. Bu dönem sayısının seçimi, serideki önemli dalgalanmaları yok etmeyecek ve çok veri kaybı olmayacak

şekilde yapılmalıdır (Akgül, 2003a). En uygun dönem sayısı deneme yanılma yöntemiyle ve hatayı minimize edecek şekilde belirlenmelidir. Basit hareketli ortalama, merkezi hareketli ortalama (ikili hareketli ortalama) ve ağırlıklı hareketli ortalama yöntemleri mevcuttur.

- Basit hareketli ortalama: Geçmiş verilerin aritmetik ortalamaları alınarak gelecek için tahmin yapılmaktadır. Burada hareketli ortalamaya giren dönem sayısını arttırmak düzeltmeyi daha etkin kılar ve hata payını küçültür. Bu yöntem eşit ağırlıklandırma yapmaktadır. Eğer veride trend veya mevsimsellik varsa hareketli ortalama ile yapılan tahmin zayıf kalmaktadır. Bu tür dezavantajlarına karşılık üstel düzeltme yöntemleri geliştirilmiştir.
- Merkezi hareketli ortalama: Hareketli ortalama hesabında ortalaması alınan dönem sayısı çift olduğunda kullanılmaktadır. Basit hareketli ortalama hesabından sonra ara dönemlere denk gelen değerlerin ikili ortalaması alınarak merkezi hareketli ortalama değerleri hesaplanır ve ilgili dönemlerin karşısına yazılır. Aynı zamanda ikili hareketli ortalama olarak adlandırılmaktadır.
- Ağırlıklı hareketli ortalama: Önceki değerlerin ortalaması alınırken daha yeni verilere eski verilerden daha fazla ağırlık atanmaktadır.

2.2.3.2 Üstel düzeltme yöntemleri

Üstel düzeltme yöntemlerini hareketli ortalamadan ayıran özelliği, burada parametreler veya ağırlıklar serinin özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkar. Basit olması, fazla teknik bilgi gerektirmemesi ve kısa dönemli tahminlerdeki başarısı nedeniyle sıkça kullanılan bir yaklaşımdır. İlk olarak Holt, 1957’de mevsimsel olmayan zaman serilerinin trende sahip olmaması durumunda kullanılacak düzeltme yöntemini geliştirmiş ve 1958 yılında trendi de katarak çözmüştür. Ayrıca mevsimselliği içeren genelleştirilmiş Holt-Winters yöntemi de 1965’de Winters tarafından önerilmiştir (Akgül, 2003a).

Üstel düzeltme yöntemleri mevsimsel olmayan ve mevsimsel şeklinde ikiye ayrılabilir (Akgül, 2003a). Şekil 2.8’de görülen bu yöntemlerden Brown’ın tek parametrelili kuadratik düzeltme yöntemi, Brown’ın üçlü üstel düzeltme yöntemi olarak da adlandırılır. Yavaşlayan trend mevsimsel üstel düzeltme yöntemi ise sönümlü trend olarak modellenmektedir. Bunların dışında kalan üstel düzeltme yöntemleri çok uzun ve yorucu hesaplamalar gerektirir, bu nedenle geniş uygulama

alanına sahip olamamıştır (Orhunbilge, 1999). Örnek olarak, Chow'un uyarlanabilir kontrol yöntemi, Brown'un tek parametrelili uyarlanabilir yöntemi, Box-Jenkins üç parametrelili düzeltme yöntemi, Harrison'ın harmonik düzeltme yöntemi, Winters'ın çarpım modeli ve uyarlanabilir tepki oranlı basit üstel düzeltme yöntemi verilebilir.

2.2.3.3 Mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemleri

Mevsim etkileri taşıyan serilere mevsimsel ayarlama yöntemleri uygulanarak serideki dalgalanmaların ortadan kaldırılması diğer bir seçenek olarak ortaya atılmaktadır. Ancak trend ve/veya mevsimsellik özelliği sergileyen seriler söz konusu olduğunda, trendden arındırılmış ve mevsimsellikten arındırılmış verileri kullanarak model kurulmasının genellikle tercih edilen bir yaklaşım olmadığı ifade edilmektedir (Akgül, 2003a). Mevsimsellikten arındırma yöntemleri 3 başlık altında toplanabilir:

- Mevsim indekslerinin hesaplanması ve indeksler yardımıyla mevsim etkilerinden arındırma
- Seride deterministik mevsimsel bileşen olduğunda regresyon ile mevsimsel kukla değişken kullanımı
 - Regresyon fonksiyonunun bazı katsayılarının her bir mevsimde farklı olmasını mümkün kılan basit kukla değişken yaklaşımı
 - Regresyon fonksiyonunun tüm katsayılarının her bir mevsimde farklı olmasını mümkün kılan çarpımsal kukla değişken yaklaşımı
- Mekanik arındırma yöntemlerinden Census II, X-11 gibi yöntemlerden birinin kullanımı ile mevsimsellikten arındırma

Mevsim indekslerinin hesaplanması için hareketli ortalamaya oran yöntemi kullanılmaktadır. Burada s mevsimsel dönem için s -dönemlik hareketli ortalamalar hesaplanır. Gerçek değerler, ilgili dönemine ait hareketli ortalamaya bölünür. Her dönem için bu oranların ortalaması hesaplanır ve s tane ortalamanın ortalaması 1 olacak şekilde standartlaştırma yapılır. Böylece mevsimsel indeksler elde edilir.

2.2.4 ARMA yöntemleri

Düzeltilme yöntemleri veriyi ağırlıklandırarak tahmin yapmamıza, ayrıştırma yöntemleri ise veride mevcut olan bileşenlere ayırmamıza yardımcı olmaktadır.

ARMA (otoregresif hareketli ortalama) modelleri ise her tipte veriyle çalışabilen istatistiksel modellerdir ve korelasyon hesabına dayanmaktadır. Birbiri ardına gelen değerler arasında otokorelasyon verinin tipini ve seyrini belirlemede ana araçtır. Otokorelasyon hesabı sayesinde, veri kümesinin rastsal dağılıp dağılmadığı, mevsimsellik veya döngüsellik etkisinin ne derecede olduğu anlaşılabilir. Tahmin yöntemini belirlemede yardımcı olan diğer bir istatistiksel ölçü ise kısmi otokorelasyondur.

Zaman serileri modelleri üç genel sınıfa ayrılabilir. AR modelleri Yule (1926, 1927), MA modelleri Slutsky (1937) ve ARMA modelleri Wold (1954) tarafından geliştirilmiştir (Makridakis ve Wheelwright, 1989).

2.2.4.1 Otoregresif süreç (AR)

Zaman serisi kendi gecikmeli değerlerinin bir fonksiyonu ile ifade edilir. p . mertebeden $AR(p)$ modeli 2.6 denklemleriyle ifade edilmektedir.

$$y_t = \delta + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.6)$$

y_t bağımlı değişken ve $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p}$ bağımsız değişkenleri ifade etmektedir. Bağımsız değişkenler aynı (oto) değişkenin önceki dönemlere ait gecikmiş değerleridir. δ sabit terim (kesme terimi), $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ otoregresif parametrelerdir. ε_t ise hata (kalıntı) terimi olup, sıfır ortalamalı, sabit varyanslı, korelasyonsuz rastsal bir değişkendir ($\varepsilon_t \sim IID(0, \sigma^2)$ beyaz gürültü süreci olarak adlandırılır). Model tarafından açıklanamayan rastsal bozuklukları göstermektedir. Eğer denklemin gerçekten uygun olduğu, p değeri ve $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_p$ değerleri belirlenebilirse, tahmin için kullanılabilecek bir model olmaktadır. $\delta = 0$ varsayımıyla gecikme operatörü L ile ifade edildiğinde; $Ly_t = y_{t-1}$ ve $L^2 y_t = L(Ly_t) = L(y_{t-1}) = y_{t-2}$ olduğu için 2.7 denklemleri gibi modellenenmektedir.

$$y_t = (\phi_1 L + \phi_2 L^2 + \dots + \phi_p L^p) y_t + \varepsilon_t \quad \text{veya}$$

$$(1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2 - \dots - \phi_p L^p) y_t = \varepsilon_t \quad (2.7)$$

Gecikme polinomu ile ifade edildiğinde; $\Phi(L)y_t = \varepsilon_t$ veya $y_t = (1/\Phi(L))\varepsilon_t$ şeklinde $AR(p)$ süreci gösterilebilir. $\Phi(L)$ polinomu çarpanlarına ayrıştırıldığında denklem 2.8 şeklinde ifade edilebilir.

$$\Phi(L) = (1 - \lambda_1 L)(1 - \lambda_2 L) \dots (1 - \lambda_p L) \quad (2.8)$$

Buradaki $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ değerleri, $y^p - \phi_1 y^{p-1} - \phi_2 y^{p-2} - \dots - \phi_p = 0$ denkleminin köklerini simgelemektedir. $|\lambda_i| = |1/\phi_i| > 1$ olması ($\Phi(L) = 0$ köklerinin birim daire dışına düşmesi), $|\phi_i| < 1$ olmasıyla aynıdır ve durağanlık için p tane otoregresif katsayının toplamı 1'den küçük olmalıdır: $\sum_{i=1}^p \phi_i < 1$. Ancak bu durağanlık koşulu altında seri yakınsak ve $Var(y_t)$ sonlu olacaktır. Bu gerek şart olup yeterli olmamaktadır (Akgül, 2003b).

2.2.4.2 Hareketli ortalama süreci (MA)

Değişkenin t dönemindeki y_t bağımlı değişkeninin değeri, aynı dönemdeki hata veya kalıntı terimi (ε_t) ve hata terimlerinin önceki dönemlere ait gecikmeli değerleri $\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-q}$ ile belirlenmektedir. q . mertebeden MA(q) modeli 2.9 denkleminle ifade edilmektedir.

$$y_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.9)$$

μ sabit terim, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ hareketli ortalama parametreleri, ε_t hata terimi ise beyaz gürültü sürecidir. $\mu = 0$ varsayımıyla gecikme operatörü (L veya B ile gösterilir) ile yeniden yazılırsa denklem 2.10'daki polinomla gösterilebilir.

$$\begin{aligned} y_t &= (1 - \theta_1 L - \theta_2 L^2 - \dots - \theta_q L^q) \varepsilon_t \\ \Theta(L) &= 1 - \theta_1 L - \theta_2 L^2 - \dots - \theta_q L^q \\ y_t &= \Theta(L) \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2.10)$$

Bir MA(q) süreci, q tane durağan, sıfır ortalama ve sabit varyansa sahip hata terimlerinin bir ortalaması olduğu için her hareketli ortalama durağan olmaktadır. Bu süreçle ilgili en önemli özelliklerden biri tersine çevrilebilirliktir. Bu özellik ile gecikme uzunluğu arttıkça katsayılar daha az ağırlık verilmesi sağlanmaktadır. MA(q) sürecini ifade eden polinomun köklerinden yola çıkarak, $|\theta_i| < 1$ ve $\sum_{i=1}^q \theta_i < 1$ ise süreç tersine çevrilebilirdir (Akgül, 2003b).

2.2.4.3 Otoregresif hareketli ortalama süreci (ARMA)

Zaman serisinin, otoregresif bileşenlerle hareketli ortalama bileşenlerinin bir kombinasyonu şeklinde modellendiği durumdur. ARMA(p, q) modeli için 2.11 denkleminde görüldüğü gibi bağımlı değişkenin gelecek değerleri, hem geçmiş değerlere ($y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p}$) hem de geçmiş hata terimlerine ($\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-q}$) bağlıdır.

$$y_t = \delta + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.11)$$

Bu sürecin durağanlığı tamamen otoregresif kısma, tersine çevrilebilir olması ise hareketli ortalamalar kısmına bağlı olarak bulunmaktadır. Bu durumda sürecin durağanlığı AR(p) modeli ile, çevrilebilirlik koşulu ise MA(q) modeli ile aynıdır (AR daima çevrilebilir, MA daima durağan bir süreçtir).

ARMA modeli elde etmek için MA süreci ile doğrusal fark denklemini birleştirmek gerekir. Fark denkleminin homojen bölümü p gecikmeleri, MA bölümü ise q gecikmeleri içeriyorsa ARMA modeli ifade edilmektedir. Burada $q = 0$ ise AR(p) süreci, $p = 0$ ise de MA(q) süreci olmaktadır. Gecikme operatörü ile ifade edilecek olursa gecikme polinomlarının da kullanımıyla ($\delta = 0$ varsayımı altında) denklem 2.12 ile gösterilebilir.

$$\Phi(L)y_t = \Theta(L)\varepsilon_t \quad (2.12)$$

ARMA yönteminin parametreleri çoğunlukla bilgisayar yardımıyla tahmin edilmektedir. Bu tür modelleri uygulamak için sıklıkla kullanılan prosedür Box-Jenkins modelidir. Düzeltme yöntemleri serinin özelliklerini çok dikkate almadan tahmin etmektedir fakat ARMA modelleri ayrıntılı olarak özellikleri inceler ve seriye uygun tahmin modelini geliştirmeye çalışır. ARMA modellerinin özellikleri Çizelge 2.2’de özetlenmiştir (Akgül, 2003b).

Çizelge 2.2 : ARMA modellerinin özellikleri.

AR(p) $\Phi(L)y_t = \varepsilon_t$	MA(q) $y_t = \Theta(L)\varepsilon_t$	ARMA(p, q) $\Phi(L)y_t = \Theta(L)\varepsilon_t$
Durağanlık koşulu		
$\Phi(L)$ polinomunun kökleri mutlak değerce >1 olmalı	Daima durağan	$\Phi(L)$ polinomunun kökleri mutlak değerce >1 olmalı
Çevrilebilirlik koşulu		
Daima çevrilebilir	$\Theta(L)$ polinomunun kökleri mutlak değerce >1 olmalı	$\Theta(L)$ polinomunun kökleri mutlak değerce >1 olmalı
ACF (otokorelasyon fonksiyonu)		
Sonsuz (üstel veya sinüs azalma)	Sonlu (üstel veya sinüs azalma) q gecikme sonrası kesilir	Sonsuz (üstel veya sinüs azalma) ilk $(q - p)$ gecikme sonrası kesilir
PACF (kısmi otokorelasyon fonksiyonu)		
Sonlu (üstel veya sinüs azalma) p gecikme sonrası kesilir	Sonsuz (üstel veya sinüs azalma)	Sonsuz (üstel veya sinüs azalma) ilk $(p - q)$ gecikme sonrası kesilir

Zaman serisi durağan değilse bir kısmı diğer kısmıyla aynı gelişmeyi göstermez. Bu tür süreçlerin modellenebilmesi için öncelikle durağanlığın sağlanması

gerekmektedir. Bunun için ARIMA modelleri geliştirilmiştir. Genellikle birinci veya ikinci mertebeden fark alma ile durağanlık sağlanmaktadır. Bazı ekonomik değişkenler ise logaritmik değerleriyle doğrusal olduğu için durağanlığı sağlamak için logaritma dönüşümü de kullanılabilir.

Durağan olmayan zaman serilerinin en basiti rastsal yürüyüş sürecidir (2.13). Birim köke sahip, durağan olmayan bir süreçtir.

$$\begin{aligned} y_t &= y_{t-1} + \varepsilon_t \\ \Delta y_t &= y_t - y_{t-1} = \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2.13)$$

Genel olarak $y_t = y_0 + \sum_{i=1}^t \varepsilon_i$ şeklinde gösterilmektedir. y_t 'nin ortalaması sabittir fakat varyansı zamana göre değiştiği için süreç durağan değildir: $E(y_t) = y_0$ ve $Var(y_t) = t \cdot \sigma^2$

Durağan olmayan seriler uygun derecede farklar alınarak ARIMA (otoregresif entegre hareketli ortalama süreci) modelleriyle ele alınmaktadır. Seri durağanken 0. mertebeden $I(0)$ entegredir. Eğer durağanlığı sağlamak için d defa fark almak gerekiyorsa d .mertebeden $I(d)$ entegredir ve $ARMA(p, q)$ uygulanırsa $ARIMA(p, d, q)$ modeli elde edilmektedir. ARIMA sürecinin bulunması oldukça zor olmaktadır. Bunun için 4 adımlık deneme yanılma süreci olan Box-Jenkins yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntem optimal olmamakla beraber pratik bir yöntem olduğu için sıklıkla kullanılmaktadır.

2.2.5 Box-Jenkins yöntemi

1976 yılında Box ve Jenkins tarafından geliştirilen bu yöntemin temelleri 1927 yılında Yule tarafından atılmıştır. Durağan zaman serileri için Box ve Jenkins geçmiş verileri, tahmin hatasını ve rastsal terimi dikkate alan bir model geliştirmiştir. Uygun modelin belirlenmesi ve tahmini için model kurma stratejileri oluşturulmuştur. Eşit zaman aralıklarıyla elde edilen gözlem değerlerinden oluşan kesikli ve durağan bir seri ile tahmin geliştirmektedir. Durağan olmayan seri ise fark alma sonucunda durağanlaştırılır ve ARIMA modeli AR, MA veya ARMA modeli olacaktır. Yöntemin yaygın olarak kullanılmasının nedeni, ele alınan herhangi bir seri durağan olsun veya olmasın, mevsimsellik içersin veya içermesin, bilgisayar paket programlarıyla bir çözüme kavuşturma yeteneğidir.

Bu yöntemin temeli tutumluluk (cimrilik) ilkesine dayanır ve amaç en az sayıda

parametre içeren uygun modelin bulunmasıdır. İlave her katsayının uyumu arttırmasının yanı sıra, serbestlik derecesini de düşürme maliyeti dikkate alınmalıdır. Ele alınan zaman serisinin özelliklerine göre belirlenen çeşitli modeller arasından en uygun olanını seçerek tahmin etme süreci gerçekleştirilir. Bu yöntemde birden fazla deneysel model belirlenir ve içlerinden en iyisi seçilir. Uygun modelin bulunması için denemelere bağımlılık, bu yöntemin en büyük dezavantajı olarak dikkat çekmektedir.

Durağan zaman serileri için geçmiş verileri, tahmin hatasını ve rastsal terimi dikkate alan bir model geliştirilmiştir. Durağan olmama durumunda ise d defa fark alınarak durağanlığa erişilebilmektedir (Sfetsos, 2000). Bu nedenle ARMA modeli genel olarak ARIMA(p, d, q) süreci ile 2.14 denklemi şeklinde ifade edilmektedir.

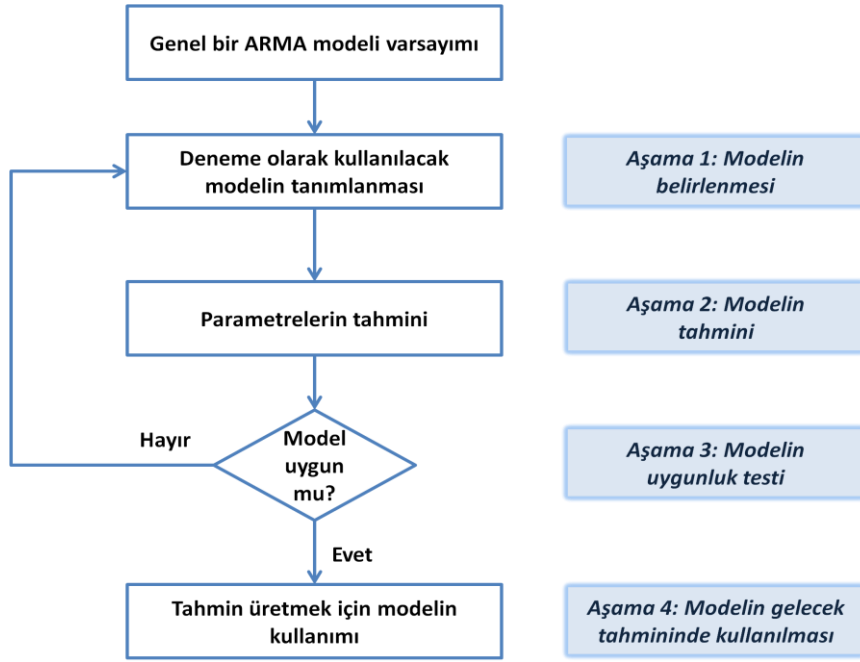
$$y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (2.14)$$

Burada ϕ_i otoregresif parametreyi, θ_j hareketli ortalama parametresini, ε_t rastsal terimi, p ve q ise dereceleri ifade etmektedir. Gecikme operatörü ve gecikme polinomları kullanarak 2.15 denklemi gibi de gösterilmektedir.

$$\Phi(L)\Delta^d y_t = \Theta(L)\varepsilon_t \quad (2.15)$$

Genellikle zaman serilerinin sistematik (deterministik) ve rastsal (stokastik) parçalardan oluştuğu düşünülür. Deterministik kısmını trend, döngü ve mevsim bileşenlerine ayırtırmak mümkündür. Bu bileşenler düşük dereceli polinom, kısa Fourier serileri, periyodik veya trigonometrik fonksiyonlarla incelenebilmektedir. Rastsal parça, stokastik süreç olarak tanımlanır ve durağan veya durağan olmayan şeklinde sınıflandırılır. Durağan zaman serisi genellikle birinci dereceden Markov süreci, MA süreci, AR süreci ve ARMA süreciyle ele alınırken, durağan olmayan zaman serisi ARIMA süreci ile çözülebilir. Ayrıca Box ve Jenkins, ARIMA'ya mevsimsel etkileri dahil ederek SARIMA sürecini geliştirmiştir (Singh, 2008).

Box-Jenkins yönteminin adımları Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Öncelikle tahmin modeli için genel bir model varsayılır. Daha sonra en iyi uyan deneme model tanımlanır, mevcut geçmiş veriye göre modelin uyarlanması, parametrelerinin tahmini ve uygunluğunun testi yapılır, eğer uygun değilse geri dönülür ve genel modellerden alternatif başka model seçilir. Son aşamada ise uygun bulunan modelle geleceğe yönelik tahminler geliştirilir.



Şekil 2.9 : Box-Jenkins tahmin yönteminin aşamaları.

Bu yöntemde en zor kısım uygun bir modelin belirlenmesidir. Bir modelin tanımlanması üç adımda yapılmaktadır: durağanlığın sağlanması, mevsimsel olmayan veri için p ve q değerlerinin seçilmesi ve mevsimsel veri için P, Q ve mevsimsel parametrelerin seçilmesidir.

Deneme modeli tanımlandıktan sonra modelin parametrelerinin tahmin edilmesi gerekir. Bu aşamada hata karelerinin toplamını minimize eden değerler seçilmektedir. Optimal parametreler belirlenince uygunluk testi için hatalar analiz edilebilir. Hataların (kalıntıların) otokorelasyonu kolayca incelenebilir. Ardışık hataların ilişkisi hakkında bilgi edinebileceği için eğer rastsal hata ise otokorelasyon olmaması gerekir. Sonuçta hataların rastsal olmadığı belirlenirse, başka modelin önerilmesi gerekecektir.

Son olarak, model ve parametreler belirlenip kalıntıların rastsallığı ispat edilince tahmin hazırlama aşamasına geçilebilir. Bilgisayar programı yardımıyla istenen güven düzeyinde tahmin hesaplamaları yapılabilir. Modelin öngörü (gelecek tahmini) amaçlı kullanımı için yeterli derecede iyi bir model bulunmuş olması gerekir. Modelin yeterliliği için aşağıdaki koşullar belirlenmiştir (Akgül, 2003b):

- Sürece ait daha küçük toplam hata kareye sahip parametre tahmini olmaması durumunda durdurulması gerekir.
- Parametrelerin çevrilebilirlik ve/veya durağanlık koşulları sağlanmalıdır.

- Hata terimleri veya kalıntılar rastsal olmalı ve yaklaşık olarak normal dağılmalıdır.
- Tüm parametre tahminleri istatistiksel olarak sıfırdan farklı olmalıdır.
- Model tutumluluk (cimrilik) prensibine uygun olarak en basit biçimde ifade edilmelidir.
- Model en küçük kök ortalama hata kareye sahip olmalıdır.

Box-Jenkins yönteminin aşamaları alt bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

2.2.5.1 Aşama 1 – Modelin belirlenmeli

Öncelikle veri hazırlama yapılmalıdır; varyansı sabitleştirmek için dönüştürme işlemi (örneğin logaritma dönüşümü) ve seriyi durağanlaştırmak için fark alma işlemi gerçekleştirilebilir. Ardından potansiyel modelleri teşhis etmek için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarına ait korelogram analizi yardımıyla modeller belirlenmektedir. Bu aşamada genel modellerden uygun olanlar belirlenir. Uygun $ARIMA(p, d, q)$ değerlerini belirlemek, serinin durağanlığını araştırmak ve modelin mertebesini belirlemek için korelogram analizi ve otokorelasyon analizlerinden faydalanılmaktadır. AR kısmının mertebesi için anlamlı kısmi otokorelasyon katsayıları, MA kısmının mertebesi için ise anlamlı otokorelasyon katsayılarının sayısı dikkate alınır.

A) Durağanlık analizi

ARMA modelleri sadece yatay (durağan) veriye uygulanmaktadır. Bu nedenle ilk olarak yatay (trendsiz) veri olup olmadığı kontrol edilmelidir. Eğer trend mevcutsa, ardışık farklar alınarak veya başka prosedürler (örneğin logaritmik dönüşüm) ile trend kaldırılmalıdır.

Durağanlık koşulları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Durağan sürecin zaman içinde değişmeyen sonlu ortalamaya ve sonlu varyansa sahip olması gerekir.
 - a. $E(y_t)$ 'nin sabit ve zamandan bağımsız olması: $E(y_t) = \mu_y$
 - b. $Var(y_t)$ 'nin sabit ve zamandan bağımsız olması: $Var(y_t) = \sigma_y^2 = \gamma_0$
2. Bu sürece ait kovaryansın geçmişten bağımsız olması gerekir.
 - a. $Cov(y_t, y_{t+k})$ 'nın zamanın değil, k 'nın bir fonksiyonu olması: $Cov(y_t, y_{t+k}) = \gamma_k (k \neq 0)$

Ayrıca serinin bileşik olasılık dağılımının, normal dağılıma sahip olup olmadığı da serinin durağanlığı hakkında bilgi verebilmektedir. Serinin anılan özelliklerin tümüne veya bir kısmına sahip olması zayıf durağanlık, güçlü durağanlık ve kesin durağanlık olarak sınıflandırılmaktadır.

Durağanlığın analizi için çeşitli testler geliştirilmiştir. Parametrik olmayan ve parametrik testler şeklinde iki gruba ayrılabilir. Parametrik olmayan testler; dönüm noktası testi, işaret testi ve Daniel testleridir. Parametrik testler ise; otokorelasyon fonksiyonunun incelenmesi, $\rho = 0$ trend testi, rule of thumbs prosedürü, birim kök testleri ve Portmanteau testleridir. En yaygın kullanılan otokorelasyon fonksiyonu (ACF) ile Portmanteau testleridir (Göktaş, 2005).

a) Trend durağan veya fark durağan süreçler

Zaman serilerinde stokastik ve deterministik olmak üzere iki tipte trend söz konusudur. Değişkenlerin zaman içinde belli bir değere doğru yaklaşımları durağan olmayan bir özellik olup, kalıcı şokların tanımı gereği öngörülemeyen tesadüfi niteliği nedeniyle stokastik trend olarak adlandırılır. Birinci mertebeden aşağıdaki süreç ele alındığında (2.16), ε_t , sıfır ortalama ve sabit varyans özelliği göstermekte ve t ise zamana bağlı trendi ifade eden değişken olmaktadır.

$$y_t = \alpha + \beta t + \phi y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.16)$$

Eğer $\phi = 1$ ve $\beta = 0$ ise $y_t - y_{t-1} = \Delta y_t = \alpha + \varepsilon_t$ olmaktadır. y_t , α 'nın işaretine bağlı olarak aşağı veya yukarı doğru bir eğilim gösterir. Bu tür trend stokastik olarak adlandırılır. Eğer $\phi = 0$ ve $\beta \neq 0$ ise $y_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t$ olmaktadır. Burada t zaman değişkeni olup y_t , β 'nin işaretine bağlı olarak aşağı veya yukarı doğru bir eğilim gösterir. Bu tür trend deterministik olarak adlandırılır.

Deterministik trend etrafında dalgalanmalar “trend durağan süreç” ve stokastik trend etrafında dalgalanmalar “fark durağan süreç” olarak isimlendirilir. Trend durağan ise kısa dönemli şoklar, serinin uzun dönemli gelişimine sadece geçici etkiler yapar. Fark durağan (entegre) ise kısa dönemli şoklar, değişkenin düzeyine sürekli etki eder. Tüm fark durağan süreçler durağan-dışıdır fakat tüm durağan-dışı süreçler fark durağan olmayabilir.

Stokastik trend, seride birinci farklar ($y_t - y_{t-1} = \Delta y_t$) alınarak yok edilebilmektedir. Δy_t eğilimsiz olduğu için fark durağan olmaktadır. Deterministik

trend ise birinci fark alınarak ortadan kaldırılamaz çünkü t süreç dışında bırakılamaz. Burada trendden arındırma işlemleriyle durağanlık sağlanabilir. Trendden arındırma ve fark alma birbirinden farklı çözümlerdir. İki süreç arasında seçim, birim kökün varlığını test etmeye yarar (Göktaş, 2005).

b) Otokorelasyon analizi

Zaman serilerini oluşturan sürecin kesin bir tanımını yapmak için olasılık dağılımı tanımlanmalıdır fakat genelde mümkün olmamaktadır. Bu nedenle sürecin özellikleri otokovaryans fonksiyonu, otokorelasyon fonksiyonu ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu yardımıyla tanımlanır.

Eğer seri durağan ise otokorelasyon değerleri birkaç gecikmeden sonra sifıra yaklaşmaktadır. Durağan olmayan serilerde ise anlamlı olarak sıfırdan farklı çıkmaktadır. Otokorelasyon katsayıları k gecikme için korelogram ile gösterilebilir. Bu grafik incelendiğinde, otokorelasyon fonksiyonunun gecikmeler büyüdükçe soldan aşağı doğru azalan bir trend gösterdiği görülmektedir. Böyle bir trendin varlığı birbirini izleyen gözlem değerlerinin yüksek derecede ilişkili olması demektir. Eğer seri rastsal dağılıma sahip ve sapmalar söz konusu değil ise, otokorelasyon fonksiyonu bir doğru boyunca dalgalanmalar gösterir. Durağan olmayan seride, çeşitli gecikme değerlerinde otokorelasyon değerleri sifıra doğru azalma eğilimi göstermez. Herhangi bir otokorelasyon katsayısının istatistiksel olarak anlamlılığı standart hatasıyla belirlenmektedir. Bir zaman serisi bütün olarak ratsalsa, örnek otokorelasyon katsayıları yaklaşık sıfır ortalama ve $1/n$ varyansla normal dağılmaktadır.

Durağan olmayan serinin durağanlaştırılması için öncelikle birinci farklar alınır ve otokorelasyon fonksiyonu incelenir. Eğer otokorelasyon değerleri birinci veya ikinci gecikmeden sonra hızlıca sifıra düşüyorlarsa veya anlamlı bir şekilde sıfırdan farklı değillerse fark alınmış serinin durağan olduğu anlaşılmaktadır.

Literatürde otokorelasyon analizinden çeşitli durumlarda yararlanılmıştır: verilerin veya kalıntıların tesadüfiliğinin araştırılması, durağanlığın araştırılması, durağan olmayan serilerin durağan hale getirilmesi ve mevsim etkisinin ve uzunluğunun ortaya çıkarılması. Otokorelasyon fonksiyonuna göre zaman serisinin yapısı Çizelge 2.3'teki gibi yorumlanabilmektedir (Göktaş, 2005).

Çizelge 2.3 : Zaman serisiyle otokorelasyon fonksiyonu arasındaki ilişki.

Seri	Otokorelasyon fonksiyonunun yapısı
Trend etkisi olmayan tesadüfi seri	Tüm gecikmeler için otokorelasyon değerleri sıfırdır.
Trend etkisine sahip seri	Küçük sayıda gecikmeler için otokorelasyon değerleri pozitif ve büyük olup, gecikme arttıkça azalır. Otokorelasyon fonksiyonu aşağı doğru azalan bir trend görünümüne sahiptir.
Mevsim etkisine sahip trendsiz seri	Aylık zaman serilerinde 12, 24,... otokorelasyon katsayıları yüksek değer alır ve gecikme arttıkça küçülür. Diğer gecikmeler için otokorelasyon değerleri serideki öteki hareketlerin etkisindedir.
Trend ve mevsim etkisine sahip seri	Otokorelasyon değerleri trend etkisine sahip serideki gibi 12, 24,... gecikmeler için tepe noktası oluşturan dalgalanmalar gösterir.
Pozitif otokorelasyonlu durağan seri	Küçük gecikmelerde otokorelasyon değerleri büyüktür, gecikme arttıkça hızla küçülür.

Ayrıca kısmi otokorelasyon katsayılarının da çeşitli gecikmeler için grafiği çizilir ve bu korelogram incelendiğinde eğer bir zaman serisi durağan değilse büyük gecikmelerde önemli bir kısmi otokorelasyon bulunmamaktadır. Burada doğru tahmin ediciler için gözlem sayısının $T \geq 50$ ve gecikme ölçeğinin $k \geq T/4$ olmasında yarar vardır (Montgomery ve diğ., 2008).

c) Formüller

- Otokovaryans fonksiyonu

y sürecinin ölçme birimine bağlıdır. y_t ile k sayıda gecikmeli değeri y_{t+k} arasındaki kovaryans, yani otokovaryans aşağıdaki formüllerle (2.17 veya 2.18) ifade edilir:

$$\gamma_{kt} = Cov(y_t, y_{t+k}) = E[(y_t - E(y_t))(y_{t+k} - E(y_{t+k}))] = E[(y_t - \mu)(y_{t+k} - \mu)] \quad (2.17)$$

$$\hat{\gamma}_k = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T-k} (y_t - \bar{y})(y_{t+k} - \bar{y}) \quad (2.18)$$

Genel olarak durağanlık varsayımı altında $\gamma_{kt} = \gamma_k$ (bütün k, t için) ve $\gamma_k = \gamma_{-k}$ (bütün k için) olduğu söylenebilir. Ayrıca $\gamma_{0t} = Cov(y_t, y_t) = Var(y_t)$ şeklinde yazılabilir ve durağanlık varsayımı altında $\gamma_{0t} = \gamma_0$ (bütün t için) olacaktır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010).

- Otokorelasyon fonksiyonu

Otokorelasyon, serinin komşu değerleri arasındaki bağımlılığın (birlikte hareket etme ilişkisinin) derecesini ortaya koyar. Otokorelasyonun yüksek olması geçmiş dönemlere bağımlılığı, düşük olması ise değişkenin tesadüfi olduğu gösterir.

Otokorelasyon katsayıları bir zaman serisinin farklı dönemdeki gözlem değerleri arasındaki ilişkinin gücünü ortaya koyar. Otokorelasyon fonksiyonu (ACF) ise herhangi bir serideki gözlem değerleri arasındaki korelasyonun yani bağımlılığın göstergesidir. k gecikmeli otokorelasyon fonksiyonu denklem 2.19 veya 2.20 ile gösterilmektedir ve -1 ile +1 arasında değer almaktadır (Akgül, 2003b).

$$\rho_k = \gamma_k / \gamma_0 \quad (2.19)$$

$$\hat{\rho}_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (y_t - \bar{y})(y_{t-k} - \bar{y})}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2} \quad (2.20)$$

- Kısmi otokorelasyon fonksiyonu

Kısmi otokorelasyon katsayıları (ρ_{kk}) diğer gecikmelerin etkisi sabit tutulduğunda y_t değerleriyle herhangi bir k gecikme ile oluşturulmuş y_{t-k} arasındaki bağımlılığın derecesini (korelasyonu) göstermektedir. İki farklı yöntemle hesaplanmaktadır. Birincisi regresyon oluşturarak tahmini değerinin bulunmasıdır, ikincisi ise otokorelasyon fonksiyonundan elde etmektir (Göktaş, 2005). Aşağıda ifade edilen Yule-Walker denklemleri ile kısmi otokorelasyon katsayıları hesaplanabilmektedir (2.21-2.24).

$$\rho_{11} = \rho_1 \quad (2.21)$$

$$\rho_{22} = \frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1 - \rho_1^2} \quad (2.22)$$

$$\rho_{kk} = \frac{\rho_k - \sum_{j=1}^{k-1} \rho_{k-1,j} \rho_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} \rho_{k-1,j} \rho_j} \quad (2.23)$$

$$\rho_{kj} = \rho_{k-1,j} - \rho_{kk} \rho_{k-1,j} \quad (2.24)$$

- Örnekleme otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon hesaplamaları

Zaman serisi $z_b, z_{b+1}, \dots, z_n$ olarak düşünülürse k gecikmedeki örneklem otokorelasyonu denklem 2.25 ile ifade edilmektedir.

$$r_k = \frac{\sum_{t=b}^{n-k} (z_t - \bar{z})(z_{t+k} - \bar{z})}{\sum_{t=b}^n (z_t - \bar{z})^2} \quad (2.25)$$

Burada $\bar{z} = \frac{\sum_{t=b}^n z_t}{n-b+1}$ olarak hesaplanmaktadır. r_k 'nin standart hatası ise 2.26 denklemleri ile gösterilmektedir.

$$s_{r_k} = \frac{1}{(n-b+1)^{1/2}} \quad (k = 1 \text{ ise})$$

$$s_{r_k} = \frac{(1 + 2 \sum_{j=1}^{k-1} r_j^2)^{1/2}}{(n-b+1)^{1/2}} \quad (k = 2, 3, \dots \text{ ise}) \quad (2.26)$$

t_{r_k} istatistiği $t_{r_k} = r_k/s_{r_k}$ şeklinde hesaplanmaktadır. Eğer t_{r_k} mutlak değeri 2'den büyükse örneklem otokorelasyonu fonksiyonunda (SAC) sivrilik olduğu kabul edilir. SAC, örneklem otokorelasyonlarının $k = 1, 2, \dots$ gecikmelerindeki değerlerinin bir listesi veya grafiği şeklindedir.

Mevsimsel olmayan veri için, SAC oldukça hızlı azalıyorsa seri durağan kabul edilmelidir. SAC çok yavaş bir şekilde azalıyorsa durağan değildir. Çalışmalarda SAC'nin çoğunlukla 2 veya daha düşük gecikmede kesildiği görülmüştür. Eğer durağan olmama durumu söz konusuysa, ilk farkların alınması gerekir. Durağan hale dönüşmediği takdirde, ikinci farkların alınması gerekir. Mevsimsel olmayan verilerde birinci veya ikinci farklar genellikle durağanlık için yeterli olmaktadır (Bowerman ve diğ., 2005).

k gecikmedeki örneklem kısmi otokorelasyonu ise 2.27 denklemleriyle ifade edilmektedir.

$$r_{kk} = r_1 \quad (k = 1 \text{ ise})$$

$$r_{kk} = \frac{r_k - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j} r_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j} r_j} \quad (k = 2, 3, \dots \text{ ise}) \quad (2.27)$$

Burada $r_{kj} = r_{k-1,j} - r_{kk} r_{k-1,k-j}$ ($j = 1, 2, \dots, k-1$) olmaktadır. r_{kk} 'nin standart hatası denklem 2.28 ile ifade edilir.

$$s_{r_{kk}} = \frac{1}{(n-b+1)^{1/2}} \quad (2.28)$$

$t_{r_{kk}}$ istatistiği $t_{r_{kk}} = r_{kk}/s_{r_{kk}}$ şeklinde hesaplanmaktadır. Eğer $t_{r_{kk}}$ mutlak değeri 2'den büyükse örneklem kısmi otokorelasyon fonksiyonunda (SPAC) sivrilik olduğu kabul edilir. k 'dan büyük gecikmelerde sivrilik yoksa, SPAC k gecikme sonrası kesilir. SPAC, örneklem kısmi otokorelasyonlarının $k = 1, 2, \dots$ gecikmelerindeki değerlerinin bir listesi veya grafiği şeklindedir (Bowerman ve diğ., 2005).

d) Portmanteau testleri

Bir grup otokorelasyon katsayısının sıfırdan anlamlı olarak farklı olup olmadığını test eder. Box-Pierce tarafından geliştirilen ve Ljung-Box tarafından yeniden düzenlenen χ^2 dağılımına uyan bir testtir. Box-Pierce orta büyüklükteki örneklemelerde ($n < 100$) zayıf kaldığı için Ljung-Box küçük örneklem performansı çok iyi olan test istatistiğini geliştirmiştir.

- Box-Pierce test istatistiği: $Q_{BP} = n \sum_{k=1}^m \hat{\rho}_k^2 \sim \chi_m^2$
- Ljung-Box test istatistiği: $Q_{LB} = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k} \sim \chi_m^2$

n gözlem sayısı, m gecikme uzunluğudur. Her iki test, m serbestlik dereceli χ^2 dağılımına uymaktadır. Eğer hesaplanan test istatistiği χ^2 tablo değerinden küçükse serinin durağan olduğunu belirten H_0 hipotezi ($H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0, H_1: \text{en az biri} \neq 0$) kabul edilir. Burada en önemlisi gecikme uzunluğunu belirlemektir. Test edilecek otokorelasyon katsayısının, değişkene ait gözlem sayısının $1/4$ 'ünü geçmemesi gerekmektedir. Burada maksimum gecikme sayısı ≈ 20 olmalıdır. Q -istatistikleri ayrıca tahmin edilen $ARMA(p, q)$ kalıntılarının temiz-dizi süreci gibi davranıp davranmadığını da kontrol etmektedir. Burada serbestlik derecesi $(m - p - q)$ olan χ^2 dağılımı veya sabit içeren modelde $(m - p - q - 1)$ olan χ^2 dağılımı dikkate alınmaktadır.

e) Birim kök testleri

Zaman serisinde birim kökün varlığı, durağan olmadığının göstergesidir. Birim kök testleri durağanlığı sınamanın bir başka yoludur. Otokorelasyon fonksiyonlarının analizi, herhangi bir zaman serisindeki trendin veya mevsimselliğin varlığını göstermede başvurulan ve parametrik olmayan yapıdaki testlerdir. Örneğin yavaşça azalan bir ACF büyük bir karakteristik kökün, doğru birim kök sürecinin veya trend durağan sürecin göstergesidir. Formel testler bir sistemin trend içerip içermediğini ve bu trendin deterministik veya stokastik olup olmadığını tanımlamaya yardımcı olur. Bununla birlikte mevcut testler yaklaşık birim kök ve birim kök süreci arasında bir ayrım yapmada fazla güçlü değildir. Korelogram analizi, herhangi bir seride birim kökün varlığının araştırılmasında vazgeçilmez bir yöntem olmasına rağmen kısmen belirsizlikler içerebilir. Bir yaklaşık birim kök süreci hemen hemen bir birim kök sürecine benzer ACF değerlerine sahip olduğu için birim kökün varlığı dolayısıyla durağanlık hakkında farklı yorumlar yapılabilir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010).

Durağanlığı sağlamak için serilerin farklarının, logaritmalarının, logaritmalarının birinci farklarının alındığı yöntemler mevcuttur. Durağan olmayan bir seri d defa fark alındıktan sonra durağan oluyorsa, d .mertebeden entegre $I(d)$ olarak tanımlanır ve $\Delta^d y_t$ durağan süreci gösterir. Belirli p ve q değerleri için $ARIMA(p, d, q)$ olan y_t

serisi (2.29), d defa fark alındıktan sonra deterministik olmayan kararlı ve ters çevrilebilir ARMA(p, q) süreci ile ifade edilebiliyorsa, seri $I(d)$ ile gösterilir.

$$(1 - L)^d \Phi(L)y_t = \Theta(L)\varepsilon_t \quad (2.29)$$

Burada L gecikmeyi ifade eden operatördür ($L^n y_t = y_{t-n}$). $\Phi(L)$ ve $\Theta(L)$ gecikmeli operatörün polinom ifadeleri, ε_t ise durağan sürece sahip hata terimi olmaktadır. $\Phi(L) = \sum_{i=0}^p \phi_i L_i$ ve $\Theta(L) = \sum_{i=0}^q \theta_i L_i$ polinom ifadeleridir. Otoregresif kısmın gerçek bir z değişkeni için çözümü, polinomun köklerinin bulunmasıyla gerçekleşir.

$$(1 - L)^d \Phi(z) = 0 \quad (2.30)$$

2.30 denklemi çözüldüğünde $z = 1$ için d tane birim kök bulunur. Örneğin birinci mertebeden otoregresif süreç ele alınsın (2.31).

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (t = 1, 2, \dots) \quad (2.31)$$

Burada $y_0 = 0$, α_1 reel sayı ve ε_t bağımsız normal dağılımlı, ortalaması sıfır, varyansı sabit rastsal değişkendir ($\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$). α_1 için üç farklı durum bulunmaktadır:

- $|\alpha_1| < 1$ ise y_t serisi ($t \rightarrow \infty$) durağan olur (kararlı kök).
- $|\alpha_1| = 1$ ise birim kök vardır ve y_t serisi durağan değildir. Varyansı $t \cdot \sigma^2$ olup zamana bağlı olarak artacaktır. Otoregresif model rastsal yürüyüş süreci olarak adlandırılır.
- $|\alpha_1| > 1$ ise y_t serisi durağan değildir ve sürecin varyansı zamana bağlı olarak üstel büyüyecektir (kararsız kök).

Birim kök testleri, serinin birim köke sahip olup olmadığı test ederek durağanlığı araştırmaktadır. Birim kök testlerinde hipotez, otoregresif (AR) veya ARIMA sürecinin birim kök içerdiği ve denklemdeki katsayılar toplamının bire eşit olduğudur. Uygulamada çok sayıda birim kök testi mevcuttur. İlk olarak Dickey-Fuller'in geliştirdiği testler yer almıştır. Ardından Sargan-Barghava (1983), standart Durbin-Watson istatistiğinin birim kök testi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak bu test küçük örneklerde ve sadece AR(1) durumunda kullanılmaktadır. Said-Dickey (1984-1985), Evans-Savin (1981-1984), Phillips-Perron (1987), Phillips (1987), Perron (1989), Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992) birim kök testleri de geliştirilmiştir. Kullanılan birim kök testleri, zaman serilerinin trend durağan veya

fark durağan süreçten hangisine uyum gösterdiğini bulmaktadır (Göktaş, 2005). Geliştirilen birim kök testlerinin bazıları şunlardır:

- Dickey-Fuller testi (τ testi)
- Genişletilmiş Dickey-Fuller testi
- Phillips-Perron testi
- Dickey-Pantula testi
- (Mevsimsel) Dickey-Hasza-Fuller (DHF) testi
- (Mevsimsel) Hylleberg-Engle-Granger-Yoo (HEGY) testi

Dickey-Fuller yaptıkları simülasyonlarla τ testlerinin, Box-Pierce Portmanteau (Q) testlerine göre daha güçlü olduğunu ortaya koymuşlardır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010).

Optimal gecikme uzunluklarının belirlenmesi için ise Akaike bilgi kriteri (AIC) ve Schwarz kriteri (SC) sıklıkla kullanılmaktadır (Bozkurt, 2013). AIC minimum ortalama hata kareyi kullanır ve AIC değerini minimum yapan p değeri uygun gecikme sayısı olarak belirlenir (2.32). SC ise Bayesian düşünceden yola çıkarak hesap yapar ve SC değerini minimum yapan p değeri belirlenir (2.33) (Montgomery ve diğ, 2008).

$$AIC(p) = \ln \left(\frac{\sum_{t=1}^T \varepsilon_t}{T} \right) + \frac{2*p}{T} \quad (2.32)$$

$$SC(p) = \ln \left(\frac{\sum_{t=1}^T \varepsilon_t}{T} \right) + \frac{p*\ln T}{T} \quad (2.33)$$

Bunların dışında kalıntıların otokorelasyonlu olup olmadığını anlamak için Breusch-Godfrey veya Lagrange çarpanları (LM) testleri de uygulanabilmektedir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010).

B) Mevsimsel etkilerin analizi

Seride mevsimsel etkilerin varlığını test etmek için birkaç yöntem bulunmaktadır. Bunlardan en basiti, grafiksel olarak ve korelogram üzerinden otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerlerinin belirli gecikmeler için yüksek değer alıp almadığını incelemektir. Bir diğer yöntem, yapay (kukla) değişkenlerle test etmektir. Mevsimsellik deterministik kabul edilirse yapay değişkenler modele eklenir ve katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığına bakılır. Kruskal-Wallis testi bir diğer yöntemdir ve kısa dönemli tahminlerde başarılı olan, parametrik

olmayan bir testtir. Burada H_0 hipotezi seride mevsimselliğin olmadığını öne sürer. Hesaplanan test istatistiğine göre χ^2 dağılımının tablo değeri karşılaştırılarak karar verilir. Bu yöntemlerin sonucunda seride mevsimselliğin olduğuna karar verilirse, mevsimsel etkilerin giderilmesi gerekecektir. Bunun için yapay değişkenler, hareketli ortalama yöntemi, üstel düzeltme teknikleri, Census II ayrıştırma yöntemi ile X-11 yöntemi, Tramo-Seats yöntemi kullanılabilir (Bozkurt, 2013). Mevsimsel bileşen deterministik (periyodik) ise mevsimsel kukla değişken yaklaşımı ve mevsim indeksinin hesaplanmasıyla seride mevsimselliğin düzeltilmesi sağlanabilir. Ayrıca mevsimsel bileşen stokastik olabilir. Bu durumda değişken her mevsim tekrarında benzer dağılıma sahip olacaktır. Mevsimsellik stokastik olarak modellenen ve toplamsal veya çarpımsal olarak ARMA modeline dahil edilebilmektedir. Çoğunlukla çarpımsal model kullanılmaktadır.

Mevsimsel veri olduğunda genel ARMA denklemi yeterli olmayıp mevsimsel parametrelerin eklenmesine ihtiyaç duyulabilir. Mevsimsel AR modeli, mevsimsel MA modeli veya mevsimsel karışık ARMA modeli oluşturulur. Gerçek hayatta çoğu model hem mevsimsel olmayan hem de mevsimsel parametreleri içerir. Bu yüzden ikisinin karışımı bir denklem ifadesi de olabilir. Örneğin mevsimsel ARMA modeli denklem 2.34 gibi yazılabilir.

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + e_t - \theta_{12} e_{t-12} \quad (2.34)$$

Mevsimsel p ve q değerlerinin (genellikle P ve Q ile gösterilir) tahmini için, mevsimsel olmayan veride yapılan prosedür aynen tekrarlanır; otokorelasyon ve kısmi korelasyonlar incelenir. Ancak bu sefer mevsimsel olmayan otokorelasyonlar ve kısmi otokorelasyonlar dikkate alınmaz ve sadece mevsimsel olanlar analiz edilir. Box-Jenkins'in geliştirdiği mevsimsel ARIMA modeli, mevsimselliğin modelin içinde tanımlanması nedeniyle diğer tekniklerden üstündür.

C) Fark alma yoluyla durağanlığın sağlanması

ARMA modelleri sadece yatay (durağan) veriye uygulanmaktadır. Bu nedenle ilk olarak yatay (trendsiz) veri olup olmadığı kontrol edilmelidir. Eğer trend mevcutsa, ardışık farklar alınarak veya başka prosedürler ile trend kaldırılmalıdır.

Zaman serisi birim köke sahipse durağanlaştırmak için fark alınması gerekmektedir. Fark alma sayısı, “homojenlik derecesi” olarak tanımlanmaktadır. Birinci fark;

$\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$ şeklinde ifade edilir. İkinci fark (2.35); seride eğrisel (üstel) trend gözleniyorsa serinin trendsiz hale getirilmesi için kullanılır.

$$\begin{aligned}\Delta^2 y_t &= (1 - L)^2 y_t = \Delta(y_t - y_{t-1}) = \Delta y_t - \Delta y_{t-1} \\ &= (y_t - y_{t-1}) - (y_{t-1} - y_{t-2}) = y_t - 2y_{t-1} + y_{t-2}\end{aligned}\quad (2.35)$$

Mevsimsel fark ise aylık veya üçer aylık değerlerde mevsimsellik özelliği varsa kullanılır (Bozkurt, 2013).

- Aylık serilerde; $\Delta_{12} y_t = y_t - y_{t-12} = (1 - L^{12})y_t$
- Üç aylık serilerde ise; $\Delta_4 y_t = y_t - y_{t-4} = (1 - L^4)y_t$

ARIMA modellerinin uygulanması için zaman serisinin ortalama ile birlikte varyansının da durağan olması gerekmektedir. Durağanlık yeterli olmayan ama gerekli bir koşuldur. Varyans durağan olmadığında durağanlığı sağlamak için logaritmik dönüşüm, kök alma veya Box-Cox dönüşümü uygulanabilir. Ardından daha güvenilir bir karar için varyans eşitliği test edilmelidir. Uygulamada ise genellikle modele ait hata terimlerinin zaman grafiği çizilmekte, istatistiksel test ve gözlem birlikte yapılmaktadır.

D) p ve q değerlerinin belirlenmesi

Veri durağan olduktan sonra p ve q değerleri, fark alınmış verinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon sonuçlarına göre belirlenmektedir. Genel bir kural olarak, otokorelasyonlar üstel olarak sıfıra doğru azalıyorsa model AR'dir ve derecesi sıfırdan istatistiksel olarak anlamlı farklı olan kısmi otokorelasyon sayısı ile belirlenir. Eğer kısmi otokorelasyonlar üstel olarak sıfıra doğru azalıyorsa model MA'dır ve derecesi istatistiksel olarak anlamlı olan otokorelasyonların sayısı ile belirlenir. Hem otokorelasyon hem de kısmi otokorelasyon üstel olarak sıfıra doğru azalıyorsa, bu durumda model karışık ARMA olmaktadır.

AR süreci değişkenin kendi gecikmeli değerleriyle ifade edildiği için sürecin mertebesi kısmi otokorelasyon fonksiyonu (PACF) ile belirlenmektedir. Bu tür modellerde otokorelasyon katsayıları üstel olarak (veya sinüs dalgası şeklinde) sıfıra yaklaşır ve modelin mertebesi anlamlı kısmi otokorelasyon katsayılarının sayısı ile belirlenir. Çeşitli gecikmelerde kısmi otokorelasyon katsayılarının anlamlı olması gerekmektedir. PACF herhangi bir p gecikmesine kadar anlamlı, sonraki gecikmelerde anlamsız olduğunda (kesintiye uğrayarak sıfırlandığında) sürecin

mertebesi $AR(p)$ olarak belirlenmektedir. PACF'nin kesilme noktasını belirlemek için $\pm 2/\sqrt{T}$ ile karşılaştırma yapılır.

MA modelinin mertebesi ise otokorelasyon katsayılarıyla belirlenmektedir. Otokorelasyon fonksiyonunda (ACF) katsayıların anlamlı olduğu nokta mertebeyi göstermektedir. Eğer otokorelasyon değerleri belli bir q gecikmesine kadar anlamlı, sonraki gecikmelerde anlamsız olursa, sürecin mertebesi $MA(q)$ olarak seçilmektedir. Bu modelde ACF belli bir q noktasından sonra kesintiye uğrayarak sıfırlanır (sonrasında anlamlı ACF olmayacaktır) ve PACF üstel olarak azalır (sinüs dalgası şeklinde de olabilir). ACF'nin kesilme noktasını belirlemek için örneklem otokorelasyonları $\pm 2/\sqrt{T}$ ile karşılaştırma yapılır.

Durağan bir zaman serisinin ACF ve PACF değerleri belli bir gecikme değerinde kesilmeyip sıfıra doğru yavaş yavaş yaklaşabilir. Bu durumda hem AR hem de MA süreci söz konusu olup ARMA süreciyle modellenmelidir. ARMA sürecinin mertebesi belirlenirken ACF ve PACF birlikte analiz edilir. $ARMA(p, q)$ ise ACF ve PACF belli tepe noktalarına ulaştıktan sonra aynı şekilde azalır ve belli noktada kesilmezler. Bu azalmalar üstel veya sinüs dalgaları şeklinde olabilir. AR ve MA bileşenlerinin derecesi otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon kalıplarından çıkarılabilir. Bu şekilde gecikme değerleri belirlenir. Bu fonksiyonlara ait katsayıların gecikme sayısı arttıkça yavaş yavaş azaldığı görülür. Korelograma bakarak serinin $AR(p)$, $MA(q)$ ve $ARMA(p, q)$ süreçlerinden hangisine uyumlu olduğu belirlenebilir.

Çizelge 2.4 : AR, MA ve ARMA modellerinin ACF ile PACF yapısı.

Model	ACF	PACF
$AR(p)$	Üstel (veya sinüs dalgası) azalma	p gecikmeden sonra aşağıya doğru devam eder (p .gecikmeden sonra ilişkiler önemsiz)
$MA(q)$	q gecikmeden sonra aşağıya doğru devam eder (q .gecikmeden sonra ilişkiler önemsiz)	Üstel (veya sinüs dalgası) azalma
$ARMA(p, q)$	Üstel (veya sinüs dalgası) azalma	Üstel (veya sinüs dalgası) azalma

Veri durağan olduktan sonra p ve q değerleri, fark alınmış verinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon sonuçlarına göre belirlenmektedir. Genel bir kural olarak, otokorelasyonlar üstel olarak sıfıra doğru azalıyorsa model AR'dir ve derecesi sıfırdan istatistiksel olarak anlamlı farklı olan kısmi otokorelasyon sayısı ile belirlenir. Eğer kısmi otokorelasyonlar üstel olarak sıfıra doğru azalıyorsa model

MA'dır ve derecesi istatistiksel olarak anlamlı olan otokorelasyonların sayısı ile belirlenir. Hem otokorelasyon hem de kısmi otokorelasyon üstel olarak sıfıra doğru azalıyorsa, bu durumda model karışık ARMA olmaktadır (Çizelge 2.4).

Eğer ACF herhangi bir q gecikmesinde bir tepe noktasına sahipse ve sonrasında kesintiye uğruyorsa modelin q mertebeli hareketli ortalama $MA(q)$ modeli olduğu anlaşılır. Eğer PACF herhangi bir tepe noktasından sonra kesintiye uğruyorsa modelin $AR(p)$ olduğu anlaşılır. Eğer her iki fonksiyon da bir tepe noktasına ulaşıyor ve aynı şekilde azalıyorsa modelin $ARMA(p, q)$ olduğu söylenebilir. ARMA modellerine ait ACF ve PACF birden azalma göstermezler, artış ve azalmalar yavaş yavaş gerçekleşmektedir.

Eğer ACF ve PACF değerleri sıfırsa seri rastsalıdır. Belirli aralıklarla (12., 24. gibi) otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerlerinin sıfırdan farklı olması mevsimsel AR terimi içerdiğine işarettir. Eğer seride otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerleri sıfıra doğru azalmıyorsa durağan olmadığı söylenebilir (Bozkurt, 2013).

2.2.5.2 Aşama 2 – Modelin tahmini

Uygun model belirlendikten sonra modelin otoregresif ve hareketli ortalama terimlerinin tahmin edilmesi gerekir. Potansiyel modellerin parametrelerinin tahminleri için bazen en küçük kareler yöntemi, bazen doğrusal olmayan çözüm yöntemleri kullanılır. Genelde uygun bilgisayar programları yardımcı olmaktadır. Bu aşamada hata karelerinin toplamını minimize eden değerler seçilmektedir.

Süreç $AR(p)$ ise parametreler en küçük kareler (EKK) yöntemiyle tahmin edilebilir. $MA(q)$ ise en çok benzerlik (maksimum benzerlik) ve en küçük kareler yöntemleri kullanılabilir. Bazı durumlarda her süreç aynı anda modelde ise doğrusal olmayan çözüm yöntemlerini kullanmak gerekebilir. Ayrıca düşük mertebeler için grid-arama tekniği de kolaylık açısından uygulanabilmektedir.

Bu aşamada tahmin edilen tüm AR parametrelerinin durağanlık sınırı ve MA parametrelerinin çevrilebilirlik sınırı içinde olmasına dikkat edilmelidir. Bu durum sağlanamazsa model reddedilir ve yeni bir model belirlenir. Durağan serinin farkının alınması veya durağan olmayan serinin uygulamada kullanılması sonucunda bu durum ortaya çıkabilmektedir.

Ayrıca tahmin edilen parametrelerin istatistiksel açıdan anlamlı olmaları gerekir. Modelin veriye uygunluğu sağlandıktan sonra tüm parametre tahminlerinin anlamlılığı t -testi kullanılarak test edilir, anlamsız parametreler modelden çıkartılarak model yeniden tahmin edilir. Her aşamada tüm kriterlerin aynı anda uygulanması gerekmektedir. Katsayıların anlamlılığı ve durağanlık koşulu sağlanmalıdır. Eğer katsayıların hesaplanan değerleri tek tek mutlak değerce birden küçük ve toplamalarının birden büyük olduğu belirlenirse modelin doğru olduğu söylenememektedir. Örnek olarak; MA(1), MA(2), AR(1), AR(2) ve ARMA(1,1) modelleri için durağanlık ve tersine çevrilebilirlik koşulları Çizelge 2.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.5 : Durağanlık ve tersine çevrilebilirlik koşulları.

Model	Durağanlık koşulları	Tersine çevrilebilirlik koşulları
MA(1) $z_t = \delta + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$	---	$ \theta_1 < 1$
MA(2) $z_t = \delta + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2}$	---	$\theta_1 + \theta_2 < 1$ $\theta_2 - \theta_1 < 1$ $ \theta_2 < 1$
AR(1) $z_t = \delta + \phi_1 z_{t-1} + \varepsilon_t$	$ \phi_1 < 1$	---
AR(2) $z_t = \delta + \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \varepsilon_t$	$\phi_1 + \phi_2 < 1$ $\phi_2 - \phi_1 < 1$ $ \phi_2 < 1$	---
ARMA(1,1) $z_t = \delta + \phi_1 z_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$	$ \phi_1 < 1$	$ \theta_1 < 1$

Her parametrenin t -testi için t -değeri ve standart hatası hesaplanır. Parametrenin θ olduğunu düşünürsek $\hat{\theta}$ nokta tahmini, $s_{\hat{\theta}}$ ise standart hatası olmak üzere; $t = \hat{\theta}/s_{\hat{\theta}}$ şeklinde hesaplanır. Burada $H_0: \theta = 0$ ile $H_1: \theta \neq 0$ hipotez testi uygulanır. $|t|$ büyükse $\hat{\theta}$ de büyük olacaktır ve θ sıfıra eşit olmayacaktır. Eğer aşağıdaki durumlar olursa sıfır hipotezi reddedilebilecektir. n_p parametre sayısını göstermek üzere;

1. $|t| > t_{[\alpha/2]}^{(n-n_p)}$ yani $t > t_{[\alpha/2]}^{(n-n_p)}$ veya $t < -t_{[\alpha/2]}^{(n-n_p)}$
2. p -değeri $< \alpha$

Birçok Box-Jenkins modelinde $(n - n_p) \geq 30$ olmakta ve $\alpha = 0,05$ ile $z_{[0,025]} = 1,96 \cong 2$ dikkate alınmaktadır. Bu nedenle pratik bir kural olarak, mutlak t -değeri

2'den büyük olan bir parametrenin modele eklenmesi gerektiği sonucu çıkmaktadır. $|t| < 2$ ise parametrenin modelden çıkarılması düşünülmelidir çünkü tutarlılık (cimrilik) tanımından da dolayı, gereksiz parametrelerin çıkarılmasıyla daha doğru tahmin sonuçlarına ulaşılabacaktır (Bowerman ve diğ., 2005).

2.2.5.3 Aşama 3 – Modelin uygunluk testi

Seçilen modelin verilere uyum sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Modelden elde edilen kalıntıların beyaz gürültü özelliği taşıyıp taşımadığına bakılır. Kalıntılar (hatalar) arasında otokorelasyon analizi yapılır. Ardışık hataların ilişkisi hakkında bilgi edinebileceği için eğer rastsal hata ise otokorelasyon olmaması gerekir. Sonuçta hataların rastsal olmadığı belirlenirse, başka modelin önerilmesi gerekecektir. Bu aşamada Portmanteau testleri olan Box-Pierce ve Ljung-Box testleriyle otokorelasyon katsayıları test edilir. Hesaplanan Q -istatistikleri $(m - p - q)$ serbestlik derecesi ile χ^2 dağılımına uygunluk göstermektedir. Bu katsayılar istatistiksel olarak anlamlı olmamalıdır. Kalıntı otokorelasyonlarının anlamlılıkları $\pm 2/\sqrt{T}$ ile karşılaştırılarak yapılır. Böylece tahmin edilen kalıntıların rastsal olduğu belirlenir. Kalıntıların temiz-dizi olup olmadığı araştırılmalıdır. Bu aşamada Bartlett testi, Pukkila (1982) Q -değeri veya Durbin-Watson değeri ile modelin doğruluğunun testi de yapılabilir. McCleay ve Hay (1983) hata terimlerinin kontrolünün yeterli olduğunu savunur fakat Box ve Jenkins (1976) normalliğin de kontrol edilmesi gerektiğini söylemiştir.

Bir ARIMA modeli tahmin edildiğinde, seçilen modelin düzeltilmesi gerekiyorsa tanımlama sonucunun gözden geçirilmesi gerekebilir. Bu aşamada tahmin edilen parametrelerden bazıları anlamsız olabilir (parametrelerin anlamlılık düzeyi 0,05'ten büyük olabilir). Bu durumda anlamsız terimler modelden düşürülmelidir. ACF ve PACF, saf AR veya saf MA modellerinin seçilmesine dair bilgiler sağlar ve bu modellerle başlamak normaldir. Bir veya daha fazla uyumlu model tanımlanmış ise hangisinin tercih edileceğine dair seçim kriterleri belirlenmelidir. En iyi modeli seçmek için ilk olarak minimum hata kareler toplamını (SSR) veya en çok olabilirlik (benzerlik) değerini (LR) veren model araştırılır. Ancak bu yaklaşımlar her zaman tam doğru seçim yapmamıza olanak sağlamaz, ön bilgi olarak kullanılabilir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010).

Bu aşamada modelin yeterli olup olmadığı da araştırılır. İlk olarak tanımlanan deneysel modeller arasından en iyisini seçmek için R^2 değeri, hata kareleri toplamı, Akaike ve Schwarz model seçim kriterleri ve F istatistiği kullanılabilmektedir. R^2 değeri, modelin AR, MA veya ARMA parametreleri tarafından açıklanan yüzde ölçüsüdür. Trend etkisi olduğunda yüksek değeri olur. MA ve ARMA modellerinde R^2 daha az kesindir. Regresyon modellerinde ilave değişken durumunda R^2 değeri arttığı için düzeltilmiş $\bar{R}^2$ değeri hesaplanır. ARIMA modelleri için de benzer çözüm önerilebilir. F istatistiği, herhangi bir AR sürecin hangi mertebeye olduğu tam bilinmiyorsa tercih edilir. İki farklı mertebeye ait modelde Wald test istatistiği hesaplanır ve F istatistiğine göre uygun mertebeye karar verilir. Alternatif modeller içinde en küçük Akaike ve Schwarz kriterlerine sahip olan model en uygunu olarak seçilir. İyi bir uyum için ideal olan AIC ve SC'nin mümkün olduğu kadar küçük olması gerekir. Birçok uygun model arasında seçim yapmada SC kriteri büyük örneklem özelliğine sahiptir. Özetle bir zaman serisine en iyi uyum gösteren modeli belirlemek için;

1. Tahmin edilen parametreler anlamlı olmalı
2. Hata kareler toplamı (SSR) küçük olmalı
3. En çok benzerlik (olabilirlik) değeri yüksek olmalı
4. Belirlilik katsayısı R^2 veya düzeltilmiş $\bar{R}^2$ yüksek olmalı
5. Modelin F istatistiği anlamlı olmalı
6. Akaike bilgi kriteri (AIC) küçük olmalı
7. Schwarz kriteri (SC) küçük olmalı
8. Modelin hataları için hesaplanan Portmanteau testleri veya Q -istatistikleri anlamsız olmalıdır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010).

2.2.5.4 Aşama 4 – Modelin gelecek tahmininde kullanılması

Son olarak, model ve parametreler belirlenip kalıntıların rastsallığı ispat edilince tahmin hazırlama aşamasına geçilebilir. Bilgisayar programı yardımıyla istenen güven düzeyinde tahmin hesaplamaları yapılabilir. Gelecek tahmini (öngörü) aşamasında tahmin başarısı nedeniyle ARIMA modelleri yaygın kullanılmaktadır. Kısa dönem için yapılan tahminler başarılı sonuçlar vermektedir. Model belirlenip, tahmin yapılıp, uygunluk testlerinden geçirildikten sonra artık gelecek tahmini yapmak amacıyla kullanılabilmektedir. Amaç, gelecek değere yakın tahmin değerleri

elde etmektir. Burada ortalama hata kareyi minimum yapacak şekilde tahminler üretilmelidir. İleriye yönelik tahmin başarısı test edilerek verilere en iyi uyum gösteren model kullanılmalıdır. Tahmin başarısını ölçmek için çeşitli kriterler kullanılır: ortalama hata kare (MSE), kök ortalama hata kare (RMSE), ortalama mutlak sapma (MAD), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), ortalama yüzde hata (MPE), vs. (Çizelge 2.1). Ayrıca literatürde Theil'in U eşitsizlik katsayısı da bir diğer kriter olarak kullanılmaktadır. (1 – Theil-U katsayısı) değerlerine göre tahmin için aşağıdaki yorumlar yapılabilmektedir:

- 1.00 – 0.80 : Çok güçlü tahmin
- 0.80 – 0.60 : Güçlü tahmin
- 0.60 – 0.40 : Orta seviye tahmin
- 0.40 – 0.20 : Zayıf tahmin
- 0.20 – 0.00 : Çok zayıf tahmin

Alternatif modeller içinde bu kriter değerleri minimum olan ve en az parametreye sahip olan model başarılı olarak seçilmektedir. Sonuç olarak denklem 2.36'da gösterildiği gibi gelecek tahmin değerleri hesaplanmaktadır.

$$\hat{y}_{T+h} = E_T(y_{T+h}) \quad (2.36)$$

2.2.6 Box-Jenkins mevsimsel modeli

Mevsimsel veri olduğunda genel ARMA denklemi yeterli olmayıp mevsimsel parametrelerin eklenmesine ihtiyaç duyabilir. Mevsimsel AR modeli, mevsimsel MA modeli veya mevsimsel karışık ARMA modeli oluşturulur. Gerçek hayatta çoğu model hem mevsimsel olmayan hem de mevsimsel parametreleri içerir. Bu yüzden ikisinin karışımı bir denklem ifadesi de olabilir. Örneğin mevsimsel ARMA modeli denklem 2.37'deki gibi yazılabilir.

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_{12} \varepsilon_{t-12} \quad (2.37)$$

Mevsimsellik içeren zaman serileri için Box-Jenkins mevsimsel ARIMA (SARIMA) modelini geliştirmiştir. Bu model benzer şekilde AR, MA ve fark alma derecesini içermektedir. Mevsimsel kısmında bütün bu faktörler s (mevsim sayısı) gecikmelerinin çarpımları şeklinde gösterilir. Mevsimsel ARIMA modeli $ARIMA(p, d, q)x(P, D, Q)_s$ şeklinde ifade edilir. Burada P mevsimsel otoregresif

(SAR) terim sayısını, D mevsimsel farkların sayısını, Q ise mevsimsel hareketli ortalama (SMA) terim sayısını göstermektedir.

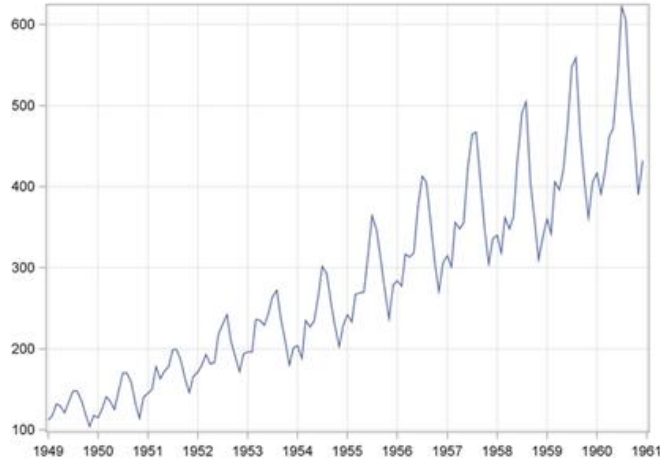
İlk olarak mevsimsel olmayan farklara ilave veya onların yerine mevsimsel farkın gerekip gerekmediğine karar verilmelidir. Bunun için 0 veya 1 mevsimsel olmayan fark ile 0 veya 1 mevsimsel fark kombinasyonlarının tümü denenerek grafikler, ACF ve PACF değerleri, korelogram incelenir. Eğer mevsimsellik zaman içinde hem güçlü hem de istikrarlı ise, mevsimsel olmayan fark yerine mevsimsel fark almak gerekecektir. Bunun nedeni uzun dönemli tahminlerde mevsimselliğin yok olmasını sağlamaktır. Burada birden fazla mevsimsel fark veya toplamda ikiden fazla fark (mevsimsel ve mevsimsel olmayan birlikte) kullanmamaya dikkat edilmelidir.

Saf SAR veya saf SMA davranışları, saf AR veya saf MA davranışlarına benzemektedir. Sadece burada ACF ve PACF değerlerinde s gecikmelerinin çarpımları şeklinde mevsimsellik karşımıza çıkar. Örneğin saf SAR(1) sürecinde ACF değeri $s, 2s, 3s, \dots$ gecikmelerinde tepe noktası yapar, PACF ise s gecikmesinden sonra kesilir. Saf SMA(1) sürecinde ise tersine PACF değeri $s, 2s, 3s, \dots$ gecikmelerinde tepe noktası yapar, ACF ise s gecikmesinden sonra kesilir. SAR genellikle mevsimsel otokorelasyon pozitif olduğunda, SMA ise negatif olduğunda gerçekleşmektedir. Bu nedenle mevsimsel dönemdeki otokorelasyon pozitif ise modele SAR terimi eklenmelidir, negatif ise SMA terimi eklenmelidir. Aynı modelde SAR ve SMA terimlerini karıştırmamak, birden fazla iki tipten birini kullanmamak gerekir.

Genellikle SAR(1) veya SMA(1) terimleri yeterlidir. SAR(2) veya SMA(2) süreciyle az karşılaşılır, hatta tahmin algoritmasının geri besleme döngüsüne girmeden 2 veya daha fazla mevsimsel katsayıyı tahmin etmesi için yeterli veri çok nadir bulunmaktadır. Her ne kadar mevsimsel ARIMA modeli az sayıda parametreye sahip gözüксе de, geri tahmini başlatmak için bir veya iki mevsimin parametrelerinin kesin değerleri gerekmektedir. Bu yüzden mevsimsel ARIMA modelini bulabilmek için en az 4 veya 5 mevsimlik verinin olması gerekir.

Çoğunlukla kullanılan mevsimsel ARIMA modeli $(0,1,1) \times (0,1,1)_{12}$ (havayolu) modelidir. Bu model MA(1) $\times$ SMA(1) modeli olup hem mevsimsel hem mevsimsel

olmayan farkları kullanmaktadır. Mevsimsel üstel düzeltme modeli olarak da bilinir. Havayolu yolcu sayısı verilerinin zaman grafiği Şekil 2.10'daki örnek gibidir (Url-4).



Şekil 2.10 : Havayolu modeli için zaman grafiği.

Mevsimsel ARIMA modelleri, logaritma dönüşümü yapılmış veriye uydurulduğu zaman, çarpımsal mevsimselliği takip etme yeteneğine sahip olmaktadır.

2.2.6.1 Mevsimsel zaman serisinin durağanlaştırılması

Zaman serinin varyansı durağan değilse öncelikle veride dönüştürme yapılmalıdır: $z_t = y_t^*$ (örneğin $y_t^* = y_t^{0,25}$, $y_t^* = \sqrt{y_t}$ veya $y_t^* = \ln y_t$ dönüşümleri olabilir). Aylık mevsimsel verilerde en az 12, 24 ve 36 aylık gecikmelere dayanan otokorelasyon katsayıları incelenmelidir. Eğer 12, 24 ve 36 gecikme dışında çok sayıda sıfırdan anlamlı şekilde farklı katsayı varsa seri durağan değildir. Serinin birinci veya ikinci farkları alınarak durağanlaştırılır: $z_t = y_t^* - y_{t-1}^*$ (mevsimsel olmayan birinci fark).

Yalnızca 12, 24 ve 36 gecikmelerinde otokorelasyon katsayıları sıfırdan anlamlı şekilde farklıysa, sadece mevsim etkisi söz konusudur ve bu etkinin kaldırılması için uzun dönem (12 veya 24 aylık) farklar alınmalıdır: $z_t = y_t^* - y_{t-s}^*$ ($s = 12$). Denklem 2.38'de 12 aylık mevsimsel fark gösterilmiştir.

$$y_t^* - y_{t-12}^* = y_t^* - L^{12}y_t^* = (1 - L^{12})y_t^* \quad (2.38)$$

Bazı durumlarda ise mevsimsel olmayan veya mevsimsel fark alındıktan sonra durağanlık sağlanmamaktadır. Burada denklem 2.39'daki gibi hem mevsimsel olmayan hem de mevsimsel fark birlikte alınmaktadır. Hangisinin önce yapıldığı önemli değildir fakat gereksiz yere mevsimsel olmayan fark almadan önce mevsimsel farkın yapılmasında fayda vardır.

$$z_t = y_t^* - y_{t-1}^* - (y_{t-s}^* - y_{t-s-1}^*) = y_t^* - y_{t-1}^* - y_{t-s}^* + y_{t-s-1}^* \quad (2.39)$$

2.2.6.2 Mevsimsel modelin belirlenmesi

Mevsimsel p ve q değerlerinin (genellikle P ve Q ile ifade edilir) tahmini için, mevsimsel olmayan veride yapılan prosedür aynen tekrarlanır; otokorelasyon ve kısmi korelasyonlar incelenir. Ancak bu sefer mevsimsel olmayan otokorelasyonlar ve kısmi otokorelasyonlar dikkate alınmaz ve sadece mevsimsel olanlar analiz edilir. ACF ve PACF incelenirken öncelikle mevsimsel eğilimlere bakılmadan, mevsimsel olmayan inceleme yapılır. Üstel olarak sifıra yaklaşmanın hangi otokorelasyon katsayılarında olduğu saptanır. Otokorelasyonlarda ise AR, kısmi otokorelasyonlarda ise MA modeli söz konusudur. Daha sonra mevsimsel eğilimi ortaya çıkarmak için r_{12}, r_{24}, r_{36} 'nın otokorelasyonda mı yoksa kısmi otokorelasyonda mı üstel olarak sifıra yaklaştığı araştırılır. Bu eğilim otokorelasyonlarda ise mevsimsel AR, kısmi otokorelasyonlarda ise mevsimsel MA modeli geçerlidir. Model seçiminin son aşamasında, bu otokorelasyon katsayılarının sıfırdan anlamlı şekilde farklı olanlarının sayısını belirlemek gerekir. Mevsimsel ve mevsimsel olmayan modellerin dereceleri, mevsimsel için r_{12}, r_{24}, r_{36} gibi 12'şer aylık gecikmelerde hesaplanan anlamlı otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon sayısı ile, mevsimsel olmayan için ise r_{12}, r_{24}, r_{36} dışındaki katsayıların anlamlı olanlarının sayısı ile belirlenir.

Genellikle mevsimsel olmayan ACF veya PACF değerleri 1 ile $(s - 3)$ gecikmeleri arasında incelenmektedir. Eğer mevsimsel olmayan ACF'de k ($1, 2, \dots, s - 3$) gecikmesinde $|t_{r_k}| > 2$ (veya $|r_k| > 2s_{r_k}$) ve PACF'de $|t_{r_{kk}}| > 2$ (veya $|r_{kk}| > 2s_{r_{kk}}$) oluyorsa tepe noktasından söz edilebilmektedir. 1, 2 ve belki 3. gecikmeye kadar ACF değerleri daha yakından incelendiğinde ve tepe noktası olup olmadığı araştırıldığında ise $|t_{r_k}| > 1,6$ olması durumunda tepe noktasından söz edilebilmektedir.

Ardından mevsimsel seviyede ACF ve PACF değerleri $s, 2s, 3s$ ve $4s$ gecikmelerinde incelenir. Bu mevsimsel gecikmeler tam mevsimsel gecikme olarak adlandırılırken $(s-2), (s-1), (s+1), (s+2), (2s-2), (2s-1), (2s+1), (2s+2), (3s-2), (3s-1), (3s+1), (3s+2), (4s-2), (4s-1), (4s+1), (4s+2)$ gecikmeleri mevsime yakın gecikmeler olarak adlandırılır ve incelenir. Herhangi tam mevsimsel gecikme veya mevsime yakın gecikme k ise, tepe noktasının olduğu söylemek için ACF'de $|t_{r_k}| > 2$ ve PACF'de

$|t_{r_{kk}}| > 2$ olması gerekmektedir. Tam mevsimsel gecikmelere daha yakından bakmak gerekirse $k = s, 2s, 3s, 4s$ gecikmeleri için ACF’de $|t_{r_k}| > 1,6$ olursa tepe noktası olduğu söylenebilmektedir (Çizelge 2.6) (Akgül, 2003b).

Eğer tam mevsimsel veya mevsime yakın gecikmelerden sonrakilerde tepe noktası oluşmamışsa, mevsimsel seviyede ACF (veya PACF) değerinin k gecikmeden sonra kesildiği ve hatta istikrarlı bir düşüşe sahip ise azaldığı söylenmektedir. Genellikle hem mevsimsel olmayan hem de mevsimsel seviyelerde, ACF hızlı bir şekilde kesiliyor veya azalıyor ise serinin durağan olduğundan bahsedilmektedir. Burada mevsimsel olmayan seviyede ACF (veya PACF) değerinin kesilmesi çoğunlukla $k \leq 2$ gecikmelerinde gözlenmektedir. Ayrıca ACF (veya PACF) mevsimsel seviyede kesiliyor ise, bu çoğunlukla $k \leq s$ gecikmelerinde (ilk mevsimsel gecikmede) gözlenmektedir.

Çizelge 2.6 : İstatistiksel olarak anlamlı gecikmeler.

	ACF açısından istatistiksel olarak anlamlı gecikmeler	PACF açısından istatistiksel olarak anlamlı gecikmeler
Mevsimsel olmayan düzey	$k = 1,2,3$ için $ t_{r_k} > 1,6$ olması $k = 4,5, \dots, s - 3$ için $ t_{r_k} > 2$ olması	$k = 1,2, \dots, s - 3$ için $ t_{r_{kk}} > 2$ olması
Mevsimsel düzey	$k = s, 2s, 3s, 4s$ için $ t_{r_k} > 1,25$ olması $k = s - 2, s - 1, s + 1, s + 2$ veya $k = 2s - 2, 2s - 1, 2s + 1, 2s + 2$ için $ t_{r_k} > 1,6$ olması	$k = s, 2s, 3s, 4s$ için $ t_{r_{kk}} > 2$ olması $k = s - 2, s - 1, s + 1, s + 2$ veya $k = 2s - 2, 2s - 1, 2s + 1, 2s + 2$ için $ t_{r_{kk}} > 2$ olması
Mevsimsel AR(P)	Aşağıya doğru azalır	(Ps) gecikme sonrası absisi keser
Mevsimsel MA(Q)	(Qs) gecikme sonrası absisi keser	Aşağıya doğru azalır

Gerekli dönüşümler ve farklar sonucunda mevsimsel zaman serisi denklem 2.40’taki gibi ifade edilmektedir. Burada d mevsimsel olmayan farkın derecesi, D ise mevsimsel farkın derecesidir.

$$z_t = \nabla_s^D \nabla^d y_t^* = (1 - L^s)^D (1 - L)^d y_t^* \quad (2.40)$$

Gecikme operatörü $L^k y_t = y_{t-k}$ şeklinde ifade edilebildiği için, (p, P, q, Q) derecelerine sahip genel bir Box-Jenkins modeli denklem 2.41’deki gibi gösterilmektedir (Bowerman ve diğ, 2005).

$$\phi_p(L)\Phi_P(L^s)z_t = \delta + \theta_q(L)\Theta_Q(L^s)\varepsilon_t \quad (2.41)$$

Burada $\phi_p(L) = (1 - \phi_1L - \phi_2L^2 - \dots - \phi_pL^p)$ mevsimsel olmayan p .dereceden AR kısmıdır. $\Phi_P(L^s) = (1 - \Phi_{1,s}L^s - \Phi_{2,s}L^{2s} - \dots - \Phi_{P,s}L^{Ps})$ mevsimsel P .dereceden AR kısmıdır. $\theta_q(L) = (1 - \theta_1L - \theta_2L^2 - \dots - \theta_qL^q)$ mevsimsel olmayan q .dereceden MA kısmıdır. $\Theta_Q(L^s) = (1 - \Theta_{1,s}L^s - \Theta_{2,s}L^{2s} - \dots - \Theta_{Q,s}L^{Qs})$ mevsimsel Q .dereceden MA kısmıdır. $\delta = \phi_p(L)\Phi_P(L^s)\mu$ sabit terimdir, burada μ durağan serinin ortalamasıdır ve $L\mu = \mu$ olmaktadır. $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p; \Phi_{1,s}, \Phi_{2,s}, \dots, \Phi_{P,s}; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q; \Theta_{1,s}, \Theta_{2,s}, \dots, \Theta_{Q,s}$ ve δ bilinmeyen parametreler olup örnek veriden tahmin edilmelidir. $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \dots$ ise beyaz gürültü sürecine ait rastsal şoklardır (bağımsız, normal dağılan, her t için sıfır ortalama ve sabit varyansı olan rastsal hata değerleri).

Böylece mevsimsel ARMA modelinin dereceleri belirlendikten sonra parametrelerinin ön tahminleri yapılır, hata kareleri toplamını minimum yapan parametreler iterasyon yöntemiyle elde edilir. Parametrelerin testleri yapıldıktan sonra hatalar üzerinden hesaplanan otokorelasyon katsayılarının Q -istatistiğiyle testleri yapılır. Hatalar arasında bağımlılık yoksa, model tahminlerde kullanılabilir. Son olarak, veride logaritma gibi bir dönüşüm yapıldıysa orijinal veri cinsine geri dönülmesi unutulmamalıdır.

Mevsimsel olmayan ve özellikle mevsimsel ARMA modellerinin her aşamasında istatistiksel paket programlar kullanılması gerekir çünkü durağanlık araştırması ve modellerin belirlenmesinde özellikle mevsimsel ARMA modellerinde çok sayıda otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarının hesabı, testi ve model uygulandıktan sonra modelin uygunluğunun testinde hatalar üzerinden otokorelasyon katsayılarının hesaplanıp testi gerekmektedir. Uygun olan modellerle tahmin yapıldığında ise farklar alındıysa, bu farkların ve geçmiş dönem hatalarının tahminlere ilave edilmesi gerekmektedir. Mevsimsel ARMA modelleri 12 aylık kaydırmalar nedeniyle bu işlemleri daha da zorlaştırmakta ve paket programlara ihtiyaç duyulmaktadır (Orhunbilge, 1999).

Çizelge 2.7’de Box-Jenkins modellerinin ACF ve PACF açısından özellikleri özetlenmiştir (Akgül, 2003b). Burada $ARIMA(p, d, q)x(P, D, Q)_s$ şeklinde bir genel model düşünülmüştür.

Çizelge 2.7 : Box-Jenkins modellerinin özellikleri.

MODEL	ACF	PACF
Mevsimsel olmayan MA $q = 1$ veya $q = 2$	1 veya 2 gecikme sonrası keser, mevsimsel gecikmelerde istatistiksel açıdan önemli olmayan otokorelasyonlar	Azalır
Mevsimsel MA $Q = 1$	s – mevsimsel gecikme sonrası keser, mevsimsel olmayan gecikmelerde istatistiksel açıdan önemli olmayan otokorelasyonlar	Azalır
Mevsimsel ve mevsimsel olmayan MA $q = 1, 2$ ve $Q = 1$	s – mevsimsel gecikme sonrası keser, 1 veya 2. mevsimsel olmayan gecikmelerde istatistiksel açıdan önemli otokorelasyonlar	Azalır
Mevsimsel olmayan AR $p = 1$ veya $p = 2$	Azalır	1 veya 2 gecikme sonrası keser, mevsimsel gecikmelerde istatistiksel açıdan önemli olmayan kısmi otokorelasyonlar
Mevsimsel AR $P = 1$	Azalır	1 mevsimsel gecikme sonrası keser, mevsimsel olmayan gecikmelerde istatistiksel açıdan önemli olmayan kısmi otokorelasyonlar
Mevsimsel ve mevsimsel olmayan AR $p = 1, 2$ ve $P = 1$	Azalır	s – mevsimsel gecikme sonrası keser, 1 veya 2. mevsimsel olmayan gecikmelerde istatistiksel açıdan önemli kısmi otokorelasyonlar
Mevsimsel veya mevsimsel olmayan karma AR+MA	Azalır	Azalır

2.2.7 Diğer yaklaşımlar

Box-Jenkins yönteminin kötü tarafı durağanlığın fark alma ile elde edilmesidir ve bu yaklaşım trendin deterministik olduğu varsaymaktadır. Eğer en son trendde büyük artış veya düşüş varsa tahminler oldukça etkilenir. Fark almadan durağanlık için farklı yaklaşımlar (Meese ve Geweke, 1984) geliştirilse bile, pratikte doğru sonuçlar verecek şekilde durağanlığın sağlanması henüz açık değildir. ARARMA modelleri ise sadece durağan zaman serileri ile çalışma problemini ortadan kaldırmaktadır. Parzen'in yaklaşımı (1982) zaman serileriyle tahmin için kuvvetli bir yöntemdir. Bu yaklaşım, Box-Jenkins yöntemini geliştirir ve daha pratik bir metodoloji sunar. Ayrıca otomatikleştirilebilir ve model seçim gerekliliğini kaldırır. Parzen, zaman serilerini üç gruba ayırır: uzun hafızaya sahip olanlar (Y_t) (trend, mevsimsellik ve diğer durağan olmayan tipler), kısa hafızaya sahip olanlar ($\tilde{Y}_t$) ve beyaz gürültü

(rastsallık) içerenler. Ayrıca çok değişkenli ARMA modelleri de geliştirilmiştir. Tek değişkenli modellerden farklı olarak, çok değişkenli modeller bağımsız dış faktörlerin bağımlı değişkene etkisini de içermektedir. Çok değişkenli ARMA modelleri çoklu regresyon ile tek değişkenli zaman serileri modellerini birleştirmektedir. Bunların dışında transfer fonksiyon modelleri, VAR (vektör otoregresif) modelleri, Kalman filtreleme gibi uygulamalar geliştirilmiştir.

Zaman serileri yöntemleri genellikle yapay zeka tabanlı yaklaşımlarla kıyaslanmaktadır. Bunlardan yapay sinir ağları (YSA) en sık kullanılanıdır. YSA tabanlı yaklaşımlar doğrusal olmayan problemlerde daha başarılı sonuçlar verse de, uygulamada daha karmaşık oldukları söylenebilir. Ayrıca YSA büyük miktarda eğitim verisine ihtiyaç duymaktadır ve kaba genelleştirme için uzun eğitim süresi gerekmektedir. Diğer akıllı yöntemler arasında bulanık sistemler, gizli Markov modelleri, destek vektör makineleri sayılabilir. Ayrıca bazı hibrid modeller de (genetik algoritma+YSA gibi) görülmektedir. Destek vektör regresyonu (SVR) ve kendi kendini organize eden haritalar (SOFM) yöntemleri de hibrid olarak uygulanmıştır. Yüksek dereceden bulanık mantık ilişkileri ve genetik benzetimli tavlama teknikleri de birleştirilerek kullanılmıştır (Kayacan ve diğ, 2010).

Ayrıca bulanık zaman serileri geliştirilmiştir. Burada zaman serileri dilsel ifadeleri içerdiğinde ve belirsizlik olduğunda bulanık ortamda tahmin üretilir. Dolayısıyla önceki yöntemlerden farklı bir amaca yöneliktir. Burada durağanlık kavramı, zamana bağlı veya zamandan bağımsız bulanık zaman serileri ile ifade edilir. Bulanık zaman serileri analizinde, bulanık ilişki verileriyle işlem yapılır, rastsal veya rastsal olmayan fonksiyonlar yoktur. Birçok gerçek hayat probleminde, trend veya döngü bileşenlerini gözlemlemek zordur ve bu nedenle bulanık zaman serileri ile incelemek mümkündür (Singh, 2008).

2.2.8 Literatürdeki zaman serisi uygulamaları

Zaman serileri analizi literatürde finans, yönetim, biyomedikal, ulaşım, ekoloji, elektrik güç sistemleri, hidroloji, havacılık, üretim, kalite kontrol, nüfus analizi gibi birçok alanda uygulanmıştır. Ancak tez çalışmasının amacı doğrultusunda çoğunlukla güneş radyasyon tahmini yapan modeller incelenmiştir. Örneğin Gordon ve Reddy (1988) saatlik güneş radyasyon tahmini için verinin varyansı ve ortalaması arasındaki ilişkiyi, otokorelasyon katsayıları ile ortalama açıklık indeksi arasındaki

ilişkileri incelemiştir. Zaman serileri analiziyle tahmin geliştirerek, sonuçlarını bir istasyona ait verilerden hesaplamış ve güneş enerji sistemlerinde büyüklük optimizasyonunda kullanılabileceğinden bahsetmiştir. Literatürde birçok radyasyon tahmin modeli geliştirilmiştir: bulut hareket analizi, NWP (sayısal hava durumu tahmini), kısa zamanlar için istatistiksel zaman serileri, doğrusal modeller, doğrusal olmayan modeller, hibrid modeller. Son olarak üstel düzeltme yöntemleri dikkat çekmiştir (Dong ve diğ., 2013). Bazı çalışmalarda ise Box-Jenkins yöntemi kısıtlayıcı varsayımı olmadığı için uygun bulunmuştur. Bazıları da tek değişkenli zaman serilerinde gecikmeli değerler ve hata terimleri ile modelleme yapan Box-Ljung yöntemini tercih etmiştir (Erdoğan ve Uzgören, 2009). Ancak bu model de ARIMA tekniğini kullanmaktadır.

Daha önce bahsedildiği gibi, ARMA modelleri zaman serilerinde tutarlılık veya otokorelasyona bağlı matematiksel modellerdir. AR modelleri ARMA'nın bir alt kümesidir ve geçmiş değerlerin doğrusal fonksiyonu şeklinde ifade edilir. AR modelinin derecesi p , kaç tane gecikmiş geçmiş değerin dahil edildiğini gösterir. MA modeli ise rastsal şok serilerinin (eşit olmayan ağırlıklandırma ile) hareketli ortalaması olarak hesaplanır. ACF (otokorelasyon) ve PACF (kısmi otokorelasyon), incelenen serinin iç yapısıyla ilgili önemli bilgiler sunar. Korelogramla saf AR sürecinin derecesi belirlenemediği için, kısmi otokorelasyon fonksiyonuna dayanan bir hesaplama yapılmaktadır. Akaike Final Tahmin Hatası (FPE) kriteri, AIC kriteri gibi kriterler kullanılarak derecesi belirlenir (Moreno-Muñoz ve diğ., 2008). Literatürdeki bazı çalışmalar (Huang ve diğ., 2012; Goh ve Tan, 1977) özellikle ARMA modeline dayanan tahmin yöntemi geliştirmiştir. Bazı çalışmalarda ise bu modeller başka yöntemlerle birleştirilerek daha iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Kaynar ve Taştan (2009) ise çalışmasında ARIMA modellerinin AR terimlerinin belirlenmesi için PACF, MA terimlerinin belirlenmesi içinse ACF fonksiyonları kullanmıştır. MSE, MAPE, Akaike bilgi kriteri (AIC) ve Schwarz-Bayes kriteri (SBC) kriterleri karşılaştırılarak hem günlük hem aylık veriler için oluşturulan modeller içerisinde veri setine en uygun olan model belirlenmiştir. Durağanlık testi için ADF ve Phillips-Perron birim kök testleri uygulanmıştır. Bazı çalışmalar ise zaman serilerindeki kalıntı analiziyle ilgilenmiştir. Zaman serisi, deterministik ve stokastik olarak parçalara ayrıştırılarak farklı modellenmiştir.

Varyansın sabit olmadığı serilerin durağanlaştırılması için, Box-Cox dönüştürmesi gibi üstel dönüştürme tekniklerine gerek kalmadan uygulanabilecek, doğrusal olmayan modellerden en popüler olanı ARCH (otoregresif koşullu değişen varyans) ve GARCH (genelleştirilmiş ARCH) modelleridir. Bu modellerin farklı tipleri: üstel GARCH (EGARCH), ortalamada ARCH-M, eşiksel GARCH (TARCH), bileşke ARCH (C-ARCH), asimetrik bileşke ARCH (AC-ARCH), asimetrik PARCH, GRJ-GARCH olarak sayılabilir. Özellikle ekonomide İMKB indeksi, döviz kurları, GSMH, TÜFE, repo oranları çalışmalarında kullanılmaktadır. Aktaş ve Akkurt (2006) ise otomobil üretiminde hata varyanslarının sabit olmadığı durumda uygulanan ve 1982’de Engle tarafından geliştirilen ARCH modellerini uygulamıştır. Ayrıca GARCH, ARMA modeline benzerliği nedeniyle tahmin yaparken daha kolay bulunmuştur.

Literatürde yer alan zaman serisi analiz yöntemlerini kullanan bu çalışmaların bir kısmı, Çizelge 2.8’de kullandığı modele göre sınıflandırılarak özetlenmiştir.

Çizelge 2.8 : Zaman serisi yöntemlerini uygulayan çalışmalar.

Kullanılan model	Referanslar	Geliştirmeler / Tahmin edilen veri
Üstel düzeltme yöntemleri	(Hyndman ve diğ, 2002, 2005) (Dong ve diğ, 2013) (Snyder ve diğ, 2004) (Sfetsos, 2000)	Durum uzay (state space) modeli / satış Durum uzay (state space) modeli / güneş radyasyonu Trende ve mevsime bağımlılık / envanter kontrolü gecikme zaman talebi
ARMA modelleri	(Jafri 2007) (Zaharim ve diğ, 2009) (Voyant ve diğ, 2013b) (Mora-López ve Sidrach-de-Cardona, 1998) (Moreno-Muñoz ve diğ, 2008)	ARMA, YSA, ANFIS, mantık sinir ağları (NLN) karşılaştırma / rüzgar hızı ARMA, ARIMA, SARIMA, Markov Geçiş Matrisi karşılaştırma, bulanık mantık ve YSA kullanan hibrid yöntem geliştirme (FFBPNN) / rüzgar verisi Mevsimsel olmayan ARMA(1,0) / güneş radyasyonu Durağanlık, NWP, MLP, ARMA, çok değişkenli analiz, zaman indeksleri / güneş radyasyonu ve PV üretimi Çarpımsal ARMA(1,0)x(0,1)s modeli / güneş radyasyonu
ARIMA modelleri (Box-Jenkins)	(Reikard, 2009) (Çemrek ve Daloğlu, 2010) (Karaman ve Fırat, 2013) (Bircan ve Karagöz, 2003) (Altın, 2007) (Topçuoğlu, 2010) (Chowdhury, 1990)	Çarpımsal ARMA modeli / güneş radyasyonu ARIMA ve gözlenmeyen bileşenler modeli (UCM) / güneş radyasyonu Uygun trend belirleme / çinko cevher üretimi ARIMA(2,0,0)x(1,1,1) ₁₀ modeli / kontrol günü sayısı ARIMA(2,1,1) modeli / döviz kuru ARIMA(1,1,1) modeli / baraj su miktarı En uygun ARIMA modelinin seçimi / yağış Temizleme işlemi (ön-beyazlatma) ile bulut geçirgenliklerine dönüştürme, ARIMA modeli uygulama, tahmin edilen bulut geçirgenliklerine ters dönüşüm / güneş radyasyonu
ARIMA modelleri (Box-Ljung)	(Erdoğan ve Uzgören, 2009)	Box-Ljung yöntemi ile kernel regresyon karşılaştırılması / IMKB-100 indeksi
Zaman serileri ile YSA tekniklerinin kullanımı	(Hang ve diğ, 2012) (Voyant ve diğ, 2013a) (Gentry ve diğ, 1995) (Paoli ve diğ, 2010) (Ichikawa ve diğ, 2010) (Wu ve Chan, 2013)	ARMA ve YSA birleşimi / güneş radyasyonu ve PV üretimi ARMA ve YSA birleşimi / güneş radyasyonu Zaman serileri ve YSA modellerini karşılaştırma ARIMA, Bayesian çıkarım, Markov zincirleri ve k-en yakın komşu algoritması ile YSA (MLP) karşılaştırma / güneş radyasyonu Meteorolojik verileri (güneşlenme süresi, rüzgar hızı gibi) ve örüntü eşleştirme yöntemini (hava durumu haritası ile) kullanma / güneş enerjisi ve rüzgar gücü Çoklu-model (MMF), veriyi gruplama ve her gruba ait uygun tahmin modeli / güneş radyasyonu

Çizelge 2.8 (devam) : Zaman serisi yöntemlerini uygulayan çalışmalar.

Kullanılan model	Referanslar	Geliştirmeler / Tahmin edilen veri
Zaman serileri ile YSA tekniklerinin kullanımı	(Mihalakakou ve diğ, 2000) (Çuhadar ve diğ, 2009) (Sfetsos ve Coonick, 2000) (Kaynar ve Taştan, 2009) (Zhang, 2003) (Paoli ve diğ, 2009) (Inoussa ve diğ, 2012) (Wu ve Chan, 2011)	Tek gecikme olması; sadece geçmiş değerlere bağlı olan model / güneş radyasyonu Üstel düzeltme, Box-Jenkins, mevsimsel Box-Jenkins ile karşılaştırma / dış turizm talebi Doğrusal, ileri-beslemeli, , tekrarlı Elman, radyal tabanlı sinir ağı, ANFIS teknikleri Tek değişkenliden çok değişkenliye geçiş / güneş radyasyonu Box-Jenkins (ARIMA) ile ileri-beslemeli YSA (MLP) modelini karşılaştırma / döviz kuru ARIMA ile YSA modellerini birleştiren hibrid model Ad-hoc zaman serileri ön-işleme ve çok-katmanlı algılayıcı (MLP) / güneş radyasyonu FWWNN-AR (fonksiyonel ağırlıklı dalgacık sinir ağı tabanlı duruma bağlı AR) İki aşamalı yöntem: trendden arındırma ve tahmin (ARMA+TDNN (zaman gecikmeli sinir ağı) hibrid modeli) / güneş radyasyonu
Zaman serileri ile gri sistem teorisi	(Kayacan ve diğ, 2010)	GM(1,1), Gri Verhulst modeli ve Fourier serileri kullanan modifiye modeller / \$-€ paritesi
Zaman serileri ile Kalman filtreleme	(Chaabene, 2008) (Chaabene ve Ammar, 2008) (Hassanzadeh ve diğ, 2010)	Ölçüm ve zaman güncelleme denklemleri ile Kalman filtreleme / güneş radyasyonu ve sıcaklık Kalman filtresi kullanan ARMA model ile kısa dönemli tahminler / güneş radyasyonu ve sıcaklık Bulutlu gün için tekrarlı algoritma olan Kalman filtreleme, Gaussian gürültü için spektral analiz ve ARMA modeli / güneş radyasyonu
Kaos zaman serileri	(Yılmaz ve Güler, 2006), (Michanos ve diğ, 2003), (Mori ve Urano, 1996)	Lyapunov üsteli hesabı, YSA veya MLP ile birleştirilmesi
CARDS	(Huang ve diğ, 2013)	AR ile dinamik sistemi birleştirme, dinamik sistem için Lucheroni modeli / güneş radyasyonu
STAR	(Fok ve diğ, 2005)	Geçiş fonksiyonu ile bağlanan 2 tane AR kısmı / ekonomik aktivite
ARCH-GARCH	(Aktaş ve Akkurt, 2006) (Kökçen, 2010)	ARCH (otoregresif koşullu değişen varyans) modeli ile genelleştirilmiş GARCH Tek değişkenli ARCH, GARCH, IGARCH, EGARCH, ARCH-M, GARCH-M, EGARCH-M, TARCH, TGARCH, PARCH modelleri / finansal veriler
Zaman serilerinde kalıntı analizi	(Sulaiman ve diğ, 1997) (Ünsal ve Kasap, 2010, 2012), (Mauricio, 2008) (Boland, 1995)	Fourier analizi ve ARMA Kalıntıları sınıflara ayırma (koşullu, koşulsuz, inovasyon ve normalleştirilmiş) Fourier dönüşümü ile sabit periyodik kısmı çıkarma ve kalıntı zaman serileri ile analiz / güneş radyasyonu ve sıcaklık
Birim kök testleri	(Tıraşoğlu, 2012)	HEGY (Hylleberh-Engle-Granger-Yoo) mevsimsel birim kök testi

Listelenen çalışmaların dışında, küresel radyasyon tahmininde bazı modeller GPS ve meteorolojik parametreler kullanan, açıklık indeksi formülasyonuna dayanmaktadır. Kumar ve Umanand (2005) ve Martin ve diğ. (2010) bunlara örnektir. Martin ve diğ. (2010), 3 günlük çözünürlükte yarım günlük küresel radyasyon tahmini yapan istatistiksel modelleri kıyaslamıştır. Kıyaslanan modeller otoregresif (AR), YSA ve bulanık mantık (ANFIS) modelleridir. Veriler durağan değildir ve iki yeni durağan değişkene (açıklık indeksi ve kayıp bileşen) dönüştürülmüştür.

Bulutlar hem güneş ışığını yansıtır hem de yerden gelen radyasyonun bir kısmını soğurur, bir kısmını da yeryüzüne geri yansıtırlar. Bu nedenle bulut kaplama indeksi de radyasyon hesabında dikkate alınmaktadır. Dazhi ve diğ. (2012) meteorolojik verileri (küresel yatay radyasyon GHI, dağınık yatay radyasyon DHI, direkt normal radyasyon DNI ve bulut kaplaması) farklı şekilde kullanarak 3 tahmin modeli geliştirmiş, saatlik güneş radyasyon tahmininde uygulamıştır. İlk model sadece GHI kullanarak gelecek GHI değerlerini, toplamsal mevsimsel ayrıştırma sonrası ARIMA yardımıyla hesaplamıştır. ARIMA hem durağan hem de durağan olmayan serilerle işlem yapabildiği için bu çalışmada tercih edilmiştir. AIC ile en iyi modelin parametreleri bulunmuştur. İkinci model DHI ve DNI tahminlerini ayrı ayrı kullanıp, toplamsal mevsimsel ayrıştırma sonrası ARIMA modeli uygulamış ve ardından iki tahmini birleştirerek atmosfer modeli ile GHI için tahmin üretmiştir. Üçüncü model ise bulut kaplama etkilerini ele almıştır. Bulut geçişleri için ARIMA modeli kullanılmış, farklı zenit açıları ve farklı bulut kaplama koşulları altında GHI tahminleri doğrusal olmayan regresyon ile geliştirilmiştir. Sonuçta farklı bulut kaplama koşulları için GHI regresyon modelleri özetlenmiştir. Tüm modeller Amerika'da iki hava durumu istasyonu verileriyle TMY3 (tipik meteorolojik yıl) verisi kullanılarak test edilmiş, bulut kaplaması kullanan tahminlerin MBE ve RMSE değerlerine göre daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada ARIMA modellerinin bir dezavantajından bahsedilmiştir. Genellikle fiziksel davranışlar göz ardı edilmektedir, yani güneş doğuşu ve batışında radyasyon sürekliliği bozulduğu için tahminler hatalı çıkmaktadır. Bunu yok edebilmek için LOESS (yerel polinomial regresyon uydurma) yöntemi ile her güne ait zaman serisi mevsimsel, trend ve rastsal bileşenlerine toplamsal olarak ayrıştırılmıştır.

Güneş radyasyon zaman serileri tahmini için yöntemler ilk geliştirildiğinde çatı panelleri veya sıcak su sistemleri performansı tahmini için kullanılmıştır. Anlamlı

hata payları olsa bile sonuçları çok önemli olmamaktadır. Fakat günümüzde daha büyük güneş yatırımları yapılmakta ve büyük ölçekli fotovoltaik ve konsantre güneş termal tesisleri kurulmaktadır. Finansal destekçilere karşı ve elektrik marketindeki rekabete karşı, Box-Jenkins gibi basit yöntemlerden daha iyi tahmin yapabilen tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle CARDS (eşleştirilmiş otoregresif ve dinamik sistem) modeline de yönelmişlerdir (Huang ve diğ, 2013).

Gri sistem teorisi, ilk olarak 1980’lerde Deng tarafından ortaya atılmıştır ve kısmen bilinmeyen parametresi olan sistemleri çözmesi ile tanınmıştır. Klasik istatistiksel modellere göre, gri modeller bilinmeyen sistemin davranışını tahmin etmek için sadece sınırlı veriye ihtiyaç duymaktadır. Gri sistem teorisi sosyal, ekonomik, finansal, bilimsel, teknolojik, tarımsal, endüstriyel, ulaşım, mekaniksel, meteorolojik, ekolojik, hidrolojik, jeolojik, medikal, askeri vs. sistemlerde uygulanmıştır. Gri modeller, tahmin edicinin pencere boyutuna bağlı olan en yakın veri setine göre tahmin geliştirir. Tüm veri değerlerinin pozitif olduğu ve örneklem sıklığının sabit olduğu varsayılır. Eğri uydurma yaklaşımı gibi de düşünülebilir. Burada veriler gri seri şeklinde ifade edilir. $GM(n, m)$ modelinde n diferansiyel denklemdaki dereceyi, m ise değişken sayısını göstermektedir (Kayacan ve diğ, 2010). Literatürde bazı çalışmalar zaman serileri ile gri sistem teorisini ortak kullanmıştır. Ayrıca Kalman filtreleme yöntemini kullanarak dinamik tahmin yöntemleri de geliştirilmiştir. Kalman filtresi tekrarlı bir yöntem olup, düzeltme ve tahmin döngüsünün sürekli hesaplandığı bir araçtır (Hassanzadeh ve diğ, 2010).

Birleşmiş veriler için de modeller geliştirilmiştir. Toplam işsizlik veya toplam üretime ait makroekonomik zaman serilerinde veriler, bölge, sektör veya yaş kategorilerine göre birleşmiş şekildedir. Doğrusal olmayan zaman serilerinde STAR (otoregresif düzgün geçiş) modeli kullanan Fok ve diğ. (2005), çok seviyeli panel modellerini dikkate alarak tahminler geliştirmiştir. STAR modeli geçiş fonksiyonu ile bağlanan 2 tane AR kısmından oluşur. Burada lojistik fonksiyon yardımıyla değiştirme fonksiyonu ifade edilmiştir. Bu model ile birleşik verilerle Amerika’da ekonomik aktivite tahmin edilmiştir.

2.3 Güneş Radyasyon Tahmini İçin Uygulamalar

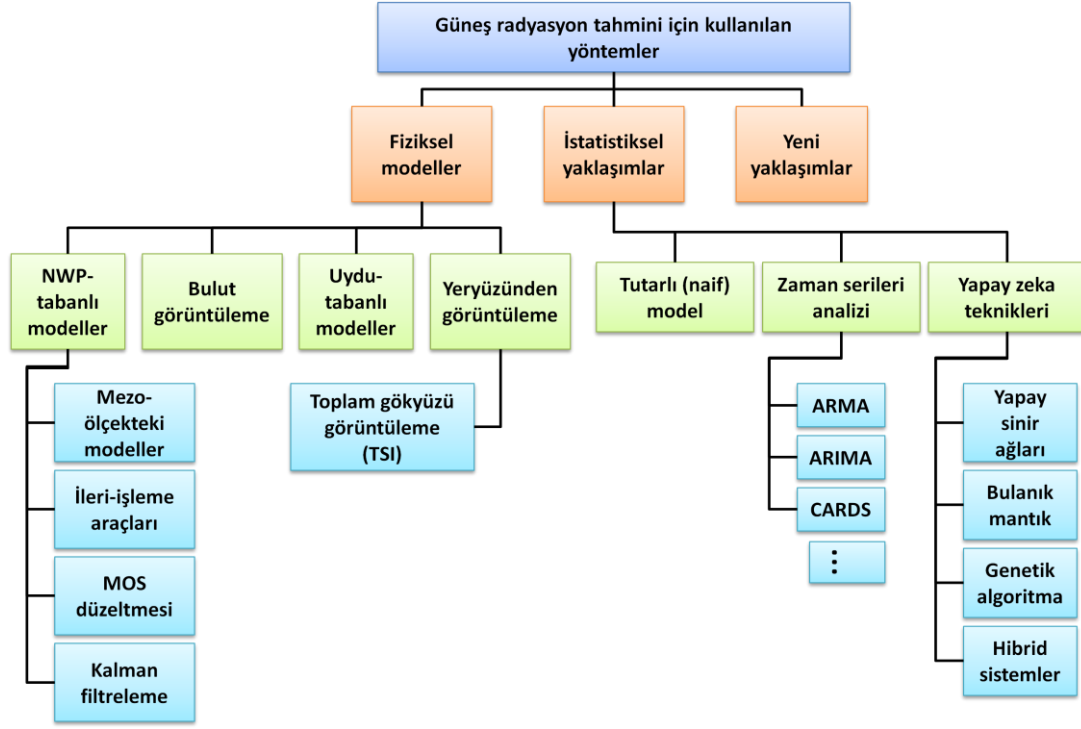
Yenilenebilir enerji alanının üstel olarak büyümesi nedeniyle, güneş radyasyonu ile ilgili daha doğru modelleme ve tahmin yöntemlerine ihtiyaç vardır. Güneş enerjisi

meteorolojik belirsizliklere bağılı olduğu için tahmin etmesi zordur. En bilinen güneş ölçümü küresel yatay radyasyondur (GHI) ve yatay bir düzleme düşen toplam radyasyonu ifade eder. Bu değer PV uygulamalarının tasarımında gereklidir. Sabit sıcaklıktaki güneş panelinde, güç üretimi küresel radyasyona doğrudan bağımlıdır ve güneş radyasyonunu tahmin etmek PV gücünü tahmin etmekten neredeyse farksızdır (Espinar ve diğ, 2010).

Tahmin süresi ve girdi tipine göre farklı tahmin yöntemleri bulunmaktadır. Örneğin; 5 dakika-6 saat arası çok kısa dönemli tahminler için zaman serileri modelleri, 30 dakika-6 saat arası tahminler için uydu görüntüsüne ve bulut hareket vektörlerine dayanan yöntemler, 6 saat üzeri tahminler için NWP modelleri kullanılmaktadır (Diagne ve diğ, 2012).

Güneş radyasyon tahmini daha güvenilir, mevcut meteorolojik bilgileri kullanan ve bilgisayar teknolojilerini içeren şekilde optimal tekniklerle geliştirilmelidir. Bunun için istatistiksel veya NWP tabanlı yöntemlerin eksiklikleri araştırılarak iyileştirilmelidir (Kostylev ve Pavlovski, 2011). GHI için tahmin modelleri ya NWP modelinden ve bulut görüntüsünden değerler tahmin ederek ya da küresel radyasyonun geçmiş zaman serilerini analiz ederek oluşturulur. Ayrıca hibrid yöntemlerle ikisi de iyileştirilebilir. Zaman serileri, ortalama saatlik güneş radyasyon tahmini için istatistiksel yöntemleri kullanırken, NWP modelleri açıklayıcı değişkenleri (saatlik ortalama bulut hareketi, atmosfere göre belirlenen yön) kullanarak N -adım sonraki küresel radyasyonu tahmin eder (Diagne ve diğ, 2012).

Güneş radyasyon tahmini için literatürde kullanılan teknikler Şekil 2.11'deki gibi özetlenebilir.



Şekil 2.11 : Güneş radyasyon tahmin yöntemleri.

2.3.1 Fiziksel modeller

NWP ve TSI (Total Sky Imager) ile bulut gözlemleri kullanılan modellerdir. Yerel güneş radyasyon verisi bulunmadığı durumlarda, haritalar yardımıyla tahminler üretilebilir. Bu haritalar atmosfer dışındaki güneş enerjisinin belli bir kısmının yeryüzüne geldiğini aylık olarak hesaplamaktadır. Burada açıklık indeksi hesabından faydalanılmaktadır. Belirli bir bölge için güneş radyasyon tahmininde, atmosfer dışı güneş enerjisi ile o bölge için hesaplanan açıklık indeksinin çarpımı hesaplanır (Kenna ve Gillett, 1985). NWP-tabanlı modeller birkaç güne kadar tahmin yapar ama anlamlı hatalar çıkabilmektedir. Bu yöntemlerin tahminlerinde, hem zamansal hem de uzaysal çözünürlük dikkate alınır. Zamansal çözünürlük, atmosfer değişkenlerinin değişiklik göstereceği zaman periyodunu ifade eder. Bu bölgesel modellerde 1 saat, küresel modellerde 3-6 saat, mezo-ölçekteki modellerde 30 saniye, küresel NWP modellerinde 10 dakika olabilmektedir (Diagne ve diğ, 2013). Uzaysal çözünürlük ise yatay çözünürlük olup hava durumunun uzaysal olarak ne kadar genişlediğini belirler. Burada grid noktaları genelde yatay alanda eşit dağıtılır. Küresel NWP modellerinin 16-50 km, mezo-ölçekteki modellerin 1 km veya 5-20 km olabilmektedir (Diagne ve diğ, 2013).

2.3.1.1 NWP-tabanlı modeller

Küresel NWP (sayısal hava durum tahmini) modelleri sıkça kullanılmaktadır. Global Environmental Multiscale Model (GEM), Global Forecast System (GFS) (National Centers for Environmental Prediction (NCEP) sistemidir), North American Mesoscale Model (NAM), European Centre for Medium Range Forecasts (ECMWF) gibi yöntemlerdir. NWP, hava durumu tahmini için atmosferi ifade eden matematiksel modellere hava durumu koşullarını girdi kabul eder. Bu küresel modeller, güneş radyasyonunu etkileyen birçok değişken için 6 saatte bir ve 1-3 saat arayla tahmin üretmektedir. Tahmin süresi 48-180 saat veya daha uzun olabilir. NWP küresel modelleri, kaba geçici uzaysal çözünürlüğe sahiptir, küçük ölçek için detaylı harita sunamaz. NWP'den elde edilen bulut kaplama bilgileri sadece açık gökyüzü modeli ile kullanılır (Kostylev ve Pavlovski, 2011). Saatlik ve bölgeye özel radyasyon tahminleri üreten farklı yöntemler önerilmiştir. Bunların arasında, MM5, WRF ve HIRLAM gibi mezo-ölçekteki modeller, istatistiksel ileri-işleme araçları veya bu yöntemlerin birleşimi ve ayrıca farklı tahmin yöntemlerini birleştiren sinoptik yaklaşım sayılabilir (Espinar ve diğ, 2010).

NWP'nin çözünürlük bakımından ve 1 saatten az süreler için tahminlerde yetersiz olduğundan bahsedilmektedir. İleri-işleme yöntemleri NWP çıktılarını iyileştirmektedir; sistematik tahmin hatalarını azaltır, yerel etkileri (topografya gibi) dikkate alır, NWP ile belirlenemeyen parametreleri bulur (örneğin güneş yüzey radyasyonu), en iyi şekilde farklı model çıktılarını birleştirir. Bunun için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. MOS (Model Output Statistics) düzeltmesi ise sayısal modelin çıktısını objektif olarak yorumlayan ve bölgeye özel tahmin üreten ileri-işlemeli tekniktir. Gözlenen hava durumu bileşeni ile belli bir zaman için sayısal modelden tahmin edilen değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkiyi belirlemektedir (Diagne ve diğ, 2012). Bu değişkenler NWP tahmini, önceki gözlemler ve coğrafi-iklimsel veri olabilir. Kalman filtresi ise gürültülü veriden bir sinyali saptarken başarılıdır ve az sayıda veri olduğunda kullanılabilir. Tek istasyon olduğu durumda Kalman filtresinin kullanımı uygundur (Diagne ve diğ, 2013).

2.3.1.2 Bulut görüntüleme

Bulut kaplaması, optik derinliği parametreleri ve bulut hareketleri uydudan veya yeryüzünden çekilen görüntülerle tahmin edilmelidir. Bulut tespitleri yapıldıktan

sonra, özelliklerine göre sınıflandırılarak 6 saate kadar güneş radyasyon tahmini yapılabilir. Uydu verisi ve gökyüzü görüntülerine dayanan zaman serisi modelleri, hareket vektör alanlarını kullanarak bulut yapılarının hareketlerini saptayabilmektedir. Bulutlu gökyüzü dahil tüm hava durumu koşulları için radyasyon tahmininde, ışımsal transfer modelleri (RTM) kullanılmaktadır. Bu modeller bulutun dikey yapısına ait fiziksel parametreleri kullanır. NWP modelleri ışımsal transfer hesaplamalarını gerektirmektedir (Diagne ve diğ., 2013).

2.3.1.3 Uydu-tabanlı modeller

Uydu görüntüleri kullanan modellerdir. Meteosat uydu görüntüleriyle tahmin yapılmıştır. Ayrıca GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) ile elde edilen görüntülerle de tahmin geliştirilmiştir. Birkaç dakikadan saatlere kadar tahmin yapabilmek için mevcut atmosfer durumuyla bilgileri birleştirmek önem kazanmaktadır. Avrupa'nın Meteosat uydularının verileri radyasyon ve bulut bilgisi için yüksek kaliteli kaynaklardır çünkü geçici ve uzaysal çözünürlükleri çok iyidir. Uydu görüntülerinden elde edilen radyasyon değerleri ile PV üretimi ve performansı tahmin edilebilir. Sonuçlara göre bu tür veri ile doğruluğa ulaşılmıştır. Sabit duran uydular (geostationary) sürekli aynı bölgeye ait görüntü çekenlerdir. Bu tür görüntüler, Meteosat gibi, yerel güneş radyasyon tahmininde kullanılabilir. Çoklu çözünürlü ayrıştırma tekniği ile tahmin için çeşitli uzaysal ölçeklerde yerel ortalamalara ve gradyentlere ayrıştırılan uydu görüntüsü elde edilmiştir (Espinhar ve diğ., 2010). Bulutluluk güneş radyasyonunu etkileyen en önemli faktördür. Bulut kaplamasıyla ilgili yarım saatlik görünür spektrum görüntüler, radyasyon miktarını belirlemede işe yaramaktadır. Ancak orijinal görüntülerin sıklıkla güncellenememesi, uydu görüntülerinin kötü coğrafik kayıtları, bulut yüksekliğinin tam anlaşılabilmesi gibi nedenlerde hatalar olabilmektedir. Bulutların hareketi hesaba katılmadığında açıklık indeksi hesapları da yanlış olabilmektedir (Kostylev ve Pavlovski, 2011).

2.3.1.4 Yeryüzünden görüntüleme

Saat arası tahminler için yüksek zaman ve uzay çözünürlüğüne ihtiyaç vardır ve NWP ile uydu tahminleri yetersiz kalır. Toplam gökyüzü görüntüleme (TSI) kullanan yeryüzü görüntüleri bu konuda yardımcı olur. Hem daha iyi çözünürlük hem de ani değişiklikleri yakalama olarak daha başarılıdır. Olası en büyük tahmin süresi bulut hızına bağlıdır ve 5-25 dakika arası olduğu bulunmuştur (Diagne ve diğ., 2013). TSI,

uydu-tabanlı yöntemlere benzer olarak bulutların tespitini yapan ve gelecekteki yerini tahmin eden bir yaklaşımdır. Bulut varlıkları, özel bir piksel tanımıyla ve yarım küreye ait gökyüzü görüntüleri ile çeşitli eşik değer algoritmaları kullanılarak belirlenir. Bulut hareket vektörleri çapraz-korelasyonlu gökyüzü görüntüleri ile belirlenir ve hızlarına bağlı olarak gelecek tahmini yapar. Bu yaklaşım, GHI tahminleri için yüksek zamansal (5 dakikalık) ve uzaysal (birkaç km) çözünürlük sağlar. Ancak tahmin süresi uzadıkça bulut değişkenliği artacağı için hata da artmaktadır. Dolayısıyla bulut tespit algoritması ve 2-D bulut kaplaması tahmini doğruluğuna bağlı olmaktadır. 3-D yapı ve bulutları izleyen çoklu-seviyeli dinamikler ile iyileştirilmiştir (Kostylev ve Pavlovski, 2011).

2.3.2 İstatistiksel yaklaşımlar

Zaman serileri, YSA, bulanık mantık, hibrid sistemler (ANFIS, YSA-dalgacık, YSA-GA, vs.) güneş radyasyon tahmininde kullanılmıştır. Ayrıca regresyon, çoklu regresyon, logaritmik regresyon, UCM (gözlenmeyen bileşenler modeli), transfer fonksiyonları da bu kapsamda incelenebilir. Bu yöntemlerde bölgeye bağımlılık vardır çünkü açıklık indeksi tahmini başka bölgede uygulanınca sorunlar çıkabilir. Ayrıca bulutlu gökyüzü için su buharı, ozon, aerosol gibi etmenlerin kısa dönemli olarak doğru tahmin edilmesi gerekir (Kostylev ve Pavlovski, 2011). Stokastik yaklaşımlar olup, bilinen fenomenlerin parametreleşmiş halini kullanırlar.

2.3.2.1 Tutarlı (naif) model

Öncelikle basit bir yöntemle çözümlenip çözülmediğine bakmak gerekir. Güneş ve rüzgar tahmininde sıkça kullanılan tutarlı model, kısa dönemli tahminler yapabilmektedir. Tahminin mevcut değere eşit olduğunu varsayan, fakat gün içi döngüsüyle düzelten, değişim trendini kullanan (ARIMA gibi) ve iklimsel bilgileri kullanan modeller olarak gruplanabilir. Bulut hareketleri değişince ve tahmin süresi uzayınca bu yöntemin hata payı artmaktadır (Diagne ve diğ, 2013).

2.3.2.2 Zaman serileri analizi

Uzun dönemli tahminler için yöntem, iklim zaman serilerine (örneğin Markov zinciri tabanlı yöntemler) veya hava durumu istasyon verilerine (örneğin referans yıl tabanlı yöntem) bağlıdır. Geçmiş veri ve sentetik bir yıl için tipik aylık veri sağlayan tipik meteorolojik yıl (TMY) verisi, sadece aylık ortalama ve günlük değerlerde

kullanılabilmektedir. Bir günden daha az zaman ölçeği için bulut kaplaması ve onların beklenen anlık değişiklikleri bilinmelidir. AR, MA ve ARMA modelleri doğrusal dinamik yapıları modellemek, gecikmiş değişkenler arasındaki doğrusal ilişkileri saptamak ve doğrusal tahmin için sıklıkla kullanılmaktadır. Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, üstel düzeltme yöntemleri de mevcuttur. Durağan olmayan süreçler orijinal sürecin farklarını alarak ve durağanlaştırılarak modellenebilmektedir. Çoklu fark alma bazı durumlarda durağanlığa ulaşmak için gerekli olabilir. Bunun sonucu olarak ARIMA(p, d, q) (veya Box-Jenkins) modelleri geliştirilmiştir. Mevsimsellik analizinin yapıldığı SARIMA modelleri de uygulanmaktadır. Özetle, güneş radyasyonu tahmininde kullanılan zaman serileri analizinde; doğrusal durağan modeller (AR, MA, ARMA, ARMAX), doğrusal olmayan durağan modeller ve doğrusal durağan olmayan modeller (ARIMA, ARIMAX) bulunmaktadır (Inman ve diğ., 2013). Huang ve diğ. (2013) tarafından geliştirilen eşleştirilmiş AR ve dinamik sistem modeli CARDS da radyasyon tahmininde uygulanmıştır.

2.3.2.3 Yapay zeka teknikleri

Doğrusal olmayan modeller için teknikler geliştirilmiştir. Bazı çalışmalara göre doğrusal olmayan ve durağan olmayan modeller verinin özelliklerini yakalamada daha esnektir ve bazı durumlarda tahmin açısından daha etkindir. Bu gelişmeler doğrusal modelleri ortadan kaldırmaz çünkü bu modeller bazı parametrelerin tahmininde büyük fayda sağlayan ilk yaklaşımlardır (Espinar ve diğ., 2010). Öğrenme yöntemleri olarak da adlandırılır. Genel olarak yapay zeka yöntemleri, YSA (yapay sinir ağları), bulanık mantık, GA (genetik algoritma), makine öğrenmesi ve hibrid sistemler (ANFIS, dalgacık sinir ağı, YSA-GA gibi) olarak sayılabilir.

Reikard (2009) girdilerin logaritmasını alarak regresyon kullanmış ve güneş radyasyon tahmininde ARIMA ile YSA modellerini karşılaştırmıştır. Ayrıca regresyon modeli, UCM modeli, transfer fonksiyon modeli ve hibrid modeli de karşılaştırmıştır. 24 saatlik tahmin süresine dayanarak, ARIMA'nın gün içindeki keskin değişimleri daha başarılı saptadığını ortaya koymuştur. 5 dakika-4 saat arası tahmin süresinde (60, 30, 15 dakikalık tahminlerde) ARIMA modeli başarılı bulunmuştur.

2.3.3 Yeni yaklaşımlar

Çoğu tahmin yöntemi tek bir değer üretmektedir. Ancak belirsizliği aralık, yoğunluk şeklinde ifade etmek daha doğru olabilir. Bu tür modellere olasılıklı tahmin yöntemleri denmektedir. Parametrik olmayan istatistiksel yöntemler geliştirilmiştir. Nokta tahmini için Random Forest, Support Vector Machine, olasılıklı hali için Quantile Regression Forest, Support Vector Machine for Quantile Regression yöntemleri geliştirilmiştir. Olasılıklı yöntemler yorumlanması daha kolay ve aynı doğruluk payıyla daha yüksek değerler üretmektedir. Dolayısıyla parametrik olmayan yaklaşımların geçerliliği desteklenmiştir (Espinar ve diğ., 2010). Bazı çalışmalarda destek vektör makinesi, yapay zeka tekniklerinden olan makine öğrenmesi yöntemleri altında da incelenebilmektedir.

Güneş radyasyonunu veya PV üretimini farklı şekillerde tahmin eden orijinal yöntemler de mevcuttur. Örnek olarak tam zamanında model (JIT) ile Öklid uzaklıklarını kullanan model sayılabilir. Çok kısa dönemli tahmin için geliştirilen ve kameralarla gökyüzünü görüntüleyen yöntem ise bulut kaplamasını tahmin etmekte kullanılmıştır. Ayrıca klasik yöntemlerde, zaman serilerinin durağanlığını sağlamak için trend ve mevsimsellik olmamalı, varyans eşitliği olmalıdır (eşdeğişkenli). Bu nedenle girdi verisine ön-işleme tekniklerini uygulamak gerekebilir (Diagne ve diğ., 2013).

Ayrıca Diagne ve diğ. (2012) istatistiksel yöntemleri kullandığı veri tiplerine göre 3 grupta toplamıştır.

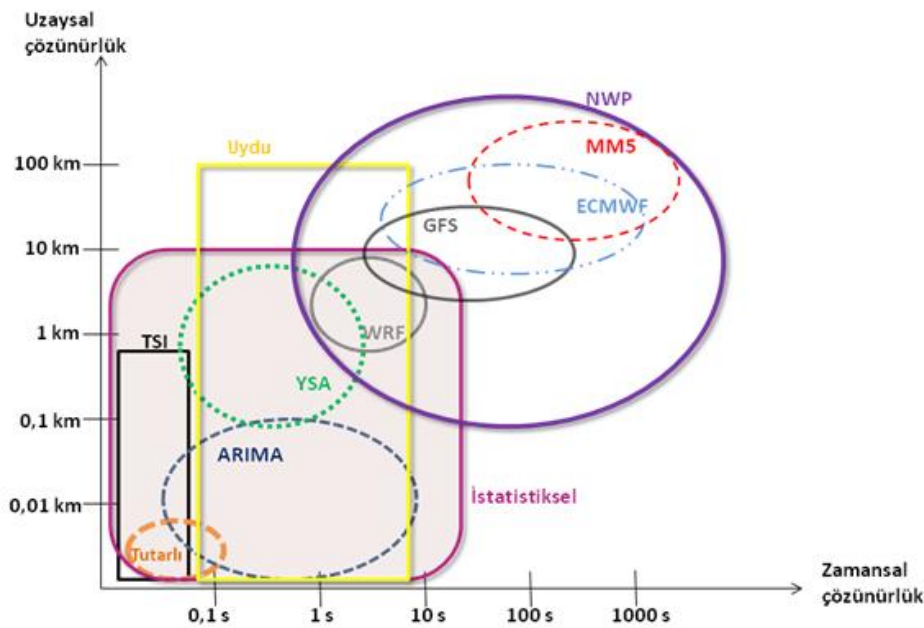
- İlk grup, çeşitli meteorolojik parametrelere (hava sıcaklığı (T), bağıl nem (RH), rüzgar hızı (Ws), rüzgar yönü (Wd), bulut (Cl), güneşlenme süresi (S), açıklık indeksi (Kt), basınç (P) vs.) ve enlem-boylam gibi coğrafik koordinatlara bağlı olarak tahminler yapmaktadır. Burada girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi ifade eden f fonksiyonunu bulmak önemlidir. Kullanılan yöntemler; çok katmanlı algılayıcılar (MLP), Radyal Taban Fonksiyonu (RBF), bulanık mantık gibidir.
- İkinci grup, geçmiş gözlem değerlerine bağlı olarak tahmin üretir. Burada $(t + p - 1, t + p - 2, \dots, t)$ zamanda gözlenen değerlere bağlı olarak, $(t + p)$ gelecek zamanı için tahmin yapmaya çalışılır. Bunun için girdi ve çıktılar arasındaki ilişki açığa çıkartılır. Çözümü için, zaman serileri modelleri, tekrarlı

sinir ağırları (RNN), dalgacık ağırları, bulanık dalgacık ağırları gibi yöntemler uygundur.

- Üçüncü grup iki grubun birleşiminden oluşur. Bu durumda, girdi parametreleri hem $(t + p - 1, t + p - 2, \dots, t)$ zamanlarına ait geçmiş gözlem değerleri hem de diğer meteorolojik parametrelerdir. Farklı YSA modelleri veya ANFIS yöntemi ile çözülebilir.

Güneş enerjisinin yenilenebilir ve tükenmez olmasının yanı sıra geçici olarak kesilme riski de mevcuttur. Kış-yaz veya gündüz-gece geçişleri ile atmosferin saydamlık değişkenlikleri kesilmesine neden olabilir. Bunun için toplam mevcut güneş gücünü daha iyi dağıtmak, farklı enerji kaynakları arası geçişi yönetmek ve depolanıp doğru zamanda tekrar dağıtmak önerilmiştir. Tüm bu uygulamalar için yenilenebilir enerji kaynaklarında tahmin önemlidir (Voyant ve diğ, 2013b).

Güneş radyasyonunun sürekliliği, tahmini için önemlidir. Gece boyunca radyasyon sıfır olduğu için, güneş batımından sonra ve güneş doğuşundan önceki zaman dilimi dikkate alınmalıdır. Güneş radyasyon ölçümü olmayan zaman dilimleri için, veriyi açık gökyüzü modellerinden ve diğer meteorolojik parametrelerden elde etmek gerekir. Hava durumu seyri ve bulutlar, güneş radyasyonunu en çok etkileyen faktörlerdir ve modele katılmalıdır (Dazhi ve diğ, 2012). Güneş radyasyon tahmin yöntemleri, Şekil 2.12’de hem uzaysal (km) hem de zamansal (saat) çözünürlük açısından gruplandırılmıştır (Diagne ve diğ, 2012).



Şekil 2.12 : Çözünürlüğe göre radyasyon tahmin yöntemleri.

Gelecekte gökyüzü görüntüleme teknikleri bulut bilgisini elde etmek için geliştirilebilir. WRF, ARIMA, AR gibi yöntemler birleştirilerek, farklı tahmin sürelerine uyacak şekilde, daha anlaşılır ve doğru tahminler hesaplanabilir. Amaç, PV-şebeke sistemlerinin gereksinimlerini tam anlamıyla karşılamaktır (Diagne ve diğ, 2012).

2.3.4 Dünyada ve Türkiye’de kullanılan yöntemler

Güneş radyasyon tahmini konusunda yüzeyin meteorolojik ve iklimsel bilgilerini kullanarak geliştirilen birçok yöntem bulunmaktadır. Bu konuda Kimball (1919) ve Angstrom (1924) ilk çalışmaları yapmıştır (Aksoy ve diğ, 2011). Global güneş radyasyonu tahmini için farklı modeller önerilmiştir ve genellikle ana tahmin edici olarak güneşlenme süresi dikkate alınmıştır. Bazıları sıcaklık, nem gibi ek meteorolojik etmenler ilave etmiştir. Çoğu en küçük kareler tekniği ve doğrusal regresyon yardımıyla güneş radyasyon tahmini yapmıştır (Şen, 2008).

Angstrom (1924), güneşlenme süresine göre güneş radyasyon tahmin modelini ilk geliştirendir. Angstrom-Presscott-Page modeli de denilen bu modelde (2.42), $\bar{H}$ küresel dünya içi ışının ortalaması, H_0 dünya dışı ışın (bulutsuz ışın), $\bar{S}$ güneşlenme süresinin ortalaması ve S_0 bulutsuz güneşlenme süresini (maksimumu) göstermektedir (Aktağ ve Yılmaz, 2012). a ve b ise ampirik katsayılardır.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{S}{S_0} \quad (2.42)$$

Güneş radyasyon verisi, yenilebilir enerji sistemlerinin tasarımı, büyüklüğünün belirlenmesi ve enerji performansı için çok önemlidir. Bu nedenle literatürde radyasyon tahmini yapan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar dünyada ve Türkiye’de uygulananlar şeklinde sınıflandırılarak anlatılmıştır.

2.3.4.1 Dünyada uygulanan yöntemler

a) Meteorolojik uydu verisini kullanan çalışmalar

Uydu verisini kullanarak küresel radyasyonu tahmin etmek için iki tipte yöntem mevcuttur: uydu ve yeryüzü verisi arasında ilişkilere dayanan istatistiksel yaklaşım ve uydu ile yeryüzü ölçümleri arasında ilişkiyi kurmak için ışımsal transfer modelleri kullanan fiziksel yaklaşım. Örneğin Cano ve diğ. (1986) istatistiksel bir model geliştirmiştir. Bu kapsamdaki diğer çalışmalar Çizelge 2.9’da özetlenmiştir.

Çizelge 2.9 : Meteorolojik uydu verisi kullanan çalışmalar.

Referans	Kullanılan veri tipi	Kullanılan model	Kullanıldığı yer	Tahmin edilen değer	Çözünürlük
(Cano ve diğ, 1986)	Meteorolojik uydu verisi	İstatistiksel model (doğrusal regresyon, albedo haritası)	Fransa	Küresel güneş radyasyonu	5x5 km ²
(Heinemann ve diğ, 2006)	Meteorolojik uydu verisi	NWP modeli (değişken tahmini ve ışımsal transfer modellerle eşleşme)	Almanya	Küresel güneş radyasyonu	1 veya 2 günlük
(Hammer ve diğ, 1999)	Meteorolojik uydu verisi	İstatistiksel model (benzetimli tavlama)	Almanya	Küresel güneş radyasyonu	Kısa dönemli, yüksek çözünürlük (2,5 km ²)

b) Yeryüzünden çekilen görüntüleri kullanan çalışmalar

Yeryüzündeki kameralarla çekilen görüntüler ile çeşitli tahminler geliştiren çalışmalar da mevcuttur. TSI modeli ile gökyüzü kaplama indeksi, bulut hareketi tahmini hesaplayan çalışmalar Çizelge 2.10’da özetlenmiştir.

Çizelge 2.10 : Yeryüzünden çekilen görüntüleri kullanan çalışmalar.

Referans	Kullanılan veri tipi	Kullanılan model	Kullanıldığı yer	Tahmin edilen değer	Çözünürlük
(Bernecker ve diğ, 2012)	Yeryüzünden görüntüleme	Blok eşleştirme modeli (bulut hareketi)	Almanya	Küresel güneş radyasyonu	Kısa dönemli
(Marquez ve diğ, 2012)	Toplam gökyüzü görüntüleme	YSA (gökyüzü kaplama indeksi)	ABD	Küresel yatay güneş radyasyonu	Günlük
(Marquez ve Coimbra, 2013)	Toplam gökyüzü görüntüleme	Bulut izleme yöntemi	ABD	Doğrudan normal radyasyon (DNI)	1 dakika
(Chow ve diğ, 2011)	Toplam gökyüzü görüntüleme	Bulut hareket vektörleri (2-D harita)	ABD	Açık gökyüzü ve güneşlenme parametresi	30 saniye
(Lee ve diğ, 2013)	Toplam gökyüzü görüntüleme	SFRM ve CRM modelleri	Güney Kore	Küresel güneş radyasyonu	Saatlik

c) NWP kullanan çalışmalar

NWP atmosfer durumuna bağlı olarak geliştirilen sayısal denklemleri çözerek hava durumu tahmini yapmaktadır. Çeşitli meteorolojik parametreleri (sıcaklık, rüzgar, basınç, nem içeriği) sayısal modelde dikkate almaktadır. Literatürde NWP yöntemini kullanarak güneş radyasyonu tahmini yapan çalışmaların bir kısmı Çizelge 2.11’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.11 : NWP kullanan çalışmalar.

Referans	Kullanılan veri tipi	Kullanılan model	Kullanıldığı yer	Tahmin edilen değer	Çözünürlük
(Mathiesen ve Kleissl, 2011)	Yeryüzünden görüntüleme	NWP+MOS	ABD	Küresel yatay güneş radyasyonu (GHI)	Saatlik
(Perez ve diğ, 2013)	Bulut bilgisi	NWP	ABD, Kanada, Avrupa	Küresel yatay güneş radyasyonu (GHI)	Günlük
(Lorenz ve diğ, 2009)	Meteorolojik ölçümler	NWP (ECMWF)	Almanya	Küresel güneş radyasyonu	3 gün
(Voyant ve diğ, 2012)	Meteorolojik ölçümler	ALADIN NWP+ hibrid ARMA/YSA	Fransa	Küresel güneş radyasyonu	Saatlik
(Bacher ve diğ, 2009)	Meteorolojik ölçümler	NWP+AR, ARX	Danimarka	Küresel güneş radyasyonu	15 dakika
(Fernandez-Jimenez ve diğ, 2012)	Meteorolojik ölçümler	NWP (GFS ve MM5) +YSA	İspanya	Küresel güneş radyasyonu	Kısa dönemli
(Pelland ve diğ, 2011)	Meteorolojik ölçümler	NWP+ileri-işleme	Kanada	Küresel güneş radyasyonu	Kısa dönemli
(Kratzenberg ve diğ, 2008)	Güneş radyasyonu	NWP+MOS	Brezilya	Küresel güneş radyasyonu	Günlük
(Bacher ve diğ, 2013), (Bacher, 2012)	Güneş radyasyonu	NWP+parametrik olmayan yöntem	Danimarka	Küresel güneş radyasyonu	Saatlik

d) Angstrom modelini kullanan çalışmalar

Bazı çalışmalar Angstrom modelini temel alarak onun katsayılarını tahmin etmiştir. Bu şekilde güneş radyasyon tahmini geliştirmişlerdir. Bu kapsamda yer alan bazı çalışmalar Çizelge 2.12’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.12 : Angstrom modelini kullanan çalışmalar.

Referans	Kullanılan veri tipi	Kullanılan model	Kullanıldığı yer	Tahmin edilen değer	Çözünürlük
(Podestá ve diğ, 2004)	Meteorolojik ölçümler (güneşlenme, sıcaklık, yağış)	Angstrom modeli	Arjantin	Küresel güneş radyasyonu	Günlük
(Salima ve Chavula, 2012)	Meteorolojik ölçümler (güneşlenme, açıklık indeksi)	Angstrom modeli- Doğrusal regresyon	Malawi	Küresel güneş radyasyonu	Aylık
(Jiang, 2009)	Meteorolojik ölçümler (güneşlenme, açıklık indeksi)	Angstrom modeli	Çin	Dağınık radyasyon	Günlük

e) Yapay zeka kullanan çalışmalar

Mellit ve Kalogirou (2008) yapay zeka tekniklerinin geleneksel yöntemlere göre başarılı bir alternatif olması nedeniyle PV uygulamalarında kullanılan yapay zeka yöntemlerini (yapay sinir ağları (YSA), bulanık mantık, ANFIS, dalgacık sinir ağı,

Markov zinciri ile YSA yöntemleri) araştırmıştır. YSA birçok girdi ile çıktının ilişkili olduğu durumda hesaplama yapabilen bir yöntemdir. Bu ilişkinin doğrusal olmadığı karmaşık sistemlerde de başarılı bir şekilde çalışmaktadır. Bu nedenle modelleme, optimizasyon, tahmin, kontrol gibi konularda sıkça uygulanmaktadır (Benghanem ve diğ., 2009). Literatürde yapay zeka tekniklerini kullanan çalışmaların bazıları Çizelge 2.13'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.13 : Yapay zeka kullanan çalışmalar.

Referans	Kullanılan veri tipi	Kullanılan model	Kullanıldığı yer	Tahmin edilen değer	Çözünürlük
(Marquez ve Coimbra, 2011)	Meteorolojik ölçümler	YSA + GA + Gamma testi	ABD	Küresel güneş radyasyonu	Orta dönemli
(Chiang ve diğ., 2012)	Meteorolojik ölçümler (radyasyon, sıcaklık, nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü)	YSA (RSCMAC)	Tayvan	Küresel güneş radyasyonu	Çok kısa dönemli
(Benghanem ve diğ., 2009)	Meteorolojik ölçümler (sıcaklık, bağıl nem)	YSA	Suudi Arabistan	Küresel güneş radyasyonu	Günlük
(Yanling ve diğ., 2012)	Meteorolojik ölçümler	BSS+RFBN	Çin	Küresel güneş radyasyonu	Günlük
(Landeras ve diğ., 2012)	Meteorolojik ölçümler	Gen Tanımlayan Programlama	İspanya	Küresel güneş radyasyonu	Günlük
(Chen ve diğ., 2011)	Meteorolojik ölçümler (radyasyon, bağıl nem, sıcaklık)	YSA + SOM	Çin	Küresel güneş radyasyonu	Çevrimiçi
(Oudjana ve diğ., 2013)	Meteorolojik ölçümler (sıcaklık, radyasyon)	YSA + regresyon	Cezayir	Küresel güneş radyasyonu ve sıcaklık	1 hafta
(Chow ve diğ., 2012)	Meteorolojik ölçümler	YSA (doğrusal olmayan korelasyon)	Çin	Küresel güneş radyasyonu	Kısa dönemli
(Cao, 2010)	Meteorolojik ölçümler	YSA (korelasyon analizi ile faktör sınıflandırma)	Çin	Toplam güneş radyasyonu	Günlük

Bunların yanı sıra, güneş radyasyonu tahmini için uygulanan YSA yöntemleri arasında; ekstrem öğrenme (Alharbi, 2013), kaos optimizasyonu (Cao ve diğ., 2009), hibrid k -ortalamalar ve doğrusal olmayan otoregresif sinir ağları (Benmouiza ve Cheknane, 2013), stokastik öğrenme (Marquez ve Coimbra, 2011), destek vektör makinesi (SVM) (Zeng ve Qiao, 2013) teknikleri de geliştirilmiştir.

Yadav ve Chandel (2014) ise literatürdeki tüm YSA tekniklerini araştırarak, güneş radyasyon tahmininde eksik kalan kısımları ifade etmiştir. Örneğin; veri sayısının

yeterliliği, YSA'nın eğitim yöntemi, her bir girdi değişkeninin sonuca etkisi ve eğik düzlemler için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgulamıştır.

Bu çalışmaların dışında, $\mathcal{H}_\infty$ filtreleme ve kümeleme kullanan (Hosoda ve Namerikawa, 2012), durağan olmayan serilerde çok-ölçekli ayrıştırma analizinde başarılı olan dalgacık dönüşümünü kullanan ve onu sinir ağları ile birleştiren (Wang ve diğ., 2011; Capizzi ve diğ., 2012; Mandal ve diğ., 2012), bulanık modelleme kullanan (Gómez ve Casanovas, 2003; Şen, 2008, Bölüm 5), radyal tabanlı fonksiyon ağını (RBFN) kullanan (Benghanem ve Mellit, 2010), veri madenciliği tekniği olan sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART) kullanan (Mori ve Takahashi, 2012) çalışmalar yapılmıştır.

f) Zaman serisi ve stokastik yöntemleri kullanan çalışmalar

Moreno-Muñoz ve diğ. (2008) zaman serilerini kullanarak, çarpımsal ARMA modeli ile küresel radyasyon tahmini yapmıştır. Güney İspanya'da 5 dakikalık veriler ile hesaplamalar yapılmıştır. Periyodik ve mevsimlik değişiklikler dikkate alınarak model geliştirilmiştir. ARIMA, ARMAX (dış değişkenlerle ARMA), ARIMAX (dış değişkenlerle ARIMA) gibi durağan olmayan durumlar için geliştirilmiş yöntemler de vardır ancak burada doğrusallık ve normal dağılım varsayımı sağlandığı için doğrusal olarak $ARMA(p,q)$ tercih edilmiştir. 7 farklı kritere göre modelin derecesini belirleyerek tahminler yapılmıştır. Korelogram (otokorelasyon grafiği) yetersiz kaldığı için, Akaike'nin final tahmin hatası (FPE) kriteri ve bilgi kriteri (AIC) gibi kriterler sayesinde derecenin 4 olması gerektiğine karar verilmiştir.

Bracale ve diğ. (2013) çalışmasında kısa dönemli (saatlik) PV aktif enerji üretimi tahmini için olasılık yoğunluk fonksiyonu belirleyen bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde, saatlik açıklık indeksinin olasılık yoğunluk fonksiyonu Bayesian otoregresif zaman serileri modeli ile tahmin edilmiştir. Model, güneş radyasyonunun bulut kaplaması ve nem oranı gibi bazı meteorolojik değişkenlere bağımlılığına göre kurulmuştur. Ardından Monte Carlo simülasyonu kullanılarak açıklık indeksi dağılımından rastsal örnekleme yapılmış ve tahmin edilen enerji üretimi hesaplanmıştır.

Su ve diğ. (2012) şebekeye bağlı PV sistemin performans tahmini için gerçek zamanlı (1 dakika sıklıkla) model geliştirmiştir. Bu model Gaussian (normal dağılım) denklemlerine dayanmaktadır ve diğer yöntemlere göre parametre hesapları ile

model tanımlama daha az çaba gerektirirken doğruluk payı da yüksektir. Lin ve diğ. (2012) ise şebekeye bağlı PV sisteminin çıktı tahmini için hava durumu tahmini yaparak güneş radyasyon modeli geliştirmiştir. Burada bulut tipinin tahmin bilgisi elde edilerek kısa dönemli PV çıktısı tahmin edilebilmiştir. Kullanılan yöntem dağıtım ağını döngü ve radyasyon olmak üzere iki parçaya ayırır. Döngü kısmı Gauss-Seidel, radyasyon kısmı ise geri beslemeli yöntemlerle güç akışı çözülmüştür. Yatay güneş radyasyonları, dağınık radyasyon uydurma modelinde kullanılarak PV istasyonlarının çıktıları hesaplanmıştır. Geliştirilen yöntemin doğru ve hızlı yakınsayan sonuçlar verdiği görülmüştür.

Li ve diğ. (2008) şebekeye bağlı PV sistemde (dağınık üretim) gri GM(1,1) tahmin modeli ile Markov modeline dayanarak güneş enerjisi üretimini tahmin etmiştir. Li ve diğ. (2009) benzer şekilde şebekeye bağlı PV sistem için gri-Markov modeli geliştirmiş ve kısa dönemli tahmin elde etmek için uygulamıştır. GM(1,1) modeli en sık kullanılandır fakat rastsal verilerde uygun değildir. Güneş radyasyonu ise rüzgar hızı, bulutlar, çevre sıcaklığı gibi birçok parametreye bağlı olarak belirsiz olduğu için, gri-Markov yöntemiyle olasılık hesaplamaları dahil edilebilmektedir. İleri gri-Markov yönteminin özelliği hafızasız olmasıdır, yani şu anki durum sadece bir önceki duruma bağlı olarak değişir, geçmiş değerlerin etkisi yoktur. Günlük PV enerji üretimleri de sürekli değişken olduğu için hafızasız olma özelliği ile örtüşmektedir. Bian ve diğ. (2010) ise küresel güneş radyasyon tahmini için sadece GM(1,1) gri modelini kullanmıştır. Çalışmada elde edilen radyasyon tahmin verileri, farklı silikon malzemesi kullanılan güneş projesi yatırımları için ekonomik analizde kullanılmıştır. Başka faktörlerin de dahil edilmesinden sonra, projeler arasından seçim yapacak olan bulanık çok amaçlı karar verme süreci uygulanmıştır. Ayrıca şebekeye bağlı PV sisteminin enerji üretim tahmini için Li ve Niu (2009) hafızasız olmasından dolayı Markov zinciri modeli, Li ve diğ. (2013c) ise bilinmeyen değişkenleri modellemek üzere gri teoriyi kullanmıştır. Li ve diğ. (2012) ise şebekeye bağlı PV sistemde kaba küme teorisine dayalı bir tahmin modeli geliştirmiştir. Kaba kümeler, olasılık teorisi ve bulanık kümeler gibi, belirsiz ve tutarsız bilgi olduğu durumlarda veriyi sınıflandırmak ve bağımlılıklarını incelemek için kullanılmaktadır.

Vartiainen (2000) gökyüzü radyasyon dağılımı kullanarak eğik düzlemler için dağınık radyasyon tahmini yapmıştır. 5 eğik radyasyon modeli ile 6 gökyüzü

dağılımı modeli Finlandiya verilerine göre karşılaştırılmıştır. Li ve Lam (2004) de benzer şekilde gökyüzü radyasyon dağılımını kullanmıştır ve Hong Kong'ta uygulamıştır. Gansler ve diğ. (1995) ise dakikalık radyasyon tahmini için kümülatif frekans dağılımına dayanan bir model geliştirmiştir. Saatlik verilerde bir saat içindeki değişiklikler gözden kaçmaktadır. Bu nedenle 3 bölge için dakikalık çalışma yapılmış ve açıklık indeksleri hesaplanmıştır.

g) Diğer çalışmalar

Pandey ve Soupir (2012) yatay düzlemler için ortalama saatlik küresel güneş radyasyonu tahmininde aktarma fonksiyonu kullanan yeni bir model geliştirmiştir. Ayrıca benzer gün modellemesi (Feng, 2012), geçmiş benzerlik madenciliği modeli (Monteiro ve diğ, 2013), tam zamanında modelleme (JIT) (Suzuki ve diğ, 2013) kullanan çalışmalar da mevcuttur. Mora-López ve diğ. (2011) ise güneş radyasyonunun kısa dönemli tahmini için sürekli zaman serilerinde istatistiksel ile makine öğrenmesi modellerini birleştirerek uygulamıştır. Öncelikle istatistiksel tekniklerle (çok değişkenli regresyon analizi) tahmin için en önemli bilgi açığa çıkarılır. Mevsim, gün gibi kesikli ifadelerde kukla (dummy) değişkenler kullanılmıştır. Daha sonra tahmin için, Levenberg-Marquardt yöntemini kullanan geri beslemeli öğrenme ile YSA modeli uygulanmıştır.

h) Yöntemleri karşılaştıran çalışmalar

Zheng ve diğ. (2011) son 10 yılda rüzgar ve güneş enerjisi tahminlerinde kullanılan yöntemleri incelemiştir. Buna göre istatistiksel yöntemler (Kalman filtreleme, veri madenciliği, dalgacık dönüşümü, vs.) ve yapay zeka (yapay sinir ağları, bulanık mantık, biyolojik zeka algoritması, vs.) teknikleri bulunmaktadır. Genel olarak tahminler uzun dönemli (3-10 günlük), orta dönemli (6-72 saatlik) ve kısa dönemli (0-6 saatlik) olmak üzere gruplanabilir. Tahmin yöntemleri direkt olan ve direkt olmayan şeklinde ikiye ayrılabilir. Direkt tahmin yöntemlerinde geçmiş bilgiler modele girdi kabul edilir ve modelin çıktıları tahminler olur. Direkt olmayan yöntemler ise dörde ayrılabilir: fiziksel modeller (NWP), istatistiksel modeller (eğri uydurma, parametre tahmini), yapay zeka modelleri (öğrenme yeteneği ile tahmin) ve birleşik modeller. Pedro ve Coimbra (2012) güneş enerjisi tahmini için kullanılan açık gökyüzü modeline dayanan tutarlı model, ARIMA, k -en yakın komşu, YSA, GA ile optimize edilmiş YSA yöntemlerini karşılaştırmıştır. Sudirman ve diğ. (2012)

güneş radyasyonu tahmininde kullanılan zaman serileri yöntemleri (ARIMA) ile YSA'yı karşılaştırmıştır. Zaman serileri modelleri; AR, MA, ARMA, ARIMA olarak sayılabilir ve kronolojik sıradaki serilerle çalışır. YSA ise kaotik veya düzensiz yapıda olan serilerle de çalışabilmektedir. Genellikle tahmin yöntemine karar verirken, istenen tahmin şekli, zaman ufku (kısa-orta-uzun dönemli), verinin seyri, maliyet, istenen doğruluk, verinin bulunabilirliği ve uygulama, anlama kolaylığı dikkate alınmaktadır.

Muzathik ve diğ. (2011) küresel güneş radyasyonunu yatay ve eğik düzlemler için tahmin eden modelleri incelemiştir. Bu modeller arasında en çok kullanılan, güneşlenme süresi ile korelasyonu inceleyerek Angstrom denklemini değiştirmek ve yatay düzlem için radyasyon tahmini elde etmektir. David ve diğ. (2013) eğik düzleme düşen dağınık güneş radyasyonu için geliştirilen 4 modeli (Hay, Skartveit ve Olseth, Gueymard, Perez vd.) değerlendirmiştir. Sonuçlara göre Perez'in modeli en iyisi seçilmiştir. Demain ve diğ. (2013) yatay dağınık güneş radyasyonundan eğik düzlem değerini 10 dakikalık aralarla tahmin eden 14 modeli incelemiştir. Açık gökyüzü çalışmalarında dağınık bileşenin; izotropik (eş yönlü) dağınık bileşen, güneş etrafında dönen dağınık bileşen ve ufuk aydınlatan bileşenlerinin toplamı olduğu öne sürülmüştür. Rivington ve diğ. (2005) güneş radyasyonu tahmini için, iki tane hava sıcaklığı tabanlı model ile güneşlenme süresini dönüştüren modeli İngiltere'deki 24 istasyon verilerine göre incelemiştir. Karşılaştırmayı bulanık mantığa dayanan çoklu indeksler (Irad) sayesinde yapmıştır. Evseev ve Kudish (2009) ise eğik düzlemler için küresel güneş radyasyonu dönüştüren modellerden 11 tanesini incelemiş ve İsrail verisiyle test etmiştir.

2.3.4.2 Türkiye'de uygulanan yöntemler

Türkiye güneş enerji potansiyeli oldukça yüksek olan bir ülkedir. 36°-42° Kuzey enlemleri, 26°-45° Doğu boylamları arasında yer alarak Akdeniz iklimine sahiptir. Dört mevsim belirgin olarak yaşanır ve ılıman kuşakta yer almaktadır. Güneş ışınları yıl içinde düz zeminlere dik gelmez ancak Türkiye'nin çoğu bölgesi güneş enerjisi açısından bereketlidir. Yıllık ortalama güneş radyasyonu 3,6 kWh/m² ve yıllık güneşlenme süresi 2.610 saattir (Özgören ve diğ, 2012). Türkiye'de uygulanan ve çeşitli yöntemler kullanan güneş radyasyon tahmin çalışmalarının bazıları Çizelge 2.14'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.14 : Türkiye’de yapılan çalışmalar.

Referans	Kullanılan veri tipi	Kullanılan model	Tahmin edilen değer	Çözünürlük
(Aksoy ve diğ., 2011)	Uydu görüntüleri (piksel)	Kuadratik korelasyon modeli (Angstrom tipi model)	Küresel yatay güneş radyasyonu	Günlük
(Dinçer ve diğ., 1996)	Ortam sıcaklığı	5.derece polinomial regresyon	Küresel ve dağınık güneş radyasyonu	Saatlik
(Aktağ ve Yılmaz, 2012)	Güneşlenme süresi	Kuadratik regresyon	Küresel güneş radyasyonu	Günlük
(Yılmaz, 2013)	Güneşlenme süresi	Kuadratik Angstrom modeli	Küresel yatay güneş radyasyonu	Günlük
(Şen, 1998)	Güneşlenme süresi	Bulanık mantık ile geliştirme	Küresel güneş radyasyonu	Saatlik
(Bakırcı, 2007)	Güneşlenme süresi	3.derece Angstrom modeli	Küresel yatay güneş radyasyonu	Aylık
(Tiris ve Tiris, 1997)	Açıklık indeksi	İstatistiksel (korelasyon)	Küresel yatay güneş radyasyonu	Saatlik ve günlük
(Bulut ve Büyükalaca, 2003)	Açıklık indeksi	Trigonometrik fonksiyon	Küresel yatay güneş radyasyonu	Saatlik
(Özgören ve diğ., 2012)	Meteorolojik ölçümler	Çoklu doğrusal olmayan regresyon+YSA	Küresel güneş radyasyonu	Aylık
(Ertekin ve Yıldız, 1999)	Meteorolojik ölçümler	Çoklu doğrusal regresyon	Küresel güneş radyasyonu	Aylık
(Terzi ve diğ., 2011)	Meteorolojik ölçümler	Veri madenciliği	Küresel güneş radyasyonu	Saatlik
(Bilgili ve Özgören, 2011)	Meteorolojik ölçümler	Çoklu doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon, geri beslemeli YSA	Küresel güneş radyasyonu	Günlük
(Türk Toğrul, 2009)	Meteorolojik ölçümler	Çoklu doğrusal regresyon (Angstrom katsayıları)	Küresel güneş radyasyonu	Aylık
(Topçu ve Oney, 1994)	Bulut kaplaması	Çoklu doğrusal olmayan regresyon	Küresel güneş radyasyonu	Saatlik
(Şen, 2007)	Güneşlenme süresi	3.dereceden doğrusal olmayan model	Küresel güneş radyasyonu	Günlük
		2-D doğrusal filtreler, YSA, Geri besleme algoritmaları		
(Hocaoğlu ve diğ., 2008)	Güneş radyasyonu	(gradyent düşüş, eşlenik gradyent düşüş, quasi-Newton ve Levenberg-Marquardt)	Küresel güneş radyasyonu	Saatlik
(Şen ve Cebeci, 2008)	Güneşlenme süresi	Temel bileşen analizi	Küresel güneş radyasyonu	Aylık

Bazı çalışmalar ise yöntemlerin karşılaştırmasını yapmıştır. Ertekin ve Yıldız (2000) yatay düzlemde aylık ortalama güneş radyasyon tahmini için geliştirilen 26 farklı deneysel modeli istatistiksel hataları Antalya ölçümlerine göre test ederek kıyaslamışlardır. Bu modellerden ilki Angstrom-Prescott-Page modelidir. Diğer geliştirilen modeller çoğunlukla bu modele dayandırılmış, bazı değişikliklerle

iyileştirilmeye çalışılmıştır. Menges ve diğ. (2006) ise benzer şekilde 50 modeli Konya verilerine göre kıyaslamıştır. Sonuçları istatistiksel hata testleriyle karşılaştırarak en doğru modeli belirlemiştir. Öztürk ve diğ. (2012) ise 39 modeli Isparta için elde edilen aylık ortalama günlük global güneş radyasyon verilerine uygulayıp kıyaslayarak en az hatayı veren yöntemi belirlemiştir. Vecan (2011) yüksek lisans tezinde İzmir'e ait 3 yıllık güneş radyasyon verisi ölçmüştür ve literatürde yer alan 10 model ile aylık ortalama günlük küresel güneş radyasyonu hesaplamıştır. Karşılaştırılan modeller arasında en küçük hatayı verenin ikinci dereceden geliştirilen olduğu bulunmuştur.

3. BULANIK ZAMAN SERİSİ YÖNTEMLERİ

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, zaman serisi analizinde Box-Jenkins metodolojisi dışında birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunun nedeni Box-Jenkins’de durağanlığın fark alma ile elde edilmesi ve tahminlerin trendden etkilenmesidir. Ayrıca uygun modelin birçok deneme sonucunda elde edilmesi bir dezavantaj olarak sayılmaktadır. ARARMA modelleri, çok değişkenli ARMA modelleri, transfer fonksiyon modelleri, VAR modelleri, Kalman filtreleme, YSA tabanlı yaklaşımlar, akıllı yöntemler (bulanık sistemler, gizli Markov modelleri, destek vektör makineleri, SVR, SOFM, genetik benzetimli tavlama gibi sezgisel teknikler) geliştirilen diğer yöntemler arasında sayılabilmektedir. Bunların haricinde bulanık zaman serileri de klasik zaman serilerine karşılık başarılı bir alternatif olarak geliştirilmiş ve bulanık ilişkiler yardımıyla işlemler yapmıştır.

Bulanık zaman serileri, zaman serileri dilsel ifadeleri içerdiğinde ve belirsizlik olduğunda bulanık ortamda tahmin geliştirir. Burada durağanlık kavramı, zamana bağlı veya zamandan bağımsız bulanık zaman serileri ile ifade edilir. Bulanık zaman serileri analizinde, bulanık ilişki verileriyle işlem yapıldığı için rastsal veya rastsal olmayan fonksiyonlar yoktur. Birçok gerçek hayat probleminde trend veya döngü bileşenlerini gözlemlemek zordur, bu nedenle bu tür problemleri bulanık zaman serileri ile incelemek mümkündür (Singh, 2008). Bulanık zaman serileri sadece dilsel ifadeleri içeren uygulamalarla sınırlı değildir, klasik zaman serisi uygulamalarında da bulanıklaştırma ve bulanıklığı kaldırma prosedürleriyle etkin ve başarılı bir tahmin aracı olabilmektedir (Tsai ve Wu, 1999).

Klasik zaman serisi modellerine alternatif olarak geliştirilen bulanık zaman serileri tahmin modelleri doğrusal olmayan veri ile çalışıp, katı varsayımlar gerektirmediği için sıkça uygulanmıştır. Ayrıca tahmin sonuçlarının doğruluğu yüksektir (Huarng ve diğ., 2007). Normallik, durağanlık gibi varsayımlar gerekmekte, verinin az veya eksik olduğu durumda bile çalışabilmektedir. Klasik zaman serilerinin doğrusallık ve en az 50 veri olma koşulları bulanık zaman serilerinin uygulanması için şart değildir.

Bulanık küme teorisi ilk olarak Zadeh (1965) tarafından ortaya çıkarılmıştır ve günümüze kadar birçok farklı alanda uygulanmıştır. Bulanık küme teorisi, sözel veya dilsel ifadelerin matematiksel olarak formüllere dönüştürülmesini sağlamaktadır. Gerçek hayatta karşılaşılan sıcaklık, borsa gibi bazı zaman serilerinin gözlemleri gün içinde birden çok değer alabildiği için, bu gözlemleri gerçek sayılar yerine dilsel değerler veya bulanık kümeler ile belirtmek daha uygun olabilir (Aladağ ve diğ, 2010a).

Geleneksel zaman serilerinin dilsel veri ile çalışamaması sonucu bulanık zaman serileri, ilk olarak Song ve Chissom (1993a, 1993b, 1994) tarafından önerilmiştir. Bulanık ilişkiler ve çıkarımlar kullanılarak, zaman serilerinin modellenmesi ve tahmin üretmesi sağlanmıştır. Bulanık zaman serileri modelleri, doğrusal olmayan ve karmaşık durumlarda kullanılmaktadır. Bulanık zaman serileri, zamandan bağımsız-zamana bağlı, tek değişkenli-çok değişkenli (tek faktörlü-çok faktörlü) ve birinci dereceden-yüksek dereceden şeklinde geliştirilmiştir. Zaman serilerindeki durağanlık koşulu, bulanık zaman serilerinde zamana bağlı olup olmamaya ifade edilmektedir. Ayrıca zaman serilerindeki rastsal veya rastsal olmayan fonksiyonların yerini, bulanık mantık ilişkileri almaktadır (Singh, 2008).

Modeller temel olarak şu adımlardan oluşmaktadır: bulanıklaştırma, bulanık ilişkilerin kurulması ve bulanıklığın kaldırılması (Şekil 3.1). Tahmin ile doğrudan ilgili olan alan, bulanık ilişkilerin kurulması aşamasıdır.



Şekil 3.1 : Bulanık zaman serisi ile tahmin adımları.

3.1 Bulanık Zaman Serilerinin Tanımı

Evrensel küme zaman serisinin tüm değerlerini kapsamaktadır ve $U = \{u_1, \dots, u_b\}$ şeklinde gösterilmektedir. U 'nun elemanları ise aralıklardır. Evrensel kümenin önceden belirlenmiş sabit bir aralık uzunluğuna göre parçalanması ile bu aralıklar elde edilmektedir. Evrensel kümeye bağlı olarak A_i bulanık kümeleri denklem 3.1'deki gibi tanımlanır.

$$A_i = f_{A_i}(u_1)/u_1 + \dots + f_{A_i}(u_b)/u_b \quad (3.1)$$

Burada $f_{A_i}: U \rightarrow [0,1]$ fonksiyonu A_i bulanık kümesinin üyelik fonksiyonudur, dolayısıyla $f_{A_i}(u_a)$ değeri u_a 'nın A_i kümesine ait olma derecesini ifade eder ($[0,1]$ arasında değer alır). Zaman serisine uygun evrensel küme tanımı ve parçalanması yapıldıktan sonra A_i bulanık kümelerinden oluşan yeni zaman serisi $F(t)$ bulanık zaman serisi olarak adlandırılmaktadır (Uslu ve diğ, 2012). $Y(t)$ ($t = 0,1,2, \dots$), U evrensel kümenin bir alt kümesi, $f_i(t), (i = 1,2, \dots)$ ise bir bulanık küme olduğunda $F(t); f_1(t), f_2(t), \dots$ bulanık kümelerinin birleşimi olup $Y(t)$ 'de tanımlı bir bulanık zaman serisini ifade etmektedir. Burada $F(t)$ dilsel değişken gibi düşünülebilir. Klasik zaman serileri modelleri dilsel ifadeler olduğunda çalışmamaktadır (Jafri, 2007).

Bulanık zaman serilerinde tahmin yapabilmek için bulanık ilişkilerin tanımlanması gerekir. Bulanık zaman serisinde ilişki için $F(t)$ 'nin sadece $F(t-1)$ 'den etkilendiği düşünülürse bulanık zaman serisine birinci dereceden bulanık zaman serisi adı verilir. Bu tür bulanık zaman serisinde bulanık ilişki ise $F(t) = F(t-1) * R(t, t-1)$ şeklinde gösterilebilir. Buradaki $*$ ifadesi herhangi bir operatördür, $R(t, t-1)$ ise $F(t)$ ile $F(t-1)$ arasındaki bulanık ilişkiyi göstermektedir. $F(t-1) = A_i$ ve $F(t) = A_j$ olduğu durumda bulanık mantık ilişkisi $A_i \rightarrow A_j$ şeklinde gösterilebilir (Uslu ve diğ, 2012). $R(t, t-1)$ bulanık ilişkisi zamandan bağımsız ise $F(t)$ zamandan bağımsız bulanık zaman serisi, bağımlı ise zamana bağlı bulanık zaman serisi olarak adlandırılmaktadır (Jafri, 2007).

$F(t)$ bulanık zaman serisi olduğunda eğer $F(t-1), F(t-2), \dots, F(t-n), F(t)$ 'ye neden oluyorsa bulanık mantık ilişkisi $F(t-n), \dots, F(t-2), F(t-1) \rightarrow F(t)$ şeklinde gösterilir ve $F(t)$ 'ye n .dereceden bulanık zaman serisi adı verilir (Uslu ve diğ, 2012). Gerçek hayatın modellemesinde sadece bir önceki dönemin etkisi yeterli değildir, bu nedenle daha yüksek dereceden zaman serisi modelleri kullanılmalıdır. Dolayısıyla daha eski dönemlerin ve gecikmeli değişkenlerin etkileri de modele dahil edilmelidir. Birinci dereceden modellerin yetersiz kalması sonucunda, Chen (2002) yüksek dereceli zaman serisi modeli önermiştir. Bu modelde birçok ilişki tablosu ve fazla hesaplama yapılmaktadır. Bu nedenle birçok çalışma tarafından geliştirilmiştir (Aladağ ve diğ, 2009; Lee ve diğ, 2006; Jilani ve Burney, 2007). Yüksek dereceden bulanık zaman serileri daha güvenilir tahminler üretmiştir.

3.2 Çeşitli Bulanık Zaman Serisi Modelleri

Bu bölümde literatürde geliştirilen, uygulanan ve başarılı tahmin sonuçları elde edilen çeşitli bulanık zaman serisi modelleri anlatılmıştır.

Song ve Chissom modeli

Song ve Chissom'un önerdiği bulanık zaman serileri modelinde aşağıdaki adımlar geçerlidir (Huarng ve Yu, 2006b):

1. Araştırılan evrensel kümenin tanımlanması ve parçalanması
2. Gözlemler için bulanık kümelerin tanımlanması
3. Gözlem değerlerinin bulanıklaştırılması
4. Bulanık ilişkilerin kurulması
5. Tahmin yapılması
6. Tahmin sonuçlarındaki bulanıklığın kaldırılması

Bulanık ilişkilerin kurulması aşaması için Song ve Chissom, sağ ve sol yanların transpozelerinde minimum operatörü kullanmıştır. Sonra birleşim operatörü ile tüm ilişkiler hesaplanmıştır. Song ve Chissom (1993b) dinamik bir süreç olan bulanık zaman serilerini tanımlamıştır. Bulanık ilişkileri maksimum-minimum denklemlerine dayanarak oluşturmuştur. Bulanık zaman serilerini zamana bağlı ve zamandan bağımsız olarak sınıflandırmıştır. Zamandan bağımsız seriler için tahmin prosedürü geliştirmiştir. Daha sonraki çalışmalarında pencere tabanının (window base) seçilmesi ile başlamış, kartezyen çarpım ile ilişkileri elde etmişlerdir. Zamana bağlı bulanık serilerde Song ve Chissom (1994), zamana bağlı ve bağılı olmayan seriler arasındaki farka dikkat çekmiş ve pencere tabanı w değişkenini zamana bağlı tahmin modeline eklemiştir. w değerinin değişmesi ile bulanık ilişki vektörü de değişmiştir (Liu ve Wei, 2010). Ayrıca Song ve Chissom (1994) birinci dereceden zamana bağlı geliştirdiği modelde, bulanıklığın kaldırılması için yapay sinir ağları (YSA) kullanarak kitle merkezi (centroid) yönteminden daha başarılı olduğunu söylemiştir.

Song ve Chissom modelinde maksimum-minimum işlemleri 3.2 ve 3.3 denklemleriyle ifade edilmiştir.

$$F(t) = F(t - 1) \circ R^w(t, t - 1) \quad (3.2)$$

$$R^w(t, t - 1) = F^T(t - 2) \times F(t - 1) \cup F^T(t - 3) \times F(t - 2) \cup \dots \cup F^T(t - w) \times F(t - w + 1) \quad (3.3)$$

Şah ve Degtiarev (2005), 1.dereceden zamandan bağımsız olan Song ve Chissom

modelini verideki ardışık değişimleri kullanarak geliştirmiştir.

Sullivan ve Woodall modeli

Sullivan ve Woodall (1994) ise birinci dereceden Song ve Chissom modelini iyileştirmiştir. Olasılık dağılım fonksiyonlarına dayanan ve dilsel ifadeler kullanan zamandan bağımsız Markov modeli geliştirmişlerdir. Her bulanık ilişki, olasılık yoğunluk fonksiyonları ile sağ ve sol yanların transpozelerinin matris çarpımı kullanılarak hesaplanmıştır. Ardından ilişki matris toplamı ile ilave edilmiştir. Geçiş matrisleri kullanan Markov modeli, klasik zaman serileri ile kıyaslanmış ve geçmiş veri aralığının dışına çıkarak tahmin edebildiği için klasik yöntemler başarılı bulunmuştur. Sullivan ve Woodall modelinde kullanılan Markov modelindeki matris çarpımı denklem 3.4 gibi ifade edilmiştir.

$$P'_{t+1} = P'_t * R_m^k, \quad k = 1, 2, \dots \quad (3.4)$$

Chen modelleri

Chen (1996, 2002) aritmetik işlemlere dayanarak model geliştirmiştir. Song ve Chissom modeli, maksimum-minimum bileşke işlemlerine bağlı olması nedeniyle büyük hesaplamalar gerektirdiği için eleştirilmiştir. Chen (1996) modeli daha etkin ve basittir. Modelin adımları şu şekildedir:

1. Evrensel küme eşit uzunlukta aralıklara parçalanır. $U = [D_{min} - D_1, D_{maks} + D_2]$ tanım aralığı ve $u_1, u_2, \dots, u_k$ parçalanmış aralıklardır. Burada D_1 ve D_2 keyfi pozitif değerlerdir. Ayrıca bu aralıkların orta noktaları $m_1, m_2, \dots, m_k$ hesaplanır.
2. Bulanık kümeler tanımlanır ve gözlem değerleri bulanıklaştırılır. Ardından bulanık ilişkiler kurulur. Burada $A_1, A_2, \dots, A_k$ bulanık küme (dilsel ifadeler) olarak tanımlanmaktadır (3.5).

$$\begin{aligned} A_1 &= a_{11}/u_1 + a_{12}/u_2 + \dots + a_{1m}/u_m \\ A_2 &= a_{21}/u_1 + a_{22}/u_2 + \dots + a_{2m}/u_m \\ &\dots \\ A_k &= a_{k1}/u_1 + a_{k2}/u_2 + \dots + a_{km}/u_m \end{aligned} \quad (3.5)$$

$(a_{ij} \in [0,1] \text{ üyelik derecesi, } 1 \leq i \leq k, 1 \leq j \leq m)$

Gözlem değerinin maksimum üyelik derecesi A_i 'de oluşuyorsa, o değer A_i olarak bulanıklaştırılır. Çalışmada $k = 7$ düşünülerek A_1 =‘çok çok az’, A_2 =‘çok az’, A_3 =‘az’, A_4 =‘orta’, A_5 =‘fazla’, A_6 =‘çok fazla’, A_7 =‘çok çok

fazla' gibi dilsel ifadeler kullanılmıştır. Ayrıca üçgen bulanık sayı kullanılarak tepe noktasının üyelik derecesi 1, komşu iki noktanın ise 0,5 alınmıştır (3.6).

$$\begin{aligned}
A_1 &= 1/u_1 + 0,5/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7 \\
A_2 &= 0,5/u_1 + 1/u_2 + 0,5/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7 \\
A_3 &= 0/u_1 + 0,5/u_2 + 1/u_3 + 0,5/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7 \\
A_4 &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0,5/u_3 + 1/u_4 + 0,5/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7 \\
A_5 &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0,5/u_4 + 1/u_5 + 0,5/u_6 + 0/u_7 \\
A_6 &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0,5/u_5 + 1/u_6 + 0,5/u_7 \\
A_7 &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0,5/u_6 + 1/u_7
\end{aligned} \tag{3.6}$$

Bulanık ilişkiler için i .yılın değeri A_j ise $(i + 1)$.yılın değeri A_k olmak üzere $A_j \rightarrow A_k$ ilişkileri tanımlanmıştır.

3. Aynı sol yana sahip ilişkiler gruplandırılmıştır. Örneğin aynı sol yana sahip ilişkiler $(A_i): A_i \rightarrow A_{j1}, A_i \rightarrow A_{j2}, \dots$ şeklinde ise $A_i \rightarrow A_{j1}, A_{j2}, \dots$ gibi gruplarda toplanmıştır.
4. Tahmin hesaplamaları için aşağıdaki üç kural dikkate alınır:
 - a. i .yılın değeri A_j ve sol tarafı A_j olan bulanık ilişkiler grubunda tek bir sağ taraf varsa $(A_j \rightarrow A_k)$, $(i + 1)$.yılın tahmin değeri A_k 'nin ait olduğu u_k aralığının orta noktası m_k olmaktadır.
 - b. i .yılın değeri A_j ve sol tarafı A_j olan bulanık ilişkiler grubunda birden fazla sağ taraf varsa $(A_j \rightarrow A_{k1}, A_j \rightarrow A_{k2}, \dots, A_j \rightarrow A_{kp})$, $(i + 1)$.yılın tahmin değeri $(m_1 + m_2 + \dots + m_p)/p$ şeklinde hesaplanmaktadır.
 - c. i .yılın değeri A_j ve sol tarafı A_j olan bulanık ilişkiler grubu bulunmuyorsa, $(i + 1)$.yılın tahmin değeri m_j olarak alınmaktadır.

Chen (2002) modeli ise yüksek dereceden bulanık zaman serileri için geliştirilmiştir. Bulanık ilişkilerin tanımlanması aşamasında n .dereceden ($n \geq 2$) ilişkiler tanımlanıp gruplanmaktadır. Örneğin 2.dereceden ilişkiler, $i - 1$ ve i yıllarının değerleri A_{j1}, A_{j2} ise $(i + 1)$.yılın değeri A_k olmak üzere $A_{j1}, A_{j2} \rightarrow A_k$ şeklinde tanımlanmıştır. Bulanık ilişkilerin gruplanması ise aynı sol tarafa (sol iki değere) sahip olan ilişkiler şeklinde gerçekleşmiştir. Burada sağ taraf boş ise '#' ile gösterilmiştir. Benzer şekilde daha yüksek dereceden ilişkiler de tanımlanmıştır. Tahmin değerlerinin hesabı için ise aşağıdaki üç kural dikkate alınmıştır:

- a. i .yılın k .dereceden değerleri $A_{ik}, A_{i(k-1)}, \dots, A_{i1}$ ($k \geq 2$) ve

$A_{ik}, A_{i(k-1)}, \dots, A_{il} \rightarrow A_j$ ilişkisi söz konusu ise i .yılın tahmin değeri m_j olmaktadır.

- b. $A_{ik}, A_{i(k-1)}, \dots, A_{il} \rightarrow A_{j1}; A_{ik}, A_{i(k-1)}, \dots, A_{il} \rightarrow A_{j2}; \dots; A_{ik}, A_{i(k-1)}, \dots, A_{il} \rightarrow A_{jp}$ bulanık ilişkileri söz konusu ise karışıklık vardır ve daha yüksek dereceden ilişkilere bakılmalıdır. $m \geq k$ olmak üzere m .dereceden değerlerle $A_{im}, A_{i(m-1)}, \dots, A_{il} \rightarrow A_j$ şeklinde tek bir ilişki varsa i .yılın tahmin değeri m_j olmaktadır. Daha yüksek dereceden ilişkilere bakıldığında birden fazla ilişki olduğunda, tek ilişki bulana dek bir yüksek dereceye bakmak gerekmektedir.
- c. $A_{ik}, A_{i(k-1)}, \dots, A_{il} \rightarrow \#$ şeklinde sağ tarafı boş olan bir ilişki söz konusu ise i .yılın tahmin değeri denklem 3.7 ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{1*m_{ik} + 2*m_{i(k-1)} + \dots + k*m_{il}}{1+2+\dots+k} \quad (3.7)$$

Bu yöntem ile tahminlerin ortalama hata kare (MSE) değerleri hesaplanmış ve diğer yöntemlere göre başarılı bulunmuştur. Ayrıca hesaplama süresi (zorluk derecesi) bakımından da düşüktür. Song ve Chissom modeli $O(kn^2)$ zorluğa sahipken, bu yöntem $O(p)$ zorluk derecesine sahiptir.

Chen ve Chen (2011) ise benzer şekilde yüksek dereceden model geliştirmiştir. Burada evrensel küme eşit parçalanıp, tüm veriler uygun bulanık sayılarla ifade edildikten sonra yüksek dereceden ilişkiler kurulmuştur. Ardından bulanık ilişkiler denklem 3.8 ile ifade edilen şekle dönüştürülmüştür ($v(x_i)$ değerleri tamsayılardır).

$$A_{x_1}, A_{x_1+v(x_1)} A_{x_1+v(x_1)+v(x_2)}, \dots, A_{x_1+v(x_1)+\dots+v(x_m)} \rightarrow A_{x_1+v(x_1)+\dots+v(x_m)+v(x_n)} \quad (3.8)$$

Aynı sol tarafa sahip ilişkiler için grupta yapılmıştır. Tahmin için dönüştürülmüş bulanık ilişki grubu seçilerek aşağıdaki şekilde orta noktalar (m) yardımıyla $Fvar$ tahmini değişimi (3.9) ve tahmini değişim ile son tahminler (3.10) hesaplanmıştır.

$$Fvar = \frac{\sum_{i=1}^k m_{ji}}{k} - m_{i1} \quad (3.9)$$

$$tahmin = ger\check{c}ek\ değ{er}(t - 1) + Fvar \quad (3.10)$$

Hwang ve diğ. modeli

Hwang ve diğ. (1998) ise gözlemlerdeki değişkenliklere göre bir model geliştirmiştir. Geçmiş yıla göre değişim trendi hesaplanarak, gelecek tahmininin bu trende uygun olacağı söylenmiştir. Evrensel küme tanımı önceki modeller gibi tanımlanıp eşit

parçalandıktan sonra, gözlem değerlerindeki değişimlere göre bulanıklaştırma yapılmıştır. t ile $t - 1$ yılları arasındaki değişim denklem 3.11 gibi bulanık sayılara dönüştürülmüştür ($1 \leq i \leq m$).

$$F(t) = u_1/(\text{büyük düşüş}) + u_2/(\text{düşüş}) + \dots + u_i/(L) + \dots + u_m(\text{çok büyük artış}) \quad (3.11)$$

Bu modelde kaç yılın kullanılacağı pencere boyutu (w) olarak belirlenir. Geçen yılın değişimi kriter matrisi $C(t)$ (3.12), geçmiş w yılın değişimi ise işlem matrisi $O^w(t)$ olarak kullanılır (3.13).

$$C(t) = F(t-1) = \begin{matrix} & \begin{matrix} (\text{büyük düşüş}) & (\text{düşüş}) & \dots & (\text{çok büyük artış}) \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_m \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.12)$$

$$O^w(t) = \begin{bmatrix} F(t-2) \\ F(t-3) \\ \vdots \\ F(t-w-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & \dots & O_{1m} \\ O_{21} & O_{22} & \dots & O_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ O_{w1} & O_{w2} & \dots & O_{wm} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Ardından kriter matrisiyle işlem matrisinin çarpımı yapılarak ilişkiler matrisi hesaplanır (3.14).

$$R(t) = O^w(t) \otimes C(t) = \begin{bmatrix} O_{11}x C_1 & O_{12}x C_2 & \dots & O_{1m}x C_m \\ O_{21}x C_1 & O_{22}x C_2 & \dots & O_{2m}x C_m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ O_{w1}x C_1 & O_{w2}x C_2 & \dots & O_{wm}x C_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{w1} & R_{w2} & \dots & R_{wm} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Burada $R_{ij} = O_{ij} x C_j$ ve $1 \leq i \leq w, 1 \leq j \leq m$ ile "x" çarpım olmaktadır. İlişkiler matrisi ile geçen yıl ve diğer geçmiş yıllar arasındaki değişimin derecesi bilinmektedir. Daha sonra t yılı için tahmini değişim ilişkiler matrisinin her sütununda maksimum değerler bulunarak hesaplanmaktadır (3.15).

$$F(t) = [\text{Max}(R_{11}, R_{21}, \dots, R_{w1}) \quad \text{Max}(R_{12}, R_{22}, \dots, R_{w2}) \quad \dots \quad \text{Max}(R_{1m}, R_{2m}, \dots, R_{wm})] \quad (3.15)$$

Tahmini değişimleri bulanıklıktan arındırmak için $F(t)$ 'de maksimum değer bulunur. Eğer tek ise karşılık gelen bulanık sayının (u_i) orta noktası (m_i) alınır. Eğer birden fazla ise karşılık gelen bulanık sayıların ($u_1, u_2, \dots, u_k$) orta noktalarının ortalaması alınır: $(m_1 + m_2 + \dots + m_k)/k$. Eğer tüm değerler sıfırsa tahmin de sıfır olacaktır. Son olarak tahmin edilen değere ulaşmak için, o yılın tahmini değişimi ile geçen yılın geçmiş değeri toplanmaktadır.

Hwang ve diğ. (1998), Song ve Chissom'un yöntemini geliştirmiştir fakat tahmin

doğruluğunu etkileyen pencere tabanı, aralık uzunluğu, üyelik dereceleri, dış verinin varlığı faktörleri dikkate alınmamıştır. Ancak zorluk derecesi $O(wn)$ olup, Song ve Chissom ($O(kn^2)$) modelinden daha kolay hesaplanmaktadır. Yapılan testlere göre daha başarılı tahminler elde edilmiştir. Yöntem pencere tabanının seçimine bağlı olduğu için, genetik algoritma kullanarak w hesaplayan bir çalışmaya referans verilmiştir (Day, 1995). Burada tahmin hatasını en küçük yapan w bulunmalıdır.

Singh modeli

Singh (2008), ardışık hesaplamalar yapan, 3.dereceden ve zamana bağlı fark parametresine dayanan bir bulanık zaman serisi yöntemi geliştirmiştir. Veride büyük belirsizlikler, dalgalanmalar varsa ve trend veya periyodikliği açıkça gözlenemiyorsa bulanık zaman serilerinin başarılı olacağını söylemiştir.

Model 3.dereceden olduğu için $F(t+1)$ değeri $F(t-2), F(t-1), F(t)$ değerlerinden etkilenmektedir. $F(t+1) = F(t-1) * R(t, t-1, t-2)$ şeklinde ilişki tanımlanmaktadır fakat burada R değeri n ile $n-1$ ve $n-1$ ile $n-2$ yılları arasındaki farkın fark değeri olup, bulanık ilişki matrisi değildir. Zamana bağlı parametre denklem 3.16'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$D_i = ||E_i - E_{i-1}| - |E_{i-1} - E_{i-2}|| \quad (3.16)$$

Burada E_i, E_{i-1}, E_{i-2} değerleri $n, n-1, n-2$ yıllarına ait gerçek değerleri göstermektedir.

Algoritma ilk olarak evrensel kümenin tanımı ve eşit parçalanması ile başlamaktadır. Ardından bulanık sayılar belirlenir, üçgen bulanık sayı olarak tanımlanır. Bulanık ilişkiler $A_i \rightarrow A_j$ şeklinde 1.dereceden kurulur. Bu aşamalar diğer yöntemlerdeki gibidir. Bundan sonra bulanık ilişkilere göre tahmin kuralları geliştirilmiştir.

- A_i : n yılının bulanıklaştırılmış değeri
- A_j : $n+1$ yılının bulanıklaştırılmış değeri
- E_i : n yılının gerçek değeri
- E_{i-1} : $n-1$ yılının gerçek değeri
- E_{i-2} : $n-2$ yılının gerçek değeri
- F_j : $n+1$ yılının bulanık olmayan tahmin değeri
- $[*A_j]$: u_j bulanık sayısının supremumu ($= 1$)
- $L[*A_j]$: u_j bulanık sayısının alt sınırı

- $U[* A_j]$: u_j bulanık sayısının üst sınırı
- $l[* A_j]$: u_j bulanık sayısının uzunluğu
- $M[* A_j]$: u_j bulanık sayısının orta noktası olmak üzere,

$k = 3, \dots, K$ (verinin sonu) için $k \rightarrow k + 1$ bulanık ilişkileri elde edilir ($A_i \rightarrow A_j$) ve $R = 0$ ve $S = 0$ ile başlayarak aşağıdaki ardışık hesaplamalar her tanımlı k değeri için bir döngü içinde yapılır:

- $D_i = ||E_i - E_{i-1}| - |E_{i-1} - E_{i-2}||$
- $X_i = E_i + D_i/2$
- $XX_i = E_i - D_i/2$
- $Y_i = E_i + D_i$
- $YY_i = E_i - D_i$
- $P_i = E_i + D_i/4$
- $PP_i = E_i - D_i/4$
- $Q_i = E_i + 2 * D_i$
- $QQ_i = E_i - 2 * D_i$
- $G_i = E_i + D_i/6$
- $GG_i = E_i - D_i/6$
- $H_i = E_i + 3 * D_i$
- $HH_i = E_i - 3 * D_i$
- Eğer $X_i \geq L[* A_j]$ ve $X_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + X_i$ ve $S = S + 1$
- Eğer $XX_i \geq L[* A_j]$ ve $XX_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + XX_i$ ve $S = S + 1$
- Eğer $Y_i \geq L[* A_j]$ ve $Y_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + Y_i$ ve $S = S + 1$
- Eğer $YY_i \geq L[* A_j]$ ve $YY_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + YY_i$ ve $S = S + 1$
- Eğer $P_i \geq L[* A_j]$ ve $P_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + P_i$ ve $S = S + 1$
- Eğer $PP_i \geq L[* A_j]$ ve $PP_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + PP_i$ ve $S = S + 1$
- Eğer $Q_i \geq L[* A_j]$ ve $Q_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + Q_i$ ve $S = S + 1$
- Eğer $QQ_i \geq L[* A_j]$ ve $QQ_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + QQ_i$ ve $S = S + 1$
- Eğer $G_i \geq L[* A_j]$ ve $G_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + G_i$ ve $S = S + 1$
- Eğer $GG_i \geq L[* A_j]$ ve $GG_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + GG_i$ ve $S = S + 1$
- Eğer $H_i \geq L[* A_j]$ ve $H_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + H_i$ ve $S = S + 1$
- Eğer $HH_i \geq L[* A_j]$ ve $HH_i \leq U[* A_j]$ ise $R = R + HH_i$ ve $S = S + 1$
- $F_j = (R + M[* A_j])/(S + 1)$ ve bir sonraki k değerine geçilir.

Singh (2008), bu model ile uygulama yaparak tahmin sonuçlarında MSE, yüzde tahmin hatası ve ortalama yüzde tahmin hatası hesaplamış ve diğer bulanık zaman serisi yöntemlerine göre başarısını test etmiştir.

Lee ve Chou modeli

Lee ve Chou (2004), Chen'in yönteminden daha iyi olan bir bulanık zaman serisi modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde evrensel kümenin tanımı farklıdır: $U = [D_L, D_U]$. Burada D_L alt limit ve D_U üst limit, serideki minimum ve maksimum değerlerin güven aralıklarına göre belirlenmektedir.

- $n \leq 30$ olduğunda $D_L = D_{min} - \frac{s * t_\alpha(n)}{\sqrt{n}}$ ve $D_U = D_{maks} + \frac{s * t_\alpha(n)}{\sqrt{n}}$
- $n > 30$ olduğunda $D_L = D_{min} - \frac{\sigma * Z_\alpha}{\sqrt{n}}$ ve $D_U = D_{maks} + \frac{\sigma * Z_\alpha}{\sqrt{n}}$

Burada $t_\alpha(n)$, n serbestlik dereceli t dağılımının $100(1 - \alpha)$ değeridir. z ise standart normal dağılımın $100(1 - \alpha)$ değeridir. Z , $N(0,1)$ dağılımına sahipse $P(Z \geq z_\alpha) = \alpha$ olmaktadır. Bulanık sayılar A_i ($1 \leq i \leq m$) tanımlanırken dikkate alınan aralık uzunlukları (bulanık sayı genişliği: *support*) denklem 3.17'deki gibi belirlenmektedir.

$$supp(A_i) = [D_L + (i - 1) * \frac{D_U - D_L}{m}, D_L + i * \frac{D_U - D_L}{m}] \quad (3.17)$$

Dolayısıyla A_i bulanık sayılarının üyelik dereceleri $\mu_{A_i}(x) = \begin{cases} 1; & x \in supp(A_i) \text{ ise} \\ 0; & \text{diğer durumlar} \end{cases}$ şeklinde belirlenmektedir.

Tüm veri seti bulanıklaştırılırken, $d(t) \in supp(A_i)$ ise $F(t) = A_i$ şeklinde kaydedilir. Daha sonra $F(t - 1) \rightarrow F(t)$ geçiş kuralları tanımlanır. $R = \{r_i | r_i: P_i \rightarrow Q_i\}$ kurallar kümesi oluşturulur. $d(t)$ verisinin tahmini için $T(t) = \{r_j | d(t) \in supp(P_j), r_j \in R\}$ belirlenir ve tahmin değeri 3.18 denklemindeki formülle hesaplanır.

$$Tahmin(d(t)) = \sum_{r_j \in T(t-1)} \frac{\overline{supp(Q_j)}}{|T(t-1)|} \quad (3.18)$$

Burada $\overline{supp(Q_j)}$ genişliğin medyan değeri ve $|T(t - 1)|$ bulunan kural sayısıdır. Bu model okul kayıt verileriyle test edilmiş ve Chen'in modeline göre daha başarılı bulunmuştur.

Huarng modelleri

Huarng (2001a), evrensel kümenin parçalanmasıyla ilgili 2 yöntem geliştirmiş ve aralık uzunluklarını rastsal seçmek yerine bu yöntemlerle seçmenin daha etkin olduğunu söylemiştir. Aralık uzunlukları belirlendikten sonra bulanıklaştırma,

bulanık ilişkiler kurma ve gruplama, tahminlerin üretilmesi Chen'in modeli gibi hesaplanmaktadır.

Bu yöntemlerden ilki dağılım tabanlı (D.T.) aralık algoritmasıdır. Öncelikle ardışık verilerde mutlak farklar alınır. Bu farkların ortalaması hesaplanır. Ortalama değerine göre aralık uzunluklarının tabanı Çizelge 3.1'e göre belirlenir.

Çizelge 3.1 : Taban belirleme tablosu.

Aralık	Taban
0,1 – 1,0	0,1
1,1 – 10	1
11 – 100	10
101 – 1000	100

Ardından taban değeri esas alınarak farkların kümülatif dağılımı oluşturulur. En azından farkların yarı sayısından küçük olan en büyük uzunluk, aralık uzunluğu olarak seçilir. Evrensel küme bu aralık uzunluğu dikkate alınarak parçalanır.

İkinci yöntem ise ortalama tabanlı (O.T.) aralık algoritmasıdır. Ardışık farklar alınır ve ortalama hesaplanır. Ortalamanın yarısı uzunluk olarak hesaplanıp Çizelge 3.1'den denk geldiği aralığa göre taban belirlenir. Tabana göre ortalama hesaplanan uzunluk yuvarlanır ve evrensel kümeyi parçalamak için aralık uzunluğu olarak seçilir.

Örnek olarak 30,50,80,120,100,70 verileri olsun. Ardışık farklar 20,30,40,20,30 olmaktadır. Ortalamaları 28'dir. Dağılım tabanlı algoritmaya göre $taban = 10$ olarak belirlenir. 30'dan büyük 1 değer, 20'den büyük 3 değer bulunmaktadır. En azından yarı sayısından küçük olan en büyük uzunluk 20 olarak belirlenir. Ortalama tabanlı algoritmaya göre ise ortalamanın yarısı $28/2 = 14$ olarak hesaplanır. Bu değere göre $taban = 10$ olarak belirlenir. 14'ün 10 tabanına göre yuvarlanması ile aralık uzunluğu 10 olarak seçilir.

Yu modeli

Yu (2005b) bulanık ilişkileri gruplarken tekrar edenlerin elenmesinin, eksik bilgiye neden olduğunu ve sonuçları kötü etkilediğini söylemiştir. Ayrıca her bulanık ilişkinin eşit ağırlığa sahip olması, gerçeği tam olarak yansıtmamaktadır. Bu nedenle bulanık ilişkilerde yineleme ve ağırlıklandırma göz önüne alınarak Chen'in modeli iyileştirilmiştir.

Aralık uzunluklarını belirlemek için Huarng (2001a)'nın yöntemleri kullanılmıştır. Bulanık sayılar ve ilişkiler oluşturulduktan sonra gruplama yaparken yineleyen değerler de oluş sırasına göre yazılmıştır (örneğin $A_1 \rightarrow A_1, A_2, A_1, A_1$). Ağırlıklandırma için uzman görüşleri veya kronolojik sıra dikkate alınabilmektedir. Burada kronolojik sıraya göre yakın olan değere daha fazla ağırlık atanmıştır. Tahmin sonuçlarında bulanıklık kaldırılırken, aralıkların orta noktaları ile bu ağırlıklar çarpılmıştır. Örneğin $F(t-1) = A_1$ ise $F(t)$ için A_1, A_2, A_1, A_1 bulanık sayıları tahmin olacaktır. Bulanıklığı kaldırmak için orta noktaları $M(t) = [m_1, m_2, m_1, m_1]$ olmaktadır. Ağırlıklar ise denklem 3.19'deki gibi hesaplanır.

$$W(t) = \left[\frac{1}{1+2+3+4}, \frac{2}{1+2+3+4}, \frac{3}{1+2+3+4}, \frac{4}{1+2+3+4} \right] = \left[\frac{1}{10}, \frac{2}{10}, \frac{3}{10}, \frac{4}{10} \right] \quad (3.19)$$

Tahmin hesabı için ise denklem 3.20'deki çarpım gerçekleştirilir.

$$Tahmin(t) = M(t) \times W(t)^T = [m_1, m_2, m_1, m_1] \times \left[\frac{1}{10}, \frac{2}{10}, \frac{3}{10}, \frac{4}{10} \right]^T \quad (3.20)$$

Chen ve Chung modeli

Chen ve Chung (2006a) bulanık zaman serileri ile genetik algoritmayı (GA) birleştirmişlerdir. Bu şekilde evrensel kümenin parçalanması aşamasında en az hatayı veren aralıklar hesaplanmıştır. Öncelikle $U = [D_{min} - D_1, D_{maks} + D_2] = [D_L, D_U]$ şeklinde evrensel küme tanımlanır. Başlangıçta 7 aralık olacağına karar verilmiştir. $u_1 = [D_L, x_1]$, $u_2 = [x_1, x_2]$, $u_3 = [x_2, x_3]$, $u_4 = [x_3, x_4]$, $u_5 = [x_4, x_5]$, $u_6 = [x_5, x_6]$ ve $u_7 = [x_6, D_U]$ aralıkları belirlenmiştir, burada $x_1 < x_2 < \dots < x_6$ olacak şekilde tamsayılardır. Ardından kromozomlar 6 gen ile oluşturulur (Şekil 3.2).

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
-------	-------	-------	-------	-------	-------

Şekil 3.2 : 6 genden oluşan kromozom yapısı.

Başlangıç popülasyonu olarak rastsal 30 kromozom türetilir. Her bir aralık ile $A_1, A_2, \dots, A_7$ bulanık sayıları, bulanık ilişkiler ve bulanık ilişki grupları tanımlanır. Tahmin değerleri hesaplanır.

Daha sonra rastsal olarak 2 kromozom seçilir ve çaprazlama işlemi için (1 – 5) arasından rastsal bir çaprazlama noktası belirlenir. Seçilen 2 kromozomda çaprazlama yapılır, genler artan şekilde sıralanır. Burada çaprazlama oranı 1 olarak seçilmiştir (her zaman çaprazlama olacaktır). Örneğin çaprazlama noktası 1 olarak belirlenmiştir. Bu durumda 1.kromozomun çaprazlama noktasından sonraki kısmı ile 2.kromozomun çaprazlama noktasından sonraki kısmı yer değiştirecektir. Yani

1.kromozomun 1.genden sonraki genleri artık 2.kromozomun genleri olacaktır. 2.kromozomda ise 1.kromozomun genleri olacaktır. Bundan sonra rastsal olarak 1 kromozom seçilir ve mutasyon işlemi için rastsal bir gen belirlenir. Mutasyon oranı 0,05 olarak seçilmiştir. Ayrıca üretilen bir rastsal sayı $\leq 0,05$ ise mutasyon gerçekleşecektir. Örneğin rastsal olarak x_4 geni belirlenmiştir. Bu durumda x_3 ile x_5 arasında rastsal bir değer x_4 yerine atanacaktır.

Yeni kromozomları kullanarak her bir kromozom için tahminler ve MSE hata ölçüleri hesaplanır. Popülasyondan en küçük MSE'lere sahip 20 kromozom belirlenir. Rastsal olarak üretilen 10 kromozom dahil edilir. Çaprazlama, mutasyon ve tahminler 100 jenerasyon için tekrar edilir. Minimum MSE'ye sahip kromozom en iyi sonucu veren olarak seçilir ve o aralık kullanarak hesaplanan tahminler dikkate alınır.

Stevenson ve Porter modeli

Stevenson ve Porter (2009) verilerdeki yüzde değişimlere göre bulanık zaman serisi modeli geliştirmiştir. Yüzde değişimler hesaplandıktan sonra evrensel küme tanımlanmış ve eşit olarak parçalanmıştır. Her aralığın veri sıklığı hesaplanır. En fazla sıklığa sahip aralık 4 eşit alt aralığa, 2.aralık 3 eşit parçaya, 3.aralık 2 eşit parçaya tekrar bölünür, diğer aralıklar aynı kalır. Bu yeni aralıklar ve üçgen bulanık sayılar kullanılarak veriler bulanıklaştırılır. Tahminlerin hesaplanması ve bulanıklığın kaldırılması için denklem 3.21 hesaplanır.

$$t_j = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,5}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}}, j = 1 \text{ ise} \\ \frac{2}{\frac{0,5}{a_{j-1}} + \frac{1}{a_j} + \frac{1}{a_{j+1}}}, 2 \leq j \leq n - 1 \text{ ise} \\ \frac{1,5}{\frac{0,5}{a_{n-1}} + \frac{1}{n}}, j = n \text{ ise} \end{array} \right\} \quad (3.21)$$

Burada a_{j-1}, a_j, a_{j+1} bulanık sayıların orta noktaları, t_j tahmin edilen yüzde değişimdir. Bir önceki yılın gerçek değeri ve tahmini % değişim kullanılarak, tahmin sonuçları hesaplanır. Bu yöntem ile hatalar, diğer yöntemlere göre daha küçük bulunmuştur.

Singh ve Borah modelleri

Singh ve Borah (2013a) bulanık zaman serileri modelinin aşamalarını geliştirmişlerdir. Aralık uzunluklarını belirlemek için ortalama tabanlı ayrıştırma

(MBD), bulanık ilişkilerin şiddetine göre ağırlık atamak için indeks tabanlı ağırlık tekniği (IBWT) ve bulanıklığın kaldırılması için indeks tabanlı bulanıklık kaldırma tekniği (IBDT) uygulamışlardır. MBD yaklaşımında aşağıdaki adımlar izlenmektedir:

- Tüm verilerin ($S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$) ortalaması hesaplanır: $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n$.
- Veri seti iki ayrı kümeye ayrılır: $A = \{x \in S | x \leq \bar{x}\}$ ve $B = \{x \in S | x > \bar{x}\}$.
- A ve B kümelerinin sınırları belirlenir: $U_A = \{A_{min}, \bar{x}\}$ ve $U_B = \{\bar{x}, B_{maks}\}$.
- A ve B kümeleri için faktörler hesaplanır: $F_A = \sum_{i=2}^{n_A} (x_i - x_{i-1}), x_i \in A, n_A = |A|$ ve $F_B = \sum_{i=2}^{n_B} (x_i - x_{i-1}), x_i \in B, n_B = |B|$.
- Karar verme faktörleri hesaplanır, üste yuvarlanır: $DF_A = F_A / n_A$ ve $DF_B = F_B / n_B$.
- U_A ve U_B sınırları farklı aralık uzunluklarına parçalanır:
- $u_i = [L(i), U(i)] \quad i = 1, 2, \dots; 1 \leq U(i) < \bar{x}; u_i \in U_A$

$$L(i) = A_{min} + (i - 1) * DF_A, \quad U(i) = A_{min} + i * DF_A$$

- $v_i = [M(i), V(i)] \quad i = 1, 2, \dots; 1 \leq V(i) < B_{maks}; v_i \in U_B$

$$M(i) = \bar{x} + (i - 1) * DF_B, \quad V(i) = \bar{x} + i * DF_B$$

- Veriler ait oldukları aralıklara ayrıştırılır.

Geliştirilen bulanık zaman serisi modelinde MBD yaklaşımıyla farklı uzunlukta aralıklar belirlendikten sonra, her aralık için bulanık sayılar ve dilsel ifadeler tanımlanır. Buna göre tüm veri bulanıklaştırılır. Bulanık ilişkiler oluşturulur ve gruplama aşamasında tekrar eden ilişkiler farklı ağırlandırılarak yok sayılmaz. Bu aşamada IBWT yaklaşımına göre ilişkinin sağ tarafındaki bulanık sayısının indisi ağırlık olarak varsayılır. Örneğin $B_i \rightarrow B_i, B_i \rightarrow B_j, B_i \rightarrow B_k, B_i \rightarrow B_l$ ilişkileri söz konusu olduğunda ağırlıklar sırasıyla i, j, k, l olur. Ardından tahminleri üretmek üzere bulanıklık kaldırma tekniği uygulanır. IBDT yaklaşımına göre 2 prensip belirlenmiştir.

1. Bulanık ilişki grubunda birden fazla değer varsa uygulanır: $A_i \rightarrow A_k, A_s, \dots, A_n$. $A_k, A_s, \dots, A_n$ bulanık sayılarının maksimum üyelik derecelerinin olduğu aralıklar belirlenir. Bu aralıkların orta noktaları $c_k, c_s, \dots, c_n$ ile gösterilir. $A_k, A_s, \dots, A_n$ bulanık sayılarına atanan ağırlıklar da $w_k, w_s, \dots, w_n$ ile gösterilir. Tahminler 3.22 formülüyle hesaplanır.

$$Tahmin(t) = c_k * \frac{w_k}{w_k + w_s + \dots + w_n} + c_s * \frac{w_s}{w_k + w_s + \dots + w_n} + \dots + c_n * \frac{w_n}{w_k + w_s + \dots + w_n} \quad (3.22)$$

2. Bulanık ilişki grubunda tek bir değer varsa uygulanır: $A_i \rightarrow A_j$. Burada A_j bulanık sayısının maksimum üyelik derecesinin olduğu aralık belirlenir, orta noktası c_j ile gösterilir. $Tahmin(t)$ doğrudan c_j değerine eşit olacaktır.

Singh ve Borah (2013b) çalışmasında ise aralıkların hesaplanması için MBD yaklaşımına benzeyen RPD (tekrar parçalama ile ayrıştırma) yaklaşımını geliştirmiştir. Tekrar parçalamaya dayanan ayrıştırma tekniği aşağıdaki adımları izlemektedir:

- $S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ veri setinin veri aralığı belirlenir: $R = maks - min$
- Veri aralığı eşit M sınıfa ayrılır: $M = \lceil 1 + \log_2^n \rceil$
- Aralık genişliği hesaplanır: $H = R/M$
- Evrensel küme tanımlanır: $U = [L_b, U_b]$. Burada $L_b = min - H$ ve $U_b = max + H$ olmaktadır.
- Evrensel kümenin orta noktası belirlenir: $U_m = (L_b + U_b)/2$
- S 'nin A ve B olmak üzere alt kümeleri bulunur: $A = \{x \in S | x \leq U_m\}$ ve $B = \{x \in S | x > U_m\}$.
- A ve B 'nin sınırları belirlenir: $U_A = \{A_{min}, A_{maks}\}$ ve $U_B = \{B_{min}, B_{maks}\}$.
- Karar verme faktörleri hesaplanır: $DF_A = (A_{maks} - A_{min})/n_A$ ve $DF_B = (B_{maks} - B_{min})/n_B$.
- U_A ve U_B sınırları farklı aralık uzunluklarına parçalanır. Sonraki işlemler Singh ve Borah (2013a) modeli gibidir.

Yolcu ve diğ. modeli

Yolcu ve diğ. (2009), Huarng ve Yu (2006a) modelinde oran tabanlı aralık uzunlukları belirlerken seçilen *oran* için tek değişkenli kısıtlı optimizasyon önermişlerdir. Bu sayede göreceli farklar, kümülatif dağılım hesaplama ihtiyacı olmayacaktır ve daha basit, anlaşılır bir şekilde *oran* seçilebilecektir. Optimizasyon modeli;

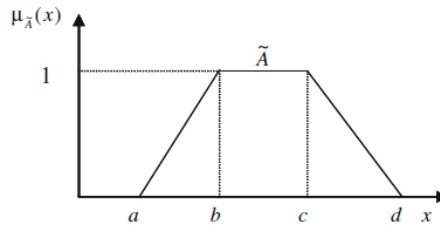
$$\begin{aligned} &\min RMSE(oran) \\ &st. oran \in (0, 0.2] \end{aligned}$$

şeklinde kurulur ve en küçük hatayı veren *oran* bulunur. RMSE hesaplarırken her bir *oran* denemesi için Huarng ve Yu (2006a) modelindeki gibi tahminler elde edilir ve hataları belirlenir. Yolcu ve diğ. (2009) bu hesaplamayı MATLAB programında “*fminbnd*” fonksiyonunu kullanarak gerçekleştirmiştir. Altın kesit arama yöntemine dayanan bu fonksiyon, *oran*’ın da sınırlandırılmış olması nedeniyle kontrollü bir şekilde optimal bulmaktadır. Sonuçlara göre bu yöntemle tahminlerin doğruluğunun geliştiği görülmektedir.

Liu modeli

Diğer modellerde üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır. Fakat Liu (2007) farklı olarak yamuk bulanık sayılarla tahmin yöntemi geliştirmiştir. Böylece tek nokta tahmini yerine yamuk sayı tahmini yapılır ve tahmin doğruluğu artabilir. Yamuk bulanık sayı $\tilde{A} = (a, b, c, d)$ şeklinde gösterilir ve üyelik fonksiyonu denklem 3.23 ve Şekil 3.3’teki gibi ifade edilir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (3.23)$$



Şekil 3.3 : Yamuk bulanık sayı.

Geliştirilen yöntemde evrensel küme $U = [D_{min} - D_1, D_{maks} + D_2]$ belirlenir ve Huarng (2001a) modelinde yer alan ortalama tabanlı aralık uzunlukları kullanılır. Belirlenen aralık uzunluğu l ile gösterilir. Aralık sayısı $m = (D_{maks} + D_2 - D_{min} + D_1)/l$ şeklinde hesaplanabilir. Bu aralıklara göre yamuk bulanık sayılar $\tilde{A}_m = (d_{m-1}, d_m, d_{m+1}, d_{m+2})$ tanımlanır ve tüm veri bulanıklaştırılır. Bulanık ilişkiler kurulur, aynı sol tarafa sahip ilişkiler gruplanır. Tahmin çıktılarını üretmek için aşağıdaki 3 sezgisel kural uygulanır.

- Kural 1: $\tilde{A}_j \rightarrow \emptyset$ ise $tahmin(t) = \tilde{A}_j = (d_{j-1}, d_j, d_{j+1}, d_{j+2})$
- Kural 2: $\tilde{A}_j \rightarrow \tilde{A}_k$ ise $tahmin(t) = \tilde{A}_k = (d_{k-1}, d_k, d_{k+1}, d_{k+2})$

- Kural 3: $\tilde{A}_j \rightarrow \tilde{A}_{k1}, \dots, \tilde{A}_j \rightarrow \tilde{A}_{kp}$ ise $tahmin(t) = \frac{\tilde{A}_{k1} + \dots + \tilde{A}_{kp}}{p}$
 $= \left(\frac{d_{k1-1} + \dots + d_{kp-1}}{p}, \frac{d_{k1} + \dots + d_{kp}}{p}, \frac{d_{k1+1} + \dots + d_{kp+1}}{p}, \frac{d_{k1+2} + \dots + d_{kp+2}}{p} \right)$

Tahminlerde bulanıklığı kaldırmak için α -kesiti kullanılır ve tek bir değer yerine tahmin aralığı $[F_L, F_R]$ elde edilir. Alternatif olarak kitle merkezi yöntemiyle de bulanık kaldırılabilir. Denklem 3.24'teki gibi hesaplama yapılır.

$$x^* = \frac{\int x \cdot \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{\int \mu_{\tilde{A}}(x) dx} \quad (3.24)$$

Bu yöntemle uygulama sonucunda tahmin hataları test edilmiş ve yöntemin başarısı gösterilmiştir.

3.2.1 Diğer bulanık zaman serisi modelleri

a) Aralık uzunluğunu belirleyen modeller

Li ve Chen (2004), doğal parçalama ile hiyerarşik (3 – 4 – 5) kuralını uygulayarak aralık uzunluğunu belirlemişlerdir. Buna göre evrensel küme tanımı $U = [E_{min} - e_1, E_{maks} + e_2]$ şeklinde belirlendikten sonra üst sınırla alt sınırın farkı, en soldaki basamak ile bölünmektedir. Bulunan değerle, Çizelge 3.2'de karşılık gelen aralık sayısı belirlenir. Birinci seviye aralıklar bu şekilde hesaplanır. Ardından her bir aralık ikinci seviye aralıklara tekrar parçalanır. Bu aşamalarda elemanı bulunmayan aralıklar elenir. Daha sonra Chen'in modeli gibi bulanık sayılar tanımlanır, bulanık ilişkiler oluşturulur ve gruplanır, tahminler üretilir.

Çizelge 3.2 : (3 – 4 – 5) kuralında aralık sayısı belirleme tablosu.

Değer	Aralık sayısı
3,6,9	3 eşit aralık
7	3 aralık: 2 – 3 – 2 gruplaması ile
2,4,8	4 eşit aralık
1,5,10	5 eşit aralık

Chen ve Hsu (2004) ise evrensel kümeyi eşit aralıklara parçaladıktan sonra her aralıktaki veri sayısına göre dağılım elde etmiştir. İçerdiği veri sayısına (sıklığına) göre aralıkları büyükten küçüğe sıralamıştır. Ardından aralıklarda tekrar parçalama yapılır: en fazla sayıda veri içeren 1.aralığı 4 eşit alt aralığa, 2.aralığı 3 eşit alt aralığa, 3.aralığı 2 eşit alt aralığa bölünür, geri kalanı aynen bırakılır. Veri içermeyen aralıklar elenir. Bu aşamadan sonra bulanık sayılar tanımlanır ve tüm veri

bulanıklaştırılır. 1.dereceden bulanık ilişkiler kurulur. Daha sonra ardışık farklara göre trendin artış veya düşüş olduğu belirlenerek çeşitli sezgisel kurallara göre tahmin değerleri hesaplanır.

Huarng ve Yu (2006a), aralık uzunluklarını oran tabanlı olarak belirlemiştir. Eşit alınan aralıkların verideki değişimi yeterince iyi yansıtmadığını söylemişlerdir. Bu nedenle mutlak farkların oranları kullanılarak aralık uzunlukları hesaplanmıştır. Geliştirilen yöntemde öncelikle ardışık verilerde farkların mutlak değerleri alınır ve tüm t için göreceli farklar hesaplanır: $r_t = |x_t - x_{t-1}|/x_{t-1}$. Göreceli farkların minimum değerine göre taban belirlenir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 : Göreceli farklara göre taban belirleme tablosu.

$Min(r_1, r_2, \dots, r_{n-1})$	Taban
$Min \leq \%0,05$	$\%0,01$
$\%0,05 < Min \leq \%0,5$	$\%0,1$
$\%0,5 < Min \leq \%5$	$\%1$
$\%5 < Min \leq \%50$	$\%10$
...	...

Taban baz alınarak tüm r_t değerlerinin kümülatif dağılımı oluşturulur. Oran yüzde değeri seçilir. Bu değer tüm r_t değerlerinin en az yarısından büyük bir oran olmalıdır. Burada genellikle veri sıklığının $\%50$ 'sine en yakın büyük değer *oran* olarak alınır. Ardından aralıkları belirlemek için minimum gözlem değeri belirlenir ve $a.b * 10^z$ formunda yazılır. $b' = b - 1$, $başlangıç = a.b' * 10^z$ ve $üst_0 = başlangıç$ şeklinde hesaplanır ve aşağıdaki işlemler tüm aralıklar belirleninceye kadar devam eder. Buna göre $j \geq 1$ için;

- $alt_j = üst_{j-1}$
- $üst_j = (1 + oran)^j * üst_0$
- $aralık_j = [alt_j, üst_j]$

Yu (2005a), Chen'in modelinde düzeltme yapan bir yöntem geliştirmiştir. Aralık uzunluklarını belirlemek için bulanık ilişkilerin oluşturulması aşamasını seçmiştir. İlk başta belirlenen aralık uzunluklarının bulanık ilişkileri ve tahminleri etkilediği söylenmiştir. Geliştirilen yöntemde göre öncelikle evrensel küme eşit aralıklara parçalanır ve bulanık sayılar (A_i) tanımlanır. Ardından düzeltme kısmı için yeni eşit aralıklar belirlenip, tekrardan bulanık sayılar (E_i) tanımlanır. 1.dereceden bulanık ilişkiler ilk bulanık sayılara göre oluşturulur ($A_i \rightarrow A_j$). Her bulanık ilişki için

düzeltilme değerleri hesaplanır: $düzeltilme = gerçek\ değer - A_j$. Hesaplanan düzeltilme bulanıklaştırılır ve bulanık ilişkiler $A_i \rightarrow A_j + E_k$ şeklinde oluşturulur. Daha sonra aynı sol taraflara göre gruplama yapılır (tekrar eden ilişkiler yoksayılır) ve tahminler hesaplanır.

Cheng ve diğ. (2006a), entropi tabanlı yaklaşımla evrensel kümeyi parçalayan ve yamuk sayılara göre üyelik fonksiyonları oluşturan bir bulanık zaman serisi modeli geliştirmiştir. Önceki çalışmaların evrensel küme tanımının objektif olmaması, aralık uzunluklarının belirlenmesinde ikna edici bir yöntemin bulunmaması ve hep üçgen bulanık sayılarla işlem yapılması nedenleriyle yetersiz kalmaları eleştirilmiştir. Geliştirdikleri MEPA (entropi minimize eden prensip yaklaşımı) ile verinin dağılımına uygun bir parçalama yapılmış, verinin özelliğini ortaya çıkaran evrensel küme objektif bir şekilde ayrıştırılabilmektedir. Entropi bir olasılık dağılımında belirsizliği ölçmektedir ve entropi minimizasyonu ile eşik çizgileri belirlenmektedir. Buna göre aralık parçalama yapılmıştır. Geliştirdikleri ikinci yaklaşım olan TFA (yamuk bulanıklaştırma yaklaşımı) ile $U = [D_{min} - \sigma, D_{maks} + \sigma]$ (σ : standart sapma) şeklinde tanımlanan evrensel küme eşit parçalara ayrılmıştır. Burada $R = UB - LB, UB = D_{maks} + \sigma, LB = D_{min} - \sigma$ ve $S = R/(2n + 1)$ ile yamuk bulanık sayının genişliği hesaplanmıştır (n dilsel ifade sayısıdır). Ardından Chen'in modeline benzer bir şekilde yamuk sayılarla tahminler üretilmiştir. TFA uzman kişiler için sübjektif olan bir yöntem olmasına rağmen, verinin yapısı hakkında bilgisi olmayan kişiler MEPA ile tahmin hesaplayabilir. İki yaklaşımın birleştirilmesi de mümkündür.

Yeh (2004) ise Cheng ve diğ. (2006a)'nın bahsettiği TFA ve MEPA yöntemlerinin yanı sıra CPDA (kümülatif olasılık dağılım yaklaşımı) ile verinin normal dağılıma uyup uymadığının testini gerçekleştirmiştir. $U = [D_{min} - \sigma, D_{maks} + \sigma]$ belirlendikten sonra aralık uzunluklarını hesaplamak için aşağıdaki kümülatif alt ve üst sınırlar kullanılmış ve normal dağılımın ters fonksiyonu yardımıyla aralıklar belirlenmiştir. n dilsel ifade sayısı olmak üzere;

- $p_{LB} = (2i - 3)/2n \quad (2 \leq i \leq n)$
- $p_{UB} = i/n \quad (1 \leq i \leq n)$

Wang ve Chen (2009) iki faktörlü yüksek dereceden modelde, farklı aralık uzunlukları hesaplamak için otomatik kümeleme tekniği uygulamıştır. Tüm veri

büyükten küçüğe sıralanıp ardışık farklar alınmıştır. Ortalama fark hesaplanarak kümelere ayırıştırma başlatılmıştır. Hem ortalama fark hem de küme içindeki ortalama fark dikkate alınarak veriler kümelenmiştir. Sürekli güncelleme ve tekrar kontroller sonucu nihai aralıklar oluşturulmuştur.

Cheng ve diğ. (2008b) ise çok-kriterli olarak kümeleme yapabilen ve daha objektif olan bulanık kümeleme tekniğini uygulamıştır. Bulanık c -ortalama (FCM) verilerde benzerlik ölçüsüne (uzaklıklarına) göre uygun bir kümeleme yapmaktadır. Kümeler oluşturulduktan sonra merkezleri sıralanır ve eşit uzunlukta olmayan bu aralıklara göre veriler bulanıklaştırılır.

Uçal Sarı (2012) ise aralık uzunluklarını belirlemek için uzman görüşlerini kullanmıştır. Farklı uzmanlar tarafından aralıkların alt ve üst sınırları belirlenir. Böylece tahmin aralığı için tek uzman görüşü yerine birçok uzman görüşü (z adet) birleştirilebilmektedir. Daha sonra belirlenen aralıkların alt ve üst sınırları denklem 3.25'teki gibi hesaplanır.

$$u_{ix} = [enk_{x=1,2,...,z} L[* A_{ix}]; enb_{x=1,2,...,z} U[* A_{ix}]] \quad (3.25)$$

b) Yüksek dereceden veya çok faktörlü modeller

Literatürdeki bazı çalışmalar 1.dereceden modelleri iyileştirmek için 2.dereceden veya daha yüksek dereceden modeller geliştirmiştir. Tsai ve Wu (1999), 2.dereceden modeli geliştirerek nüfus verileriyle tahmin başarısını göstermiştir.

Ayrıca tek faktör yerine çok faktörlü modeller de geliştirilmiştir. Jilani ve Burney (2007 ve 2008b) modelinde m -faktörlü yüksek dereceden bulanık zaman serisi uygulamıştır. Faktör sayısı arttıkça tahmin doğruluğunun da arttığı söylenmiştir. Ancak işlem süresi uzayacağı için modelin zorluğu da artacaktır. Modelde bir ana faktör ve birçok ikincil faktör ele alınarak araba kazaları verileriyle uygulama yapılmıştır. Lee ve diğ. (2006) ise 2 faktörlü yüksek dereceden modelini sıcaklık tahminine uygulamıştır. Chen ve Hwang (2000) ise 2 faktörlü zamana bağlı model ile sıcaklık tahmini yapmışlardır. Burada günlük ortalama sıcaklık ile günlük bulut yoğunluğu faktörleri dikkate alınmış, tahmin üretmek için 2 farklı algoritma geliştirilmiştir. Yöntemin zorluk derecesi $O(cwm)$ olarak belirtilmiştir (c : parçalı grup sayısı, w : pencere tabanı, m : evrensel kümedeki eleman sayısıdır).

Song (2003) ise modelin derecesini seçmek için bir kural olmadığından bahsetmiş ve

genellikle 1.derecenin basit olması ve iyi sonuçlar üretmesi nedeniyle uygulandığını söylemiştir. Çalışmasında klasik zaman serilerinde kullanılan otokorelasyon fonksiyonunu bulanık zaman serilerine uyarlamak için 3 yöntem önermiştir. Bu sayede en iyi derecenin belirlenebileceğini ve daha başarılı sonuçlar elde edileceğini dile getirmiştir. ACF hesabı için 1.yöntemde, tüm değerlerin bulanıklığı kaldırılır, klasik ACF hesabı yapılır ve eğer değer düşükse modelin uygun olmadığına karar verilir. 2.yöntemde ortalama ACF için α -kesiti uygulanır. 3.yöntemde ise rastsal bir nokta seçilir ve olası tüm değerler için ACF hesaplanarak ortalaması alınır.

c) Ağırlıklandırılan modeller

Cheng ve diğ. (2006b) bulanık ilişki grupları oluşturulduktan sonra trend ağırlıklandırma yapmış, tahmin hesaplama aşamasında bu ağırlıkları göz önünde bulundurmıştır. Aynı olan bulanık ilişkiler elenmemiş, oluşum sırasına göre artan bir sırada bir ağırlık atanmıştır (yakın olanların ağırlığı fazla olacaktır). Trendin artış, düşüş veya sabit olup olmamasına göre ağırlıklandırma yapılmış, uzman görüşü veya kronolojik sıra kullanılmamıştır. Ayrıca modelde evrensel küme eşit aralıklara parçalanmış fakat bir aralıkta veri sayısı toplam sayının yarısından büyükse o aralık tekrar yarıya parçalanmıştır. Çok fazla dilsel ifade oluşturmaktan kaçınılmıştır. Tahminler geçmiş değerlere göre ağırlıklarla çarpılarak hesaplandıktan sonra, bir α güven seviyesi belirlenerek tahminler iyileştirilmiştir. α değeri (0,1] aralığında seçilmektedir ve çalışmada 0,9 alınmıştır. Tahminler denklem 3.26 ile düzeltilmiştir. Bu yöntem Song & Chissom, Sullivan & Woodall ve Chen gibi çalışmalarla kıyaslandığında, en düşük hata ölçüsüne sahip olan başarılı bir yöntem olarak bulunmuştur.

$$\begin{aligned} \text{düzeltilen tahmin}(t) &= \text{gerçek değer}(t - 1) \\ &+ \alpha * [\text{tahmin}(t) - \text{gerçek değer}(t - 1)] \end{aligned} \quad (3.26)$$

Teoh ve diğ. (2007), bulanık ilişkilerde aynı olanları elememiş ve sayısına göre ağırlık atamıştır. İlişki sıklığı ile bir ağırlık matrisi oluşturulmuştur. Benzer şekilde ağırlıklar standartlaştırılmış, geçmiş değerlere bağlı yapılan tahminler bu ağırlıklarla çarpılarak ve bulanıklık kaldırılarak son tahmin sonuçları bulunmuştur. Ancak bu çalışmada Fibonacci tahmin denklemi uygulanarak düzeltme yapılmıştır. (α, β) gibi iki düzeltme parametresi kullanılarak denklem 3.27 yardımıyla tahmin hataları mümkün olduğunca azaltılmaya çalışılmıştır.

$$Fibonacci\ ile\ düzeltilen\ tahmin(t + 1) = ger\ccek(t) + \alpha * (tahmin(t) - ger\ccek(t)) + \beta * (tahmin(t - 1) - ger\ccek(t - 1)) \quad (3.27)$$

d) Sezgisel modeller

Literatürdeki bulanık zaman serisi tahmin modelleri, tahmin sonuçlarının iyileştirilmesi amacıyla çeşitli sezgisel yöntemlerle birleştirilmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır: diferansiyel evrim algoritması ve kronolojik belirlenen ağırlıklar (Uslu ve diğ, 2013), PSO (parçacık sürü optimizasyonu) (Aladağ ve diğ, 2012; Mahnam ve Fatemi Ghomi, 2012), GA (genetik algoritma) (Cai ve diğ, 2013; Baş, 2011; Chen ve Chung, 2006a; Chen ve Chung, 2006b; Lee ve diğ, 2007), benzetimli tavlama (Radmehr ve Gharneh, 2012) ve genetik benzetimli tavlama (Lee ve diğ, 2008).

Huarng ve Yu (2006b), yapay sinir ağlarının lineer olmayan yapılarda başarılı olması ve bulanık zaman serilerinin de lineer olmayan yapılarla işlem yapması nedeniyle iki yöntemi birleştirmiştir. Bu çalışmada evrensel küme eşit aralıklara parçalanıp, tüm veri bulanık sayılarla ifade edildikten sonra bulanık ilişkilerin kurulması aşamasında geri beslemeli sinir ağları uygulanmıştır.

Huarng (2001b), Chen'in modeline probleme özgü sezgisel bilgi ve kurallar ilave ederek daha uygun bulanıklaştırmaya olanak sağlamıştır. Geliştirilen yöntemde bulanık ilişkiler kurulduktan sonra, sezgisel olarak gruplama yapılmış ve tahminler bu gruplara göre hesaplanmıştır. Own ve Yu (2005) ise Chen'in yüksek dereceden modelinin veri depolamak için büyük hafıza gerektirmesini eleştirerek, verideki değişimlere bağlı olarak sezgisel kurallara dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir.

Bulanık zaman serileri ayrıca sezgici (intuitionistic) bulanık küme tanımıyla geliştirilmiştir. Atanassov (1986) sezgici bulanık kümeleri tanımlarken üyelik derecesinin yanı sıra üyelik olmama derecesini de eklemiştir. Joshi ve Kumar (2011) sezgici bulanık kümeler kullanarak piyasa fiyatı hareketini tahmin edecek sayısal bir model geliştirmiştir. Bu çalışmada üçgen bulanık sayılar sezgici bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Ardından bulanık ilişkiler oluşturulup önce bulanık sonuç, sonra bulanıklığı kaldırılmış kesin sonuç elde edilmiştir.

Bulanık zaman serileri sinir ağları ile birleştirilerek hibrid yöntem olarak da geliştirilmiştir. ANFIS (Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi) olarak adlandırılan bu yöntem, uyarlamalı çok-katmanlı geri-beslemeli ağlardan oluşur ve

doğrusal olmayan tahminlerde kullanılır. ANFIS bulanık mantığın “ise ... o zaman” kurallarını YSA ile birleştirmektedir. Girdi-çıkı veri seti (eğitim verisi) için bulanık kurallar üretir. Takagi ve Sugeno modeline göre tipik bir bulanık kural şöyledir: eğer x eşit A_i ve y eşit B_i ise üyelik fonksiyonu $z = f(x, y)$ 'dir. Burada A_i ve B_i bulanık kümeler, $z = f(x, y)$ polinom şekildedir. Amaç, girdi-çıkı veri çiftlerini kullanıp öğrenme prosedürü uygulamak ve parametreleri optimize etmektir (Chaabene ve Ammar, 2008).

Bulanık zaman serileriyle birlikte kullanılan kaba kümeler ise ilk olarak 1982'de Pawlak tarafından ortaya atılmıştır. Bir kümedeki nesneler arasındaki ayrışamama özelliğini ele alan yöntem, karar destek sistemlerinde, hibrid veri ve belirsiz kavramlar olduğunda oldukça faydalı olmuştur. Çeşitli çalışmalarda (Cheng ve diğ., 2007a; 2007b) bulanık zaman serileri ile kaba kümeler teorisi birleştirilerek tahmin yöntemi geliştirilmiştir.

e) Mevsimsel modeller

Bulanık zaman serilerinde mevsimselliği modellemek için Chang (1997) bulanık regresyon ve bulanık trend kullanmıştır. Song (1999) her mevsim için ayrı modelleme yaparak bulanık zaman serisi yöntemini uygulamıştır. Burada $\hat{F}_k(t + m) = F_k(t) \circ R_k(t + m)$ ($1 \leq k \leq m$) bulanık ilişkisi her mevsim için kurulmuş ve bu şekilde tahminler hesaplanmıştır. m mevsimsel dönemi ifade etmektedir, $\circ$ işlemi ise min-maks operatörüdür. Tseng ve diğ. (1999) ise SARIMA ile bulanık regresyon modelini birleştirerek bulanık mevsimsel zaman serileri ile tahmin modeli geliştirmiştir.

Liu (2009) ise bulanık zaman serisi modeliyle tahmin hesaplamalarından önce verideki mevsimsellik yapısını ayırtmıştır. Hareketli ortalamaya oran yöntemiyle mevsimsel indeksler belirlenerek, verinin mevsimsellikten arındırılması sağlanmıştır. Burada mevsimsel dönem k varsayılarak k -dönemlik hareketli ortalama hesaplanır. Eğer k çift sayıysa ikinci defa hareketli ortalama alınarak merkezi hareketli ortalamalar hesaplanır. Gerçek değerler ilgili hareketli ortalamalarına bölünür. Her dönem için oranların medyanı hesaplanır. k tane medyanın ortalaması 1 olacak şekilde her periyodun medyanı standartlaştırılır ve mevsimsel indeksler bulunur. Gerçek değerler mevsimsel indekslerine bölünerek mevsimsellikten arındırılan değerler elde edilir. Liu ve Wei (2010) benzer şekilde mevsimsel indeksler

yardımla veriyi mevsimsellikten arındırmış, bulanık zaman serisi modelini bu veriye uygulamıştır.

Liu (2009) ayrıca trend söz konusu olduğunda da verileri trendden arındırmak için hipotez testi uygulamıştır. Bu hipotez testinde H_0 veride bulanık artan (azalan) trendin olmadığını, H_1 alternatif hipotezi ise veride bulanık artan (azalan) trendin olduğunu öne sürmektedir. Verideki ardışık değişimler dikkate alınarak test istatistiği hesaplanmış ve trendin varlığına karar verildiyse verilerin farkları alınarak trendden arındırma sağlanmıştır. Daha sonra yamuk bulanık sayılar kullanılarak ve bulanık ilişkiler buna göre oluşturularak tahminler üretilmiştir. Ancak son tahminleri bulabilmek için mevsimsellikten arındırıldıysa mevsimsel indekslerle çarpım, trendden arındırıldıysa (farklara göre işlem yapıldıysa) geçmiş değerlerle toplamı gerçekleştirilir. Eğer hem mevsimsellikten hem trendden arındırma yapıldıysa da iki işlem birlikte gerçekleştirilir.

Suhartono ve Lee (2011) ise trendli ve mevsimsel veri için hibrid bulanık zaman serisi modeli geliştirmiştir. Winters'ın modeli ile ağırlıklı bulanık zaman serisi modeli birleştirilmiş, lineer ve lineer olmayan zaman serisi bileşenleri ($Y_t = L_t + NL_t$) için hibrid yöntemi uygulayarak daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Öncelikle lineer bileşen (L_t) için Winters'ın modeli uygulanmış, böylece trendli ve mevsimsel özellikler ele alınmıştır. Daha sonra kalıntılar durağan ve lineer olmayan yapıda (NL_t) olacağı için ağırlıklı bulanık zaman serisi modelleri uygulanmıştır. En iyi modele karar verildikten sonra, iki modelin tahminleri birleştirilerek sonuçlar hesaplanmıştır.

3.3 Literatürdeki Bulanık Zaman Serisi Uygulamaları

Bulanık zaman serileri çeşitli alanlarda tahmin modeli olarak başarıyla kullanılmıştır. Bu alanlar şu şekilde sayılabilir: ekonomi-borsa (İMKB, TAİEX, TAİFEX gibi borsa indeksleri, hisse senedi fiyatları), eğitim (üniversite okul kayıtları), üretim, iklim (sıcaklık, hava durumu), tarım (ekin üretimi), taşımacılık (ihracat), trafik (araba kazaları), turizm (turist sayısı), nüfus, deprem, elektrik yükü, patent sayısı vs.

Bazı çalışmalarda ise bulanık zaman serisi yöntemlerinin aşamaları geliştirilmiştir. Tanım aralığının doğru parçalanması, aralık uzunluklarının belirlenmesi, bulanık

ilişkilerin ele alınması ve bulanıklığın kaldırılması için farklı yöntemler uygulanmıştır.

3.3.1 Ekonomi alanında uygulamalar

Uslu ve diğ. (2012) yüksek dereceden bulanık zaman serisi ile Türkiye tüketici fiyat indeksinin aylık tahmin modeli geliştirmiştir. Bu çalışmada Chen (2002) modeli ile Aladağ ve diğ. (2009) modeli birleştirilerek çözümleme ve bulanık ilişki belirlemede ileri beslemeli YSA kullanılmıştır. Aladağ ve diğ. (2010a) ise benzer olarak yüksek dereceden bulanık zaman serisi modelini İMKB verilerine uygulamıştır. Huarng ve Yu (2006b) Taiwan borsa indeksi (TAIEX) tahmini için bulanık zaman serileri tahmin modeli geliştirmiş ve doğrusal olmayan yapı nedeniyle geri beslemeli YSA kullanmıştır. Chen ve Chen (2011) çalışmasında TAIEX tahmini için yüksek dereceden bulanık zaman serileri modeli geliştirmiştir. Modelde tahmin, bulanık ilişkilerin oluşturduğu gruplar kullanılarak yapılmıştır. Huarng (2001a) ortalama veya dağılım, Huarng ve Yu (2006a) ise oran tabanlı aralık genişliği hesaplarken, önerilen modelde maksimum ve minimum değer arasında eşit aralıklar oluşturulmuştur. Literatürde yer alan ekonomi alanındaki bulanık zaman serisi (BZS) çalışmalarının bir kısmı Çizelge 3.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 3.4 : Ekonomi alanında BZS çalışmaları.

Kullanılan model	Referanslar	Geliştirmeler / Tahmin edilen veriler
Yüksek dereceden BZS	(Chen ve diğ, 2008) (Chen ve Chen, 2011) (Uslu ve diğ, 2012), (Aladağ ve diğ, 2010a), (Inceoğlu, 2010) (Teoh ve diğ, 2009) (Chen ve Chen, 2011)	Çok dönemli uyarlama modeli / TAIEX, HSI borsa indeksleri Bulanık ilişki grupları ve maksimum-minimum değer arasında eşit aralıklar / TAIEX Bulanık ilişki belirlemede ileri beslemeli YSA / TÜFE, IMKB, enflasyon Kaba kümeler ile bulanık ilişkiler, uyarlamalı beklenti yaklaşımı ile tahmin / TAIEX, NASDAQ Bitişik bulanık kümelerdeki alt indeks değerleri ve bulanık ilişki grupları / TAIEX, okul kayıt, envanter talebi
İki faktörlü yüksek dereceden BZS	(Wang ve Chen, 2009) (Lee ve diğ, 2006)	Otomatik kümeleme ile farklı aralık belirleme / TAIEX, sıcaklık Wang-Mendel bulanık kural üretme yöntemiyle karşılaştırma / TAIEX, sıcaklık
Bulanık zaman serisi + Yapay sinir ağları	(Chen, 2014) (Yolcu, 2008) (Huang ve Yu, 2006b) (Singh ve Borah, 2013b)	Dilsel aralıkları tanımlayan entropi-tabanlı parçalama yöntemi / Hisse bedeli (Tayvan), okul kayıt İlişkilerin belirlenmesi aşamasında ileri beslemeli YSA modeli / TÜFE, okul kayıt Doğrusal olmayan yapı nedeniyle geri beslemeli YSA / TAIEX Aralık uzunluklarının belirlenmesinde tekrar parçalama tabanlı kesikleştirme (RPD) yöntemi / Menkul kıymetler borsası fiyatları
ANFIS	(Li ve diğ, 2013a)	Karmaşık bulanık kümeler kullanan ve kendi kendini organize eden sinirsel-bulanık akıllı bir yaklaşım / TSMC ve IBM hisse bedeli, USD-TWD döviz oranı, güneş lekesi
BZS + Markov zinciri	(Tsaur, 2012)	Bulanık gruplarla Markov zinciri geçiş matrisi kullanımı / Döviz oranı
Kaba kümelere dayanan BZS	(Cheng ve diğ, 2007a) (Cheng ve diğ, 2007b) (Yu, 2005a) (Huang, 2001a) (Wang ve diğ, 2013) (Huang ve Yu, 2004) (Huang ve Yu, 2006a) (Hosseini ve diğ, 2011) (Shah, 2012)	Bulanık ilişkiler için kaba kümeler ve uyarlamalı beklentiler modeli / TAIEX Farklı gecikme farkları (t-1,t-2,t-3,t-4) ve farklı dereceli (1'den 4'e) modeller / TAIEX Bulanık ilişki oluşturma aşamasında belirleme / Borsa indeksi, okul kayıt Dağılım ve ortalama tabanlı yaklaşım / TAIEX, okul kayıt Eşit olmayan aralık parçalama / DAX borsa indeksi (Almanya), okul kayıt Dinamik yaklaşım / TAIEX, okul kayıt Oran-tabanlı yaklaşım / Borsa indeksi, okul kayıt, envanter talebi Genetik algoritma kullanımı / TAIEX Durağan olmayan ve doğrusal olmayan bulanık zaman serisi, eşit olmayan aralık parçalama ve bulanık kurallar / Okul kayıt, satış hacmi ve Hindistan'a ait büyüme eğrisi
Geliştirilmiş BZS aşamaları	(Singh ve Borah, 2013a)	Aralık uzunluklarını belirlemek için kesikleştirme tekniği (MBD: Mean-Based Discretization yaklaşımı) İlişkinin şiddetine göre ağırlık atama (IBWT: Index-Based Weights Technique) Yeni bulanıklık kaldırma tekniği (IBDT: Index-Based Defuzzification Technique) / Döviz, okul kayıt, günlük sıcaklık

Çizelge 3.4 (devam): Ekonomi alanında BZS çalışmaları.

Kullanılan model	Referanslar	Geliştirmeler / Tahmin edilen veriler
Geliştirilmiş BZS aşamaları	(Gangwar ve Kumar, 2012)	Çoklu parçalama ve yüksek derece içeren yöntem / SBI piyasa fiyatı, okul kayıt
	(Cheng ve diğ, 2006a)	Tanım kümesini parçalama yaklaşımları: MEPA ve TFA / IT proje maliyetleri
	(Chen ve Chen, 2013)	Tanım kümesinin parçalanması ve bulanıklığın kaldırılması için hızlı Fourier dönüşümü (FFT) algoritması ile entropi kesikleştirme tekniği / TAIEX, DJIA (Dow-Jones Industrial Average) finans veri setleri
	(Cheng ve diğ, 2008b)	Tanım kümesini ve aralık uzunluklarını belirleme: çok kriterli optimizasyon
	(Liu ve diğ, 2009)	Objektif parçalama: bulanık kümeleme yöntemi / TAIEX, okul kayıt
	(Qiu ve diğ, 2011)	Tahmin doğruluğunu etkileyen pencere tabanı, aralık uzunluğu, üyelik dereceleri, dış verinin varlığı faktörlerini dikkate alan model / Satış, okul kayıt
	(Cheng ve diğ, 2006b)	Üyelik derecelerine göre ağırlık ataması
	(Su ve diğ, 2013)	Topluluk (ensemble) tekniğiyle sınıflandırma / Shanghai borsası, okul kayıt
	(Chen ve Wang, 2010)	Trend ağırlıklandırma / TAIEX ve okul kayıt
	(Chen ve Tanuwijaya, 2011)	Ayarlama (fitting) fonksiyonuna dayanan hibrid bulanık zaman serisi modeli
	(Chen ve diğ, 2007), (Teoh ve diğ, 2007)	Aralık uzunlukları belirlemede Pearson korelasyonu ile seçim / TAIEX
	(Leu ve diğ, 2009)	Bulanık-trend ilişkileri kullanan model
	(Yu, 2005b)	Farklı aralıklara sahip veriyi sınıflandırmada otomatik kümeleme tekniği / TAIEX
	(Cheng ve diğ, 2008a)	Farklı aralık uzunluğu için otomatik kümeleme tekniği
BZS + sezgisel yöntem	(Huang, 2001b)	Çok değişkenli bulanık tahmin yöntemi / TAIEX
	(Bai ve diğ, 2011)	Fibonacci serisi ile ağırlıklı bulanık zaman serisi modeli / TAIEX, piyasa fiyatı, HSI borsa indeksi
	(Wong ve diğ, 2010b)	İki faktörlü ve uzaklık-tabanlı model / Hisse bedeli ve döviz oranları (Tayvan Merkez Bankası)
	(Jilani ve Burney, 2008a)	Tekrarlı bulanık ilişkiler ve ağırlıklandırma / Tayvan borsa indeksi
	(Qiu ve diğ, 2012)	Uyarlamalı beklenti modeli / TAIEX
	(Huang ve diğ, 2007)	Probleme özgü sezgisel yöntem / TAIFEX, okul kayıt
Bulanık ARIMA	(Tseng ve diğ, 2001)	Sezgisel zamandan bağımsız model, trend tahmini / TAIFEX, okul kayıt
Bulanık regresyon	(Erilli ve diğ, 2012), (Shapiro, 2005)	Uyarlamalı zamana bağlı bulanık zaman serisi modeli (ATVF)
Çok değişkenli BZS	(Huang ve Yu, 2005)	Pencere büyüklüğünü ayarlayan ve sezgisel kurallarla tahmin yapan model / TAIEX, okul kayıt
		Sıklık-yoğunluk-tabanlı parçalama sağlayan sezgisel bir yöntem / TAIEX ve üniversite kayıt verileri
		Ağırlıklı c-bulanık karar ağacı (WCDDT) ile durdurma kriteri ve bulanık kümeleme / Shanghai bileşik indeksi
		Çok değişkenli sezgisel fonksiyon / Tayvan borsa indeksi
		ARIMA ve bulanık regresyon birleşimi / Döviz oranı
		Klasik regresyon varsayımları sağlanmadığı durumda kullanılan model / Enflasyon
		Tip-2 bulanık zaman serisi modeli / TAIEX

3.3.2 Eğitim alanında uygulamalar

Çoğunlukla Alabama Üniversitesi okul kayıt verilerinde çeşitli bulanık zaman serisi modelleri geliştirilmiştir. Literatürde eğitim alanında yer alan çalışmaların bazıları Çizelge 3.5’te özetlenmiştir.

Çizelge 3.5 : Eğitim alanında BZS çalışmaları.

Kullanılan model	Referanslar	Geliştirmeler / Tahmin edilen veri
Aralık uzunluklarını belirleme	(Yolcu ve diğ., 2009)	Oran-tabanlı aralık uzunlukları için tek değişkenli kısıtlı optimizasyon modeli / Okul kayıt, envanter talep
	(Li ve Chen, 2004)	Doğal parçalama tekniği (en anlamlı rakama göre aralık atama) / Okul kayıt
	(Li ve Cheng, 2007)	Aralık parçalama ve farklı aralık uzunlukları için deterministik tahmin modeli / Okul kayıt
	(Eğrioğlu ve diğ., 2010)	Yüksek dereceden bulanık zaman serisi modellerinde aralık uzunluğunun belirlenmesi için kısıtlı optimizasyon / Okul kayıt
	(Yolcu ve diğ., 2008)	Aralık uzunluğu için tek değişkenli kısıtlı optimizasyon / Öğretim elemanı sayısı
	(Eğrioğlu ve diğ., 2011a)	Tek değişkenli kısıtlı optimizasyon modeli Altın kesit arama (golden section search) ve parabolik enterpolasyon / Okul kayıt
	(Chen ve Hsu, 2004)	Dağılım kullanımı ve tekrar parçalanma Birinci dereceden zamana bağlı bulanık zaman serisi / Okul kayıt
Geliştirilmiş BZS aşamaları	(Singh, 2007a, 2007b)	Fark parametreleri kullanan bulanık zaman serisi / Okul kayıt, ekin üretimi
	(Singh, 2008)	Üçüncü dereceden, zamana bağlı fark parametresi kullanan yöntem / Okul kayıt, ekin üretimi
	(Tsaur ve diğ., 2005)	Zamandan bağımsız ilişki matrisi için bulanıklık derecelerini ölçen entropi yaklaşımı / Okul kayıt
	(Yeh, 2004)	Tanım kümesi parçalama ve üyelik fonksiyonu belirleme: CPDA (Cumulative Probability Distribution Approach), TFA (Trapezoid Fuzzification Approach) ve MEPA (Minimize Entropy Principle Approach) / Okul kayıt
	(Eğrioğlu ve diğ., 2011b)	Bulanıklaştırma aşaması için Gustafson-Kessel bulanık kümeleme / Okul kayıt
Yüksek dereceden BZS	(Eğrioğlu ve diğ., 2013)	Bulanıklaştırma için bulanık kümeleme (bulanık c-ortalama) ve genetik algoritma, bulanık ilişkiler için YSA / Okul kayıt
	(Singh, 2009)	Karışık bulanık ilişkiler yerine w-adımlık bulanık tahmin edici / Okul kayıt, ekin üretimi
Aralık tahmin eden BZS	(Liu, 2007), (Liu, 2009)	Tek nokta yerine yamuk bulanık sayısı tahmini / Okul kayıt, Tayvan patent sayısı
Yüksek dereceden BZS + YSA	(Aladağ ve diğ., 2009)	Bulanık ilişkilerin belirlenmede ileri beslemeli YSA / Okul kayıt
	(Aladağ ve diğ., 2010b)	Yüksek dereceden BZS+ileri beslemeli YSA+uyarlamalı beklenti modeli Tahminleri ağırlıklı parametrelerde kısıtlı optimizasyon yaparak doğrulama / Okul kayıt
Zamana bağlı BZS	(Hwang ve diğ., 1998)	Değişkenliğin derecesini tanımlama için sistematik hesaplamalar / Okul kayıt
Zamandan bağımsız BZS	(Şah ve Degtiarev, 2005)	Farklı sayıda bulanık küme kullanma / Okul kayıt
Zamandan bağımsız Markov modeli	(Sullivan ve Woodall, 1994)	Olasılık dağılımlarıyla dilsel ifadelere sahip kategorik verilerde zamandan bağımsız Markov modeli / Okul kayıt

3.3.3 Tarım alanında uygulamalar

Ekin üretimi iklimsel koşullara, böcek ve hastalıklara bağlı olarak yüksek belirsizlik içermektedir, bu nedenle tahminlerle kesinlik kazanmaya çalışılmaktadır (Singh, 2009). Garg ve diğ. (2013) trend ve mevsimsel bileşenleri hesaba katarak bulanık zaman serisi modeli ile pirinç üretimi tahmini gerçekleştirmişlerdir. Bulanık aralıkları verinin sıklığına göre belirlemişlerdir. Kumar ve diğ. (2010) ise kısa dönemli buğday üretimi tahmininde bulanık zaman serilerini uygulamıştır.

Kaushik ve Singh (2013) Hindistan'da şeker üretimini tahmin etmek için YSA ile bulanık zaman serisi modelini karşılaştırmıştır. Veri tipi doğrusal olmadığı ve yüksek belirsizlik içerdiği için bu iki model seçilmiştir. Sonuçlara göre YSA, bulanık zaman serilerine göre daha doğru sonuçlar üretmiştir. Ayrıca objektif olması da avantaj olarak değerlendirilmiştir. Pandey ve diğ. (2008) buğday üretimini inceleyerek onu etkileyen sıcaklık, güneşlenme, yağış gibi parametreleri dikkate almıştır. Objektif olarak YSA tabanlı model önermiş, çeşitli bulanık zaman serisi modelleriyle (Chen, Singh, Rajesh Joshi) karşılaştırmıştır.

3.3.4 Taşımacılık alanında uygulamalar

Wong ve diğ. (2010a) klasik zaman serileri yöntemleri (ARIMA ve VARMA) ile bulanık zaman serisi yöntemlerini (2-faktörlü model, sezgisel model, Markov modeli) incelemiştir. Yöntemleri karşılaştırmak için Tayvan ihracat verilerini kullanmıştır. Yöntemlerin tahmin yetenekleri, farklı aralık uzunlukları ve tahmin hataları hakkında ek bilgilerin etkisi araştırılmıştır. Sonuçlara göre bulanık zaman serisi yöntemleri kısa dönemli tahminlerde daha başarılı bulunmuştur. Özellikle sezgisel yöntemin başarısı görülmüştür. ARIMA modeli uzun dönemli tahminlerde daha küçük tahmin hatası vermiştir. Ayrıca ek bilginin çok gerekli olmadığı ortaya çıkarılmıştır. Sonuçta, sınırlı bilgi ve acil karar verme durumlarında bulanık zaman serisi yöntemlerinin kullanılması gerektiği söylenmiştir.

Duru ve Yoshida (2009) deniz taşımacılık maliyetleriyle ilgili bulanık zaman serileri ile yargısal tahmin yöntemlerini kuru yük gemi indeksi için kullanmıştır. İstatistiksel yöntemlerle (X12 ARIMA, üstel düzeltme gibi) karşılaştırma yapılmış, yargısal tahminlerin kantitatif yöntemlerden başarılı olduğu söylenmiştir. Chou (2008) ise bulanık zaman serisi modeline dayanarak BDI (Baltic Dry Index) tahminleri geliştirmiştir.

Wang (2011) bulanık zaman serisiyle ARIMA modelini Tayvan ihracat verileri için geliştirmiştir. Bulanık zaman serilerinde faktör modeli, sezgisel model ve Markov modeli incelenmiştir. Tahmin süresi arttıkça ARIMA modelinin daha başarılı olduğu görülmüştür. Ecerkale ve diğ. (2010) ise jet yakıt üretim miktarı için parametrelerin farkına dayanan bulanık zaman serisi (Singh) ile iki faktörlü zamana bağlı bulanık zaman serisi (Chen ve Hwang) kullanmıştır. Her iki bulanık serinin sonuçları karşılaştırılmış ve RMSE değerine göre ilk serinin başarılı olduğu değerlendirilmiştir.

3.3.5 Diğer alanlarda uygulamalar

Üretim alanında mevsimsel bulanık zaman serileri uygulayan çalışmalar gerçekleştirilmiştir: gıda endüstrisinde (Chang, 1997), mekanik endüstrisinde (Tseng ve diğ, 1999), makine endüstrisinde (Liu ve Wei, 2010). Tseng ve Tzeng (2002) ise bulanık mevsimsel ARIMA (FSARIMA) tekniği geliştirmiştir. SARIMA ile bulanık regresyon modellerini birleştirerek Tayvan’da üretim verisi ile içecek satış verisi kullanılarak kısa dönemli tahmin sonuçlarını incelemiştir. Avazbeigi ve diğ. (2010) ise farklı olarak yüksek dereceden bulanık ilişkiler ile tabu arama tekniğini birleştirmiştir. Otomobil endüstrisi verilerinde *N*-faktörlü yüksek dereceden bulanık ilişkiler oluşturulmuş, tabu arama ve parametrik bulanık çıkarım sistemi ile aralık uzunlukları doğrulanmıştır.

Turizm alanında çoğunlukla turist gelişleri tahmini için modeller geliştirilmiştir. Suhartono ve diğ. (2011) Endonezya verileri için, ağırlıklı bulanık entegre zaman serisi modeliyle trend ve mevsimselliği incelemiştir. Önerilen yöntemde, veri ön-ışleme olarak farklar alınmış ve ağırlıklandırma yapılmıştır. Grafiksel bulanık ilişki kullanarak modelin derecesi belirlenmiştir. Suhartono ve Lee (2011) ise benzer şekilde trend ve mevsimsellik analizi için hibrid bir yaklaşım önermiştir. Zhang (2003)’e göre zaman serileri doğrusal ve doğrusal olmayan parçaların toplamı ile ifade edilebilir. Buradaki hibrid yaklaşımda, doğrusal parça için Winters’ın modeli ile doğrusal olmayan parça için ağırlıklı bulanık zaman serileri kullanılmıştır. Modelin derecesi grafiksel bulanık ilişki ile belirlenmiştir. Lee ve diğ. (2012) Endonezya’da turizm talep verileri ile klasik yöntemleri (Box-Jenkins, SARIMA, Holt-Winters, zaman serileri regresyonu) ve modern yöntemleri (bulanık zaman serileri) test etmiştir. Modern yöntemlerin daha başarılı olduğu görülmüştür. Chen’in

bulanık zaman serisi yöntemi en başarılısı bulunmuştur. Chou ve diğ. (2010) ise bulanık zaman serisi aşamalarını geliştirmiştir. Tanım kümesi k -ortalamaya göre oluşturulmuş, üçgen bulanık sayılarla bulanıklaştırma yapılmış, bulanık ilişki grupları kaba küme kurallarıyla oluşturulmuş ve kurallara göre çeşitli bulanık ilişkilere ağırlıklar atanmıştır. Modelin tahmin sonuçları ARIMA modeline göre başarısız çıksa da, anlaması daha kolay olan bir yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Tedarik zincirinde kamçı etkisinin tahmini için Tozan (2009) bulanık-gri hibrid yaklaşımı ile ANFIS yöntemini, Tozan ve Vayvay (2008) ise bulanık zaman serisi, bulanık regresyon ve ANFIS yöntemlerini kullanmışlardır. Daha sonra Tozan ve Vayvay (2009) tedarik zincirindeki talep değişkenliği için hibrid bulanık zaman serisi ve ANFIS yöntemi uygulamıştır. Simülasyonla rastsal üretilmiş talep verileriyle hesaplamalar yapılmıştır. Bu yaklaşımda ANFIS ile eğitildikten sonra bulanık çıkarım sistemi kullanılarak karar verilmektedir. Üyelik fonksiyonu tüm girdiler için Gaussian seçilmiştir ve çıktı doğrusaldır. Parçalama yöntemi grid parçalama olarak seçilmiştir.

İklim ve çevre alanında, kükürdioksit (SO_2) miktarı tahmini için Eğrioğlu ve diğ. (2009a) bulanık mevsimsel ARIMA modelini, Uslu ve Yolcu (2010) kısmi yüksek dereceden iki değişkenli bir model olan mevsimsel bulanık zaman serisini önermişlerdir. Sıcaklık tahmini için Pouzols ve Barros (2010) bulanık çıkarım ve kümeleme geliştirmiştir. ICFA (fonksiyonel yaklaştırma için gelişmiş kümeleme) algoritması ile bulanık çıkarım sistemindeki girdilerin üyelik fonksiyonlarının genişliği seçilmiştir. Chen ve Hwang (2000) ise iki faktörlü zamana bağlı bulanık zaman serisi modeliyle sıcaklık tahminleri geliştirmiştir. Burada iki faktör olarak günlük ortalama sıcaklık ve günlük bulut yoğunluğu modele dahil edilmiştir. Cheng ve diğ. (2011) günlük maksimum O_3 (ozon) ile hava kalitesi tahmininde iki aşamalı dilsel parçalamalı bulanık zaman serisi modelini kullanmıştır. Bazı çalışmalar ise ANFIS yöntemini uygulayarak rüzgar hızı tahmini (Çam ve Yıldız, 2006), açıklık indeksi ve güneş radyasyon tahmini (Mellit ve diğ, 2008; Rahoma ve diğ, 2011; Mellit ve diğ, 2007) gerçekleştirmiştir. Güneş radyasyonu tahmini yapan diğer çalışmalarda Chen ve diğ. (2013) bulanık mantıkla YSA'yı birleştirmiş, Bhardwaj ve diğ. (2013) ise genelleştirilmiş bulanık model ile gizli Markov modelini kullanmıştır. Attia ve diğ. (2005) güneş hareketini tahmin etmede hibrid sinirsel-bulanık

modelleme (FLNN) uygulamıştır. Gholipour ve diğ. (2005) ise güneş lekesi (sunspot) tahmini için spektral analiz ile ANFIS yöntemlerini önermiştir.

Eğrioğlu ve diğ. (2009b) çok değişkenli bulanık zaman serisi ile ileri beslemeli YSA modelini birleştirmiş, Belçika'daki araba kazası verinde uygulamıştır. Burada bulanık ilişkilerin tablo yardımıyla çözülmesi zor olduğu için, ileri beslemeli YSA ile ilişkiler belirlenmiştir. Tsai ve Wu (1999) ise Tayvan nüfus verileri için ikinci dereceden bulanık zaman serisi ile hem basit hem daha iyi bir tahmin modeli geliştirmiştir. Demirel ve diğ. (2010) elektrik enerjisi yük tahmini için ANFIS ve ARMA yöntemlerini kıyaslayarak en kolay ve doğru olanın ANFIS olduğunu söylemiştir. Liu ve diğ. (2010) ise kısa dönemli elektrik yükü tahmininde bulanık zaman serilerini kullanmıştır. Öncelikle eğitim aşamasında trend tahmin edilmiş, daha sonra bu trend tahmin edici ile tahminler üretilmiştir. Uçal Sarı ve Öztayşi (2012) enerji talebi tahmini için mevsimsel bulanık zaman serisi modeli geliştirmişlerdir. Zaman serileri, regresyon, ekonometrik modeller, ARIMA, simülasyon, YSA, PSO ve GA yöntemleri incelenmiştir. Ayrıca bulanık sinir ağları, bulanık çıkarım sistemleri ve bulanık regresyon modelleri de araştırılmıştır.

Bunların dışında Yolcu (2011) doktora tezinde bulanık zaman serilerinde, bulanıklaştırma aşaması için tanım kümesi parçalanmasına gerek duymadan ve her gözlemin üyelik derecesini sübjektiflikten uzak bir şekilde belirleyen yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem, bulanık c -ortalamalar yöntemi olarak adlandırılmıştır. Ayrıca bulanık ilişkilerin belirlenmesi aşaması için, girdileri ve hedefleri belirlenen üyelik derecelerinden oluşan YSA kullanan, çok değişkenli bir bulanık zaman serisi öngörü modeli oluşturmuştur. Önerilen yöntemi 4 farklı veriye (araba kazaları, TAIFEX, TAIEX, İMKB) uygulayarak performansını değerlendirmiştir. Koç (2008) ise yüksek lisans tezinde, bazı varsayımlara (nokta tahmini veya normal dağılım varsayımıyla aralık tahmini, doğrusallık varsayımı, en az 50 veya daha fazla gözlem olması) gerek duymadan ve dar aralıkta tahmin yapabilen bulanık ARIMA ve SARIMA modellerini incelemiştir. Simülasyon verisi ve Ankara ili hava kirliliği verisi üzerinde uygulama yapılmıştır. ARIMA ve bulanık ARIMA, SARIMA ve bulanık SARIMA yöntemlerini aralıkların dar olması (aralık genişliğinin küçük olması) ve aralık tahminlerinin gerçek değerleri kapsaması (aralık dışına taşan gerçek değer olmaması) ölçütlerine göre kıyaslamıştır.

Güler (2011) yüksek lisans tezinde hata payını azaltan, düşük miktarda veriyle tahmin edebilen zaman serisi yöntemlerini incelemiştir. Çeşitli bulanık zaman serisi yöntemlerini araştırarak iyi ve kötü yanlarından bahsetmiştir. Duru ve Yoshida (2012) literatürde yer alan bulanık zaman serisi modellerini incelemiş, dezavantajlarından bahsetmiştir. Özellikle durağanlık problemi, doğrusal olmayan veri ve başlangıç bulanık aralıklarının belirlenmesi sorunları ele alınmıştır. Zayıf yanlarının iyileştirilmesi ve hesaplama ile otomatik kontrol konusunda geliştirilmesi önerilmiştir. Uçal Sarı (2012) ise doktora tezinde yatırım analizinde kullanılan bulanık modelleri incelemiştir. Bu kapsamda bulanık zaman serileri de ele alınmıştır ve talep tahmin modeli geliştirilmiştir. Ayrıca mevsimsel tahmin modeli de ilave edilmiştir. Singh (2007b) bulanık zaman serisi modeli temel alınmıştır fakat tek bir uzman görüşü kabul ettiği için eleştirilmiş, farklı uzmanların ifadelerini içeren geliştirme yapılmıştır. Bu yöntemlere ait sayısal uygulamalar da gerçekleştirilmiştir.

3.4 Geliştirilen Hibrid Bulanık Zaman Serisi Yöntemleri

Bu bölümde mevcut tekniklerinin iyi yönlerini birleştiren hibrid bulanık zaman serisi model oluşumunun test edilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle bulanık zaman serisi modelinin aşamaları için yapılabilecek değişikliklerden bahsedilmiştir. Ardından geliştirilen 8 adet BZS deneme modelinin adımları anlatılmıştır.

Aşama 1: Evrensel kümenin tanımlanması

Evrensel kümenin tanımı için çoğu çalışmada, tüm verilere ait minimum ve maksimum değerleri bulunur, ardından keyfi belirlenen sayılar çıkartılıp eklenerek tanım aralığı genişletilir. Bu aşamada evrensel kümenin alt ve üst sınırları belirlenmiş olur ve tahminlerin bu aralıkta gerçekleşeceği kabul edilir.

Keyfi değerler ekleyip çıkartarak evrensel küme sınırlarını belirlemek yerine, eşit aralıklara parçalanma yapılacaksa aralık uzunluğunu seçmek ve aşağıdaki hesaplamalarla sınırları belirlemek de mümkündür (3.28).

$$D_{alt} = \left\lfloor \frac{D_{min}}{L} \right\rfloor * L \quad \text{ve} \quad D_{üst} = \left(\left\lfloor \frac{D_{maks}}{L} \right\rfloor + 1 \right) * L \quad (3.28)$$

Burada L aralık uzunluğu, $\lfloor \cdot \rfloor$ işlemi ise aşağı yuvarlamadır (Li ve Cheng, 2007). Aralık sayısı ise $aralık\ sayısı = (D_{üst} - D_{alt})/L$ denklemiyle hesaplanabilmektedir. Ancak evrensel kümenin keyfilik içermeyen bir istatistiksel

tanımla belirlenmesi daha doğru olacaktır. Bunun için Chou (2008) tarafından kullanılan $U = [D_L, D_U]$ evrensel küme tanımı aşağıdaki denklemler ile belirlenebilir (3.29). Burada n veri sayısını, s ve σ standart sapmaları, t_α değeri n serbestlik derecesine sahip t -değerini, z_α ise standart normal dağılım değerini ifade etmektedir.

$$D_L = \begin{cases} D_{min} - \left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right) t_\alpha, & \text{eğer } n \leq 30 \\ D_{min} - \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) z_\alpha, & \text{eğer } n > 30 \end{cases} \text{ ve } D_U = \begin{cases} D_{maks} + \left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right) t_\alpha, & \text{eğer } n \leq 30 \\ D_{maks} + \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) z_\alpha, & \text{eğer } n > 30 \end{cases} \quad (3.29)$$

Böylece keyfi değer vermeden veya uzman görüşü gerekmeden istatistiksel bir U tanımı yapılabilmektedir. Bu durumda alt ve üst limitler denklem 3.30 ile belirlenebilmektedir.

$$D_{alt} = \left\lfloor \frac{D_L}{L} \right\rfloor * L \quad \text{ve} \quad D_{üst} = \left(\left\lfloor \frac{D_U}{L} \right\rfloor + 1 \right) * L \quad (3.30)$$

Başka bir alternatif, Cheng ve diğ. (2006a) kullandığı $U = [D_{min} - \sigma, D_{maks} + \sigma]$ tanımı olabilir. Yüzde değişim veya farklara dayanarak evrensel küme tanımlayan çalışmalar da mevcuttur.

Aşama 2: Aralıkların tanımlanması (evrensel kümenin parçalanması)

Evrensel kümenin aralıklara parçalanması için eşit bölünen aralıklar yerine farklı bölen birçok model geliştirilmiştir. Kümeleme teknikleri ile aralıklara parçalama yapan çalışmalar mevcuttur. Veri sıklığı belirlenerek aralığa düşen veri sayısına göre yeniden parçalama yapılabilmektedir. Örneğin Singh ve Borah (2013a) MBD yaklaşımını, Singh ve Borah (2013b) ise RPD yaklaşımını uygulamıştır. Böylece sabit olmayan veya eşit olmayan aralık parçalamaları yapılabilmektedir. Ayrıca sezgisel yöntemlerle (genetik algoritma vb.) en az hatayı verecek aralık uzunlukları da belirlenebilmektedir.

Aşama 3: Bulanık kümelerin tanımlanması

Birçok model, 3.31 ile tanımlanmış üçgen bulanık sayılar ve üyelik dereceleri ile işlem yapmıştır.

$$A_i = \sum_{j=1}^n k_j / u_j \quad (3.31)$$

Eğer $j = i - 1$ ise $k_j = 0.5$, $j = i$ ise $k_j = 1$, $j = i + 1$ ise $k_j = 0.5$ olmakta, diğer durumlarda $k_j = 0$ alınmaktadır (Cheng ve diğ, 2006b).

Literatürde çoğunlukla üçgen bulanık sayılar kullanılsa da, yamuk bulanık sayılarla tahmin yapan modeller geliştirilmiştir. Bunun haricinde Γ, S fonksiyonları ile tanımlanan veya Gaussian, üstel, LR bulanık sayılarıyla da geliştirmek mümkündür.

Bulanık sayılar ve dilsel ifadeler tanımlandıktan sonra tüm verilerin bulanıklaştırılması aşamasında supremum değerler dikkate alınmıştır. Orijinal verinin hangi aralığa denk geldiği bulunur, o aralığın bulanık sayı tanımlarında maksimum üyelik derecesine sahip olduğu bulanık sayı belirlenir.

Aşama 4: Bulanık ilişkilerin kurulması ve gruplanması

Bulanık ilişkiler kurulurken modelin derecesi yani kaç tane geçmiş döneme göre ilişki kurulacağı belirlenmelidir. 1.dereceden modelin yeterli olup olmadığı, yüksek dereceden model gerekiyorsa derecenin kaç olacağı araştırılmalıdır.

Tekrar eden ilişkilerin elenmemesi, her ilişkinin ağırlığının eşit kabul edilmeyerek farklı ağırlıklandırma yapılabilmesi bazı çalışmalarda mevcuttur ve tahmin sonuçlarını iyileştirmiştir. Örneğin kronolojik sıraya göre ilişkilerin ağırlıklandırılması yapılmıştır (Yu, 2005b).

Ayrıca tek faktörlü (tek değişkenli) modellerin yanı sıra geliştirilen çok faktörlü modeller de mevcuttur. Problemin yapısına göre bulanık zaman serisi modelinin çok faktörlü olarak da kullanılabilmesi gerekmektedir.

Aşama 5: Tahminlerin hesaplanması

Literatürdeki çalışmalarda çoğunlukla sezgisel kurallar ile tahminler hesaplanmıştır. Ancak çalışmalar verilen yıllar için tahmin üreterek gerçek ile tahmin arasındaki hata hesaplamalarını yapmıştır. Geleceğe yönelik tahmin yapan çalışma görülmemiştir. Bulanık zaman serileriyle tahmin edilen değeri gerçek değer olarak varsayarak, gelecek yılların tahmini de mümkün olacaktır.

Aşama 6: Bulanıklığın kaldırılması (durulaştırma)

Çoğunlukla kitle merkezi (centroid) bulanıklık kaldırma yöntemi uygulanmış ve orta noktalar kullanılmıştır. Burada farklı bir yöntemle bulanıklık kaldırılabilir. Örneğin lambda-kesit (α -kesit), yükseklik yöntemi, ağırlıklı ortalama, ortalama-maksimum, toplamların merkezi, en büyük alanın merkezi gibi yöntemlerle de bulanıklık kaldırılabilir (Sivanandam ve diğ, 2007).

Geliştirilen hibrid modeller, deneme model şeklinde adlandırılarak uygulanmıştır. Bu modeller ile literatürdeki çalışmaların iyi yönlerini birleştirerek, daha az hatayı veren tahminlere ulaşmak hedeflenmiştir.

3.4.1 Deneme-1 modeli

Yukarıda bahsedilen olası iyileştirmeler göz önünde bulundurularak 1.deneme modeli geliştirilmiş ve algoritması kodlanmıştır. Bu modelde öncelikle evrensel küme, Chou (2008) modelindeki gibi istatistiksel olarak $\alpha = \%5$ alınarak hesaplanmıştır. Aralık uzunluğu sabit seçilerek önce eşit aralıklara parçalama yapılmıştır. Daha sonra Stevenson ve Porter (2009) modelindeki gibi her aralıktaki veri sayısına göre en fazla sıklığa sahip aralık 4 eşit alt aralığa, 2.aralık 3 eşit parçaya, 3.aralık 2 eşit parçaya tekrar bölünür, diğer aralıklar aynı kalır. Veri sıklığına göre tekrar parçalama sonucunda elde edilen aralıklara göre üçgen bulanık sayılar tanımlanmış, veri bulanıklaştırılmıştır. Bulanık ilişkiler aşamasında 1.dereceden ilişkiler oluşturulduktan sonra, Yu (2005b) modelindeki gibi tekrar eden ilişkiler silinmemiş, kronolojik sıraya göre yakın olan değere daha fazla ağırlık atanmıştır. Tahminler ise önceki değerlerin ilgili aralıklarının orta noktalarıyla ağırlıkların çarpımı sonucu hesaplanmıştır. Bu modelin MATLAB'ta yazılan algoritma kodları EK A'da verilmiştir.

3.4.2 Deneme-2 modeli

Bu modelde evrensel küme tanımı ve aralık uzunluklarının tekrar parçalanması deneme-1 modeli ile aynı uygulanmıştır. Bulanık ilişkiler için 1.dereceden ilişkiler oluşturularak tekrar edenler silinmemiş, Singh ve Borah (2013a) modelindeki gibi IBWT yaklaşımıyla indislerine göre ağırlıklandırılmıştır. Örneğin bulanık ilişkiler $B_i \rightarrow B_i, B_i \rightarrow B_j, B_i \rightarrow B_k, B_i \rightarrow B_l$ ise ağırlıkları sırasıyla i, j, k, l olmaktadır. Tahminler için Singh ve Borah (2013a) modelindeki IBDT yaklaşımı kullanılarak geçmiş değerlerin orta noktası ve ağırlığı ile hesaplama yapılmıştır. Tahminlerin hesaplanması aşamasında aşağıdaki iki prensip uygulanmıştır.

- Eğer bulanık ilişki grubunda birden fazla değer varsa ($A_i \rightarrow A_k, A_s, \dots, A_n$), tahminler 3.32 formülüyle hesaplanmıştır. Burada $w_k, w_s, \dots, w_n$ değerleri $A_k, A_s, \dots, A_n$ bulanık sayılarının ağırlıklarını ifade etmektedir. $m_k, m_s, \dots, m_n$ ise orta noktaları göstermektedir.

$$Tahmin(t) = m_k * \frac{w_k}{w_k + w_s + \dots + w_n} + m_s * \frac{w_s}{w_k + w_s + \dots + w_n} + \dots + m_n * \frac{w_n}{w_k + w_s + \dots + w_n} \quad (3.32)$$

- Eğer bulanık ilişki grubunda tek değer varsa ($A_i \rightarrow A_j$), tahmin doğrudan m_j değerine eşit varsayılmıştır.

3.4.3 Deneme-3 modeli

Bu modelde ise evrensel küme ve aralık uzunlukları deneme-1 modeli gibi belirlenip, tekrar parçalama ile oluşturulduktan sonra Chen ve Chung (2006a) modelindeki gibi genetik algoritma (GA) uygulanmıştır. Böylece rastsal bir şekilde üretilen farklı aralıklardan minimum hatayı veren, optimal aralık uzunlukları bulunabilmektedir. Hata hesaplaması için ortalama hata kare (MSE) formülü kullanılmıştır. GA modelinde başlangıç popülasyonu 30 değerden oluşturulmuş, en iyiyi bulabilmek için 1000 jenerasyon ile hesaplama yapılmıştır. Aralıklar belirlendikten sonra üçgen bulanık sayılarla veriler bulanıklaştırılmış, 1.dereceden bulanık ilişkiler tanımlanmış, tekrar eden ilişkiler silinmemiş, IBWT yaklaşımıyla ilişkiler farklı ağırlıklandırılmıştır. Ardından IBDT (Singh ve Borah, 2013a) ile tahmin değerleri hesaplanmıştır.

3.4.4 Deneme-4 modeli

Evrensel küme tanımı ve optimal aralık uzunluklarının belirlenmesi deneme-3 modeli gibi gerçekleştirilmiştir. Bu modelin farkı yüksek dereceden bulanık ilişkileri dikkate almasıdır. Üçgen bulanık sayılar tanımlandıktan sonra burada 2.dereceden bulanık ilişkiler kurulmuştur. Chen (2002) modeli esas alınarak tahmin algoritması kurulmuştur. Burada sol tarafı aynı olan birden fazla ilişki olduğunda daha yüksek dereceden (≥ 2) ilişkilere bakılacağı için, modelde 2'den yüksek dereceye sahip ilişkiler de tanımlanmıştır. Tahminler, ilgili bulanık sayıların orta noktaları veya birden fazla ise orta noktaların ağırlıklı ortalaması ile hesaplanmıştır (Chen, 2002). Yüksek dereceden model olması ve işlemlerin uzun sürmesi nedeniyle GA uygulaması 100 jenerasyon ile tekrar edilebilmiştir.

3.4.5 Deneme-5 modeli

Evrensel küme tanımı ve aralıkların tanımlanması Singh ve Borah (2013b) modelindeki gibi RPD yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre aralıkların parçalanması aşağıdaki adımlarla yapılmıştır:

- $S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ veri kümesi ve aralık $R = maks - min$ ile bulunmuştur.

- Veri aralığı M eşit sınıfa bölünmüştür: $M = [1 + \log_2^n]$
- Aralık genişliği hesaplanmıştır: $H = R/M$
- Evrensel küme tanımlanmıştır: $U = [L_b, U_b]$. Burada $L_b = \min - H$ ve $U_b = \max + H$ ile hesaplanmıştır.
- Evrensel kümenin orta noktası bulunmuştur: $U_m = (L_b + U_b)/2$
- A ve B alt kümeleri tanımlanmıştır: $A = \{x \in S | x \leq U_m\}$ ve $B = \{x \in S | x > U_m\}$.
- A ve B 'nin sınırları tanımlanmıştır: $U_A = \{A_{\min}, A_{\max}\}$ ve $U_B = \{B_{\min}, B_{\max}\}$.
- Karar faktörleri hesaplanmıştır: $DF_A = (A_{\max} - A_{\min})/n_A$ ve $DF_B = (B_{\max} - B_{\min})/n_B$.
- U_A ve U_B sınırları farklı uzunluktaki aralıklara parçalanmıştır.

Optimal aralıkların bulunması için GA modeli uygulanmış, 1000 jenerasyon tekrarıyla en az hatayı veren aralık uzunluğu hesaplanmıştır. Aralıklara göre üçgen bulanık sayılar tanımlanmış, 1.dereceden bulanık ilişkiler kurulmuştur. Burada tekrar eden ilişkiler silinmemiş, IBWT ile ağırlıklandırılmıştır. Tahmin değerleri için IBDT yaklaşımı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

3.4.6 Deneme-6 modeli

Diğer modellerden farklı olarak orijinal veri yerine yüzde değişimlerle işlem yapılmıştır. Öncelikle Stevenson ve Porter (2009) modelindeki gibi verideki ardışık yüzde değişimler hesaplanmıştır. Ardından başta eşit tanımlanan aralıklar, içerdiği veri sıklığına göre yeniden parçalanmıştır. En az hatayı veren aralığı hesaplamak için 100 jenerasyonlu GA uygulanmıştır. Optimal aralık uzunlukları belirlendikten sonra üçgen bulanık sayılarla 1.dereceden ilişkiler tanımlanmış, IBWT ve IBDT yaklaşımları sayesinde tahminler hesaplanmıştır.

3.4.7 Deneme-7 modeli

Bu model ise istatistiksel bir evrensel küme tanımıyla başlayıp (Chou, 2008), eşit aralıklara parçalama yapar. Veri sıklığı hesaplanarak Stevenson ve Porter (2009) modelindeki gibi aralıklar yeniden parçalanır. Bu aralıklara göre Liu (2007) modelindeki tanıma benzer olarak yamuk bulanık sayılar tanımlanır. Singh (2008) 3.dereceden tahmin algoritması daha çok hesaplama kuralı ve değişken eklenerek

geliştirilmiştir. Bu şekilde modelin daha hassas tahminler hesaplaması sağlanmıştır. Geliştirilen algoritmaya göre tahminler üretilir ve α -kesit ile bulanıklık kaldırılır. α -kesit ile yamuk bulanık sayının supremumları seçildikten sonra, iki zirve noktanın ortalaması hesaplanmaktadır. Bu modelin geliştirilen algoritması, denklem 3.33 ile hesaplanan zamana bağlı D_i parametresini kullanmaktadır. Burada E_i, E_{i-1}, E_{i-2} değerleri, $n, n-1, n-2$ yıllarına ait gerçek veri değerleridir.

$$D_i = ||E_i - E_{i-1}| - |E_{i-1} - E_{i-2}|| \quad (3.33)$$

n . yıla ait verinin bulanık sayısı A_i , $(n+1)$. yıla ait verinin bulanık sayısı A_j , $(n+1)$. yıla ait bulanık olmayan tahmin değeri F_j , $[*A_j]$ supremum, $L[*A_j]$ alt sınır, $U[*A_j]$ üst sınır, $l[*A_j]$ uzunluk olmakta ve $M1[*A_j]$ ile $M2[*A_j]$ ise u_j bulanık sayısının zirve noktalarını ifade etmektedir. $k = 3, \dots, K$ (veri sonu) için, $k \rightarrow k+1$ bulanık ilişkileri elde edilmiştir ($A_i \rightarrow A_j$). $R = 0$ ve $S = 0$ ile başlayarak aşağıdaki iterasyonlar her tanımlı k için döngü şeklinde hesaplanmıştır:

- $Q_i(a) = E_i + D_i/a$, $QQ_i(a) = E_i - D_i/a$ ($a = 2, 3, \dots, 10$)
- $H_i(b) = E_i + b * D_i$, $HH_i(b) = E_i - b * D_i$ ($b = 1, 2, \dots, 10$)
- If $Q_i(a) \geq L[*A_j]$ ve $Q_i(a) \leq U[*A_j]$ ise $R = R + Q_i(a)$ ve $S = S + 1$
- If $QQ_i(a) \geq L[*A_j]$ ve $QQ_i(a) \leq U[*A_j]$ ise $R = R + QQ_i(a)$ ve $S = S + 1$
- If $H_i(b) \geq L[*A_j]$ ve $H_i(b) \leq U[*A_j]$ ise $R = R + H_i(b)$ ve $S = S + 1$
- If $HH_i(b) \geq L[*A_j]$ ve $HH_i(b) \leq U[*A_j]$ ise $R = R + HH_i(b)$ ve $S = S + 1$
- $F_j = (R + \frac{M1[*A_j] + M2[*A_j]}{2}) / (S + 1)$ hesaplanır, sonraki k değerine geçilir ve adımlarda başa dönülür.

3.4.8 Deneme-8 modeli

Bu model, deneme-7 modelinin geliştirilmiş versiyonudur. İstatistiksel evrensel küme tanımından sonra keyfi sabit bir aralık belirlemek yerine, $L = 1$ 'den $L = (D_U - D_L)$ değerine kadar aralık uzunlukları test edilerek minimum tahmin hatası (MSE) değerini veren L belirlenir. Dolayısıyla eşit parçalanacak aralık uzunluğu optimizasyon modeliyle hesaplanmaktadır. Ardından yeniden parçalama, yamuk bulanık sayılarla işlem ve ardışık hesaplama algoritması ile tahminler üretilmiştir. Sonuçlarda α -kesit ile bulanıklık kaldırılmıştır. Bu modelde keyfi değer belirlemek gerekmemektedir, dolayısıyla otomatik, objektif ve etkin bir şekilde tahmin algoritması hesaplanmaktadır. Bu modelin algoritma kodları EK B'de verilmiştir.

Sonraki bölümlerde en başarılı olan model deneme-8 olarak belirlendiği için algoritma EK B kısmında detaylandırılmıştır.

Tüm hibrid deneme modellerinin aşamaları Çizelge 3.6’da özetlenmiştir. Modellerin aşamaları arasındaki farklılıklar daha net bir şekilde görülebilmektedir.

Çizelge 3.6 : Geliştirilen hibrid modellerin aşamalarına göre özeti.

Model	Aşama 1 Evrensel küme	Aşama 2 Aralık uzunlukları	Aşama 3 Bulanık kümeler	Aşama 4 Bulanık ilişkiler	Aşama 5 Tahmin hesaplama	Aşama 6 Bulanıklık kaldırma
1	İstatistiksel tanım	Tekrar parçalama	Üçgen bulanık sayı	- 1.dereceden - Tekrar edebilen - Kronolojik ağırlıklandırma	Önceki değere göre orta nokta ve ağırlık çarpımı	Kitle merkezi
2	İstatistiksel tanım	Tekrar parçalama	Üçgen bulanık sayı	- 1.dereceden - Tekrar edebilen - IBWT ile ağırlıklandırma	IBDT ile hesaplama	Kitle merkezi
3	İstatistiksel tanım	Tekrar parçalama ve GA ile optimal bulma	Üçgen bulanık sayı	- 1.dereceden - Tekrar edebilen - IBWT ile ağırlıklandırma	IBDT ile hesaplama	Kitle merkezi
4	İstatistiksel tanım	Tekrar parçalama ve GA ile optimal bulma	Üçgen bulanık sayı	2.dereceden	Önceki değere göre orta nokta veya orta noktaların ağırlıklı ortalaması	Kitle merkezi
5	RPD ile tanım	GA ile optimal bulma	Üçgen bulanık sayı	- 1.dereceden - Tekrar edebilen - IBWT ile ağırlıklandırma	IBDT ile hesaplama	Kitle merkezi
6	% değişim hesabı	Tekrar parçalama ve GA ile optimal bulma	Üçgen bulanık sayı	- 1.dereceden - Tekrar edebilen - IBWT ile ağırlıklandırma	- IBDT ile tahmini değişimi hesaplama - Son tahmin için önceki değerle çarpılarak toplanır	Kitle merkezi
7	İstatistiksel tanım	Tekrar parçalama	Yamuk bulanık sayı	3.dereceden	Geliştirilmiş ardışık hesaplama algoritması	α -kesit
8	İstatistiksel tanım ve aralık uzunluğu optimizasyonu	Tekrar parçalama	Yamuk bulanık sayı	3.dereceden	Geliştirilmiş ardışık hesaplama algoritması	α -kesit

Bu modelleri uygularken gerekli tüm iyileştirmeler göz önünde bulundurulmuştur. Duru ve Yoshida (2012), geliştirilen bulanık zaman serisi modellerini eleştirmiştir. Örneğin aralıkların artırılması sonucunda duyarlılığın arttığını fakat karmaşıklık ve gürültünün de arttığını da söylemiştir. Bulanık zaman serilerinin aşağıdaki konularda iyileştirilmesi gerektiğini öne sürmüşlerdir.

- Durağanlık testi çoğu çalışmada gereksiz görülmüştür ancak verinin yapısını incelemek, durağan değilse uygun şekle dönüştürmek faydalı olacaktır.

- Çoğu çalışma geleneksel tahmin yöntemlerinde kullanılan örnek dönemi ve örnek-sonrası dönemi kullanmamıştır. Örnek döneme göre modelin parametreleri tahmin edilip, modele hiç tanıtılmayan örnek-sonrası dönem ile hata karşılaştırmaları yapılması gerekmektedir.
- Çok faktörlü geliştirilen modellerde değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılmamıştır. Bu konuda test ve kontrol gerekmektedir.
- Kalıntıların analizi, beyaz gürültü olup olmadığı, otokorelasyon hesabı yapılmalı, model uygun değilse düzeltilmelidir. Bu şekilde modelin derecesi, değişken sayısı değiştirilebilir, hesaplamalarda hata varsa ortaya çıkarılabilir.

Bulanık zaman serileri bu hususlara göre geliştirildiğinde, klasik tahmin yöntemlerine kıyasla daha başarılı olabilecektir çünkü bilgisayarda kodlanarak otomatik hesaplama yapabilme yeteneğine de sahiptir. Bu nedenle tez çalışmasında, geliştirilen bulanık zaman serisi yönteminin uygulamasında bu hususlara dikkat edilmiştir. Ayrıca test verilerinde eksik değerlerin olması nedeniyle, diğer çalışmalardan farklı olarak, öncelikle lineer veya kübik interpolasyon ile eksik değerlerin tahminleri eklenmiştir.

Mevsimsel olan radyasyon verilerinde iki şekilde uygulama yapılmıştır. Mevsimsellik ayrıştırılmadan orijinal veriyle çalışılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Alternatif olarak mevsimsellik içeren verilerde mevsimsellikten arındırma gerçekleştirilmiş, mevsimsel indeksler hesaplanmıştır. Bulanık tahminler yapıldıktan sonra mevsimsel indekslerle çarparak son tahminlere ulaşılmıştır. Böylece bulanık zaman serilerinin mevsimsellik içeren veriyle işlem yapıldığında başarısı test edilebilmiştir.

4. TAHMİN YÖNTEMLERİNİN SEÇİMİ VE GÜNEŞ RADYASYONU TAHMİNİNDE UYGULANMASI

Bu bölümde zaman serileri, bulanık zaman serileri ve geliştirilen hibrid bulanık zaman serileri tahmin yöntemleri çeşitli test verilerinde uygulanmıştır. Hata sonuçlarına dayanarak yöntem seçimleri gerçekleştirilmiştir. Geçmiş güneş radyasyonu verileri ilgili kurumlardan temin edilerek, seçilen en başarılı yöntemler aracılığıyla gelecek yıllara ait tahmin değerleri üretilmiştir.

4.1 Box-Jenkins Uygulaması

Box-Jenkins yönteminin uygulanması için günlük ve aylık radyasyon (W/m^2) test verisi SODA (Url-5) internet sitesinden alınmıştır. İstanbul için 1985-2005 yılları arası alınan bu veriler, HelioClim-1 uydu verisine göre stokastik (sentetik) olarak üretilmiştir. Herhangi bir bölge için veri üretebilen bu sistem sayesinde, ölçüm yapılmayan yerlere ait geçmiş radyasyon değerleri yaklaşık olarak elde edilebilmektedir.

Günlük olan veride eksik, ölçülmeyen değerler mevcut olduğu için, verinin seyrine uygun olarak interpolasyon ile bu değerler tahmin edilmiştir. İnterpolasyon hesaplamak için MATLAB programı ile kod yazılmıştır. İnterpolasyon fonksiyonları yardımıyla lineer ve kübik interpolasyon çalıştırılmıştır. 7670 veride eksik olan 113 değer tahmin edilmiştir. Lineer ve kübik değerler arasında çok fark olmadığı için lineer olan tercih edilerek işlemlere devam edilmiştir. Günlük verilerde aylık ortalamalar alınmıştır ve toplamda 252 ortalama elde edilmiştir.

Zaman serileri modellerini uygulayabilmek için Eviews 7, Minitab (v16.1) ve Gretl (v1.9.14) istatistik programlarından yararlanılmıştır. Uygulamalara başlamadan önce serinin korelogram analizi yapılmıştır. Korelogram, $ACF(k)$, $PACF(k)$ değerleri ile Q -istatistikleri ve anlamlılık özelliklerine göre k sayıda gecikmeyi gösteren bir grafikdir. Tahmin edilen ACF sıfıra ne kadar yakınsa, serinin temiz-dizi özelliği veya durağanlığı o kadar fazla olacaktır. İstatistiksel olarak anlamlı ACF veya PACF

olması durağan-dışılığı göstermektedir. Ayrıca serinin yapısına en uygun modeli seçerken korelogramdan faydalanılmaktadır. Sapan değerler burada açıkça ayırt edilememektedir. Korelogram analizine göre serinin yapısı hakkında aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

- Sabit ortalama civarı dalgalanma varsa ve sistematik yapısı yoksa ACF, PACF anlamsız olmalıdır. Bu veriler rastsal seriye ait olabilir.
- ACF artıyor fakat k arttıkça yavaş bir azalma gösteriyorsa (doğrusal azalan ACF kalıbı gibi) trendli seri olabilir.
- Zaman boyunca sabit aralıklarla (örneğin 12 aylık gecikmelerde) tekrarlanan kalıp varsa, ACF veya PACF ardışık dalgalı (kosinüs veya sinüs) yapıdaysa mevsimsel seri olabilir. Bartlett anlamlılık testine göre sıfır hipotezi reddedilir, otokorelasyon sıfırdan farklıdır, mevsimsel gözlemler arasında yüksek birliktelik vardır ve seri durağan değildir.
- Sistematik olmayan dalgalanmalar (5-8 yıllık dönemler) varsa konjonktürel seri olabilir. ACF pozitif yönlü, mevsimselliğe benzer bir yapıdadır fakat tepe ve çukurlar arasında sistematik tekrar eden bir düzen olmayacaktır. Benzer şekilde yüksek birliktelik vardır ve seri durağan değildir.
- Güçlü birliktelik, yüksek ACF ve durağan-dışılık varsa otokorelasyonlu seri olarak adlandırılır.
- Stokastik trend nedeniyle aşırı yüksek ACF varsa rastsal yürüyüş serisi olabilir. Durağan değildir.

Korelogramdan elde edilen ACF ve PACF; ARIMA yöntemini belirleme, durağanlık için fark alma mertebesini belirleme, mevsimsellik analizi, deneme model seçimi, tahmin ve ayırt edici kontrol, hata terimlerinin analizi aşamalarında kullanılmaktadır.

Ayrıca ARIMA modeli oluştururken dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda özetlenmiştir (Url-6). Bunları göz önünde bulundurarak uygulamalar yapılmıştır.

Fark alma derecesini ve sabiti belirleme aşaması için;

1. Yüksek gecikmelerde pozitif otokorelasyonlar varsa daha yüksek fark almak gerekecektir.
2. Eğer 1.gecikmenin otokorelasyonu sıfır veya negatifse veya otokorelasyonlar küçük ve düzensiz ise, daha yüksek fark almak gerekmeyecektir. 1.gecikmenin otokorelasyonu -0,5 veya daha negatifse, seride fazladan fark alınmış olabilir.

3. Genellikle standart sapmanın en küçük olduğu zaman, optimal fark alma derecesi belirlenmiştir.
4. Fark alma gerekmeyen bir modelde orijinal serinin durağan olduğu varsayılır. 1 fark alınmış modelde orijinal serinin sabit ortalamalı trendi olduğu varsayılır. 2 fark alınmış modelde ise orijinal serinin zamana bağlı trendi olduğu varsayılır.
5. Fark alma gerekmeyen bir model (serinin ortalamasını gösteren) sabit terim içerir. 2 fark alınmış model normalde sabit terim içermez. 1 fark alınmış modelde ise serinin sıfırdan farklı ortalama trendi olursa sabit terim eklenmelidir.

AR ve MA terim sayılarını belirleme aşaması için;

6. Eğer fark alınmış seri için PACF’de keskin bir kesilme görülüyorsa ve/veya 1.gecikmenin otokorelasyonu pozitifse (yani fark alma derecesi az gibi gözükyorsa), bir veya daha fazla AR terimi eklenmelidir. PACF’nin kesildiği gecikme, AR terim sayısına işaret etmektedir.
7. Eğer fark alınmış seri için ACF’de keskin bir kesilme görülüyorsa ve/veya 1.gecikmenin otokorelasyonu negatifse (yani fark alma derecesi fazla gibi gözükyorsa), modele MA terimi eklenmelidir. ACF’nin kesildiği gecikme, MA terim sayısına işaret etmektedir.
8. AR ve MA terimi için diğerinin etkisini yok etmek mümkündür. Bu yüzden ARMA modeli veriye uygun gözüktür. Ayrıca daha az AR terimi ve daha az MA terimi olan modeli de denemek gerekir. Bu, özellikle orijinal modelin parametre tahminleri 10’dan fazla iterasyonda yakınsıyorsa geçerlidir.
9. Eğer modelin AR kısmında birim kök varsa (AR katsayılarının toplamı neredeyse 1 ise), AR terimlerinin sayısı bir azaltılmalı ve fark alma derecesi bir arttırılmalıdır.
10. Eğer modelin MA kısmında birim kök varsa (MA katsayılarının toplamı neredeyse 1 ise), MA terimlerinin sayısı bir azaltılmalı ve fark alma derecesi de bir azaltılmalıdır.
11. Uzun dönem tahminler istikrarsız gözükyorsa, AR veya MA katsayılarında birim kök olabilmektedir.

Modelin mevsimsel kısmını tanımlama aşaması için;

12. Serinin güçlü ve tutarlı mevsimsel seyri varsa mevsimsel fark alınmalıdır. Ancak 1'den fazla mevsimsel fark veya 2'den fazla toplam fark (mevsimsel olmayan+mevsimsel) kullanılmamalıdır.
13. Eğer mevsimsel dönemde otokorelasyon pozitifse modele SAR terimi, negatifse SMA terimi eklenmelidir. Aynı modelde SAR ve SMA terimlerinin karıştırılmaması ve birden fazla kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

4.1.1 Radyasyon test verisinde uygulama

Aşama 1: Modelin belirlenmesi

Box-Jenkins yöntemi aylık radyasyon test verisi ile uygulanmıştır. ARIMA modelinin derecesini belirlemeden önce durağanlık analizi yapılmalıdır. Veri sayısı $T = 252$ olduğu için $k \geq T/4 = 63$ gecikmeye kadar korelogram analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1'deki korelogramda ACF, PACF, Portmanteau test değerleri gözlenmektedir. Korelogramdan görüldüğü üzere otokorelasyonda mevsimsel dalgalanmalar mevcuttur. Sıfıra yaklaşmadığı ve azalan bir trendi olmadığı için verilerin durağan-dışı olduğu açıkça anlaşılmaktadır.

İstatistiksel anlamlılık açısından (otokorelasyon için) Bartlett testi uygulanmaktadır. $H_0: \rho_k = 0$ ve $H_1: \rho_k \neq 0$ hipotezleri test edilmektedir. $t_{ACF(k)} = ACF(k)/Sh_{ACF(k)}$ test istatistiği hesaplanır. $Sh_{ACF(k)} \approx 1/\sqrt{T}$ veya $\pm 2/\sqrt{T}$ (Eviews için) kullanılır. $t^* > t_c$ ise H_0 reddedilecektir. Başka bir deyişle tahmin edilen değer, $\pm[t_c * Sh_{ACF(k)}]$ aralığı dışında ise H_0 reddedilecektir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010). Burada otokorelasyonların anlamlı bir şekilde sıfırdan farklı olduğu görülmektedir. Birim kök testleri ile durağanlık test edildiğinde, kesmeli-trendsiz, kesmeli-trendli, kesmesiz-trendsiz modeller ayrı ayrı denenmiştir. Dickey-Fuller birim kök testi aşağıdaki regresyonları dikkate almaktadır:

- $\Delta y_t = \delta y_{t-1} + \varepsilon_t$ kesmesiz-trendsiz model (τ -istatistiği hesaplanır)
- $\Delta y_t = \mu + \delta y_{t-1} + \varepsilon_t$ kesmeli-trendsiz model (τ_μ -istatistiği hesaplanır)
- $\Delta y_t = \mu + \beta t + \delta y_{t-1} + \varepsilon_t$ kesmeli-trendli model (τ_τ -istatistiği hesaplanır)

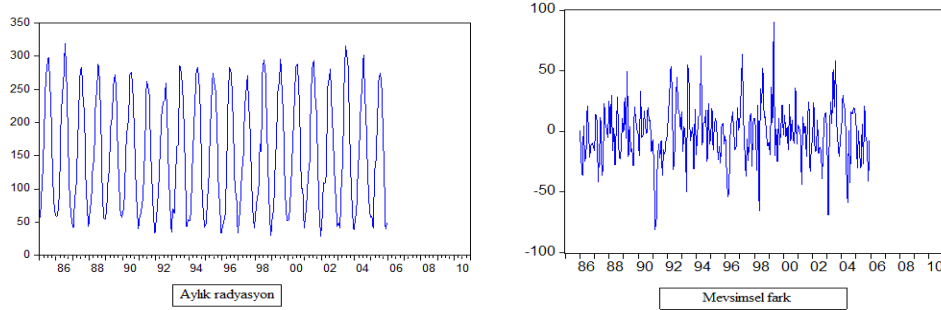
Burada $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$ ve $\varepsilon_t \sim IID(0, \sigma^2)$ olmaktadır. Eğer tahmin edilen $t^* > \tau$ (kritik tau değeri) ise durağan-dışı (birim köke sahip), $t^* < \tau$ ise durağan olacaktır. Kritik değerler için Dickey-Fuller veya MacKinnon (1996) τ değerleri kullanılmaktadır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010). Radyasyon test verisine

göre her modelde sonuç durağan-dışı çıkmıştır. Bu nedenle farklar alınarak durağanlık sağlanmaya çalışılmıştır.

Autocorrelation	Partial Correlation	k	AC	PAC	Q-Stat	Prob
. *****	. *****	1	0.826	0.826	173.92	0.000
. ****	***** .	2	0.461	-0.694	228.41	0.000
. .	**** .	3	-0.021	-0.568	228.53	0.000
**** .	** .	4	-0.476	-0.285	286.95	0.000
***** .	** .	5	-0.795	-0.249	450.57	0.000
***** .	** .	6	-0.900	-0.240	661.13	0.000
***** .	** .	7	-0.777	-0.265	818.68	0.000
**** .	* .	8	-0.453	-0.147	872.46	0.000
. .	. .	9	-0.008	0.024	872.47	0.000
. ***	. *	10	0.446	0.149	924.99	0.000
. *****	. *	11	0.786	0.191	1088.9	0.000
. *****	. *	12	0.911	0.099	1310.1	0.000
. *****	. .	13	0.780	-0.042	1472.9	0.000
. ***	. .	14	0.440	0.012	1524.9	0.000
. .	. .	15	-0.013	0.027	1525.0	0.000
*** .	. .	16	-0.449	0.054	1579.7	0.000
***** .	. *	17	-0.750	0.123	1733.1	0.000
***** .	. .	18	-0.857	-0.032	1934.0	0.000
***** .	. .	19	-0.741	-0.053	2085.0	0.000
*** .	. .	20	-0.434	-0.006	2136.9	0.000
. .	* .	21	-0.017	-0.072	2137.0	0.000
. ***	. *	22	0.420	0.145	2186.1	0.000
. *****	. .	23	0.736	-0.055	2337.5	0.000
. *****	. .	24	0.861	0.047	2545.6	0.000
. *****	* .	25	0.737	-0.100	2698.7	0.000
. ***	. .	26	0.419	-0.021	2748.4	0.000
. .	* .	27	-0.019	-0.126	2748.5	0.000
*** .	. *	28	-0.427	0.087	2800.6	0.000
***** .	. *	29	-0.710	0.097	2945.5	0.000
***** .	* .	30	-0.810	-0.095	3134.6	0.000
***** .	. .	31	-0.696	-0.003	3274.8	0.000
*** .	. .	32	-0.406	-0.017	3322.7	0.000
. .	. .	33	-0.008	0.021	3322.7	0.000
. ***	. .	34	0.399	0.057	3369.4	0.000
. *****	* .	35	0.692	-0.089	3510.7	0.000
. *****	. .	36	0.801	-0.018	3700.6	0.000
. *****	. .	37	0.686	-0.006	3840.9	0.000
. ***	. .	38	0.385	0.019	3885.4	0.000
. .	. .	39	-0.013	0.009	3885.4	0.000
*** .	. .	40	-0.398	-0.000	3933.2	0.000
***** .	. .	41	-0.670	-0.043	4069.4	0.000
***** .	. .	42	-0.763	-0.041	4246.7	0.000
***** .	. .	43	-0.657	-0.016	4379.0	0.000
*** .	. .	44	-0.381	0.006	4423.8	0.000
. .	* .	45	-0.011	-0.058	4423.8	0.000
. ***	. .	46	0.371	-0.002	4466.7	0.000
. *****	. *	47	0.658	0.132	4601.8	0.000
. *****	* .	48	0.761	-0.098	4783.5	0.000
. *****	. .	49	0.652	0.005	4917.7	0.000
. ***	. .	50	0.369	0.016	4960.7	0.000
. .	. *	51	-0.005	0.079	4960.7	0.000
*** .	. *	52	-0.366	0.104	5003.7	0.000
***** .	* .	53	-0.629	-0.104	5131.1	0.000
***** .	. *	54	-0.717	0.069	5297.2	0.000
***** .	. .	55	-0.625	-0.032	5424.0	0.000
*** .	. .	56	-0.371	-0.001	5468.9	0.000
. .	. .	57	-0.018	0.035	5469.0	0.000
. ***	. *	58	0.351	0.085	5509.7	0.000
. *****	. .	59	0.622	0.009	5638.0	0.000
. *****	. .	60	0.725	-0.018	5813.4	0.000
. *****	* .	61	0.618	-0.092	5941.4	0.000
. ***	. .	62	0.352	0.044	5983.2	0.000
. .	. **	63	0.009	0.221	5983.2	0.000

Şekil 4.1 : Aylık radyasyon test verisinin korelogramı.

Mevsimsel gecikmelerde (12, 24,...) görülen sivrilikler nedeniyle verinin mevsimsel farkının alınarak durağanlaştırılması denenmelidir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi mevsimsel fark alındıktan sonra serinin düzenli dalgaları ortadan kalkmış, durağan hale gelmiştir. Ayrıca belirgin bir trendin bulunmadığı gözlenmektedir.



Şekil 4.2 : Aylık radyasyon (sol) ve mevsimsel fark (sağ) grafikleri.

Korelogram analizinden de anlaşılabacağı üzere (Şekil 4.3), mevsimsel fark alındıktan sonra gecikme sayısı arttıkça ACF ve PACF sıfıra yaklaşmaktadır, sadece 1.mevsimsel gecikme ($k = 12$) için anlamlı olarak sıfırdan farklı çıkmıştır. Ayrıca $k = 24$ için PACF değerinin biraz yüksek ve $|t| = 1,921 \approx 2$ olduğu görülmektedir. Bu durum aday modeller belirlerken dikkate alınmıştır. Korelogram 63.gecikmeye kadar incelenmiş fakat Şekil 4.3’de $k = 30$ ’a kadar gösterilmiştir.

Autocorrelation	Partial Correlation	k	AC	PAC	Q-Stat	Prob
. *	. *	1	0,155	0,155	58.516	0.016
. *	. *	2	0,115	0,094	91.065	0.011
* .	* .	3	-0,086	-0,121	10.918	0.012
. .	. .	4	-0,043	-0,025	11.377	0.023
* .	* .	5	-0,099	-0,068	13.780	0.017
. .	. .	6	0,036	0,061	14.105	0.028
. *	. *	7	0,102	0,106	16.687	0.020
. *	. .	8	0,097	0,041	19.024	0.015
. *	. *	9	0,151	0,119	24.767	0.003
* .	* .	10	-0,078	-0,128	26.297	0.003
. .	. .	11	0,029	0,058	26.513	0.005
**** .	**** .	12	-0,475	-0,470	83.931	0.000
* .	. *	13	-0,086	0,070	85.837	0.000
* .	. .	14	-0,074	0,024	87.226	0.000
. *	. *	15	0,143	0,093	92.508	0.000
. .	* .	16	-0,001	-0,068	92.508	0.000
. *	. .	17	0,074	-0,018	93.931	0.000
. .	. *	18	0,021	0,082	94.042	0.000
. .	. .	19	-0,026	0,033	94.222	0.000
. .	. *	20	0,003	0,079	94.225	0.000
* .	* .	21	-0,149	-0,091	100.11	0.000
. .	* .	22	-0,016	-0,090	100.18	0.000
* .	. .	23	-0,100	-0,013	102.83	0.000
. .	** .	24	0,053	-0,242	103.59	0.000
. .	. *	25	0,045	0,152	104.15	0.000
. *	. .	26	0,124	0,033	108.35	0.000
* .	. .	27	-0,118	-0,044	112.15	0.000
. .	. .	28	-0,022	-0,044	112.28	0.000
. .	. *	29	0,015	0,093	112.34	0.000
* .	. .	30	-0,061	0,000	113.38	0.000

Şekil 4.3 : Mevsimsel fark alınmış test verisinin korelogramı.

Birim kök testi uygulandığında ADF testine göre tahmin edilen test istatistiğinin, kritik değerlerden oldukça küçük olduğu görülmektedir (Şekil 4.4). Buna göre verilerde durağanlık sağlanmıştır.

Null Hypothesis: MEVSIMSEL_FARK has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 11 (Automatic based on SIC, MAXLAG=14)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.347426	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.458973	
5% level	-2.874029	
10% level	-2.573502	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

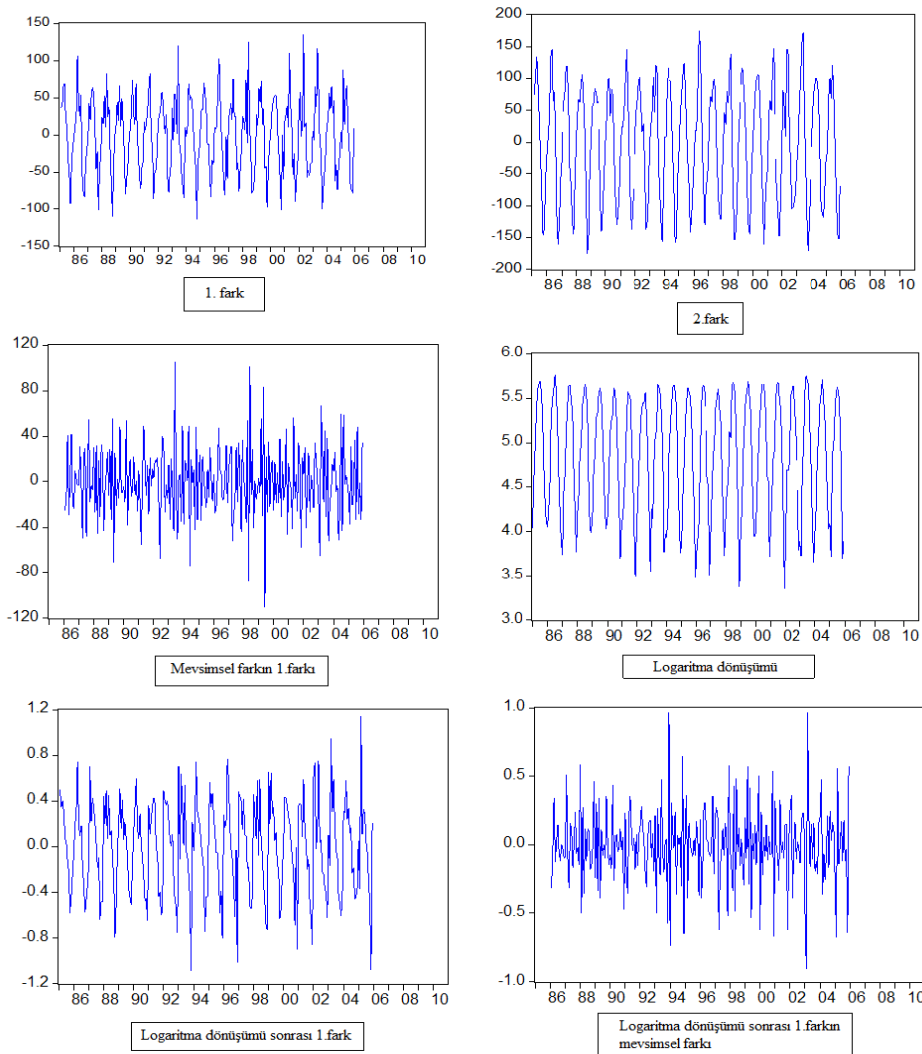
Şekil 4.4 : Mevsimsel fark alınmış test verisinin birim kök testi.

Ancak diğer aday modelleri oluşturmak için verilerde sırasıyla 1.fark, 2.fark, mevsimsel farkın 1.farkı, logaritma dönüşümü, logaritma dönüşümü sonrası 1.fark, logaritma dönüşümü sonrası 1.farkın mevsimsel farkı alınmıştır (Şekil 4.5) ve korelogram analizleri ile birim kök testleri yapılmıştır. Bu testlere göre 1.fark durağan, dolayısıyla 2.fark da durağan çıkmıştır. Bu yüzden fazladan fark almaya gerek görülmemiştir. Mevsimsel farkın 1.farkı da beklenen şekilde durağan bulunmuştur. Logaritma dönüşümü, varyansta durağan-dışılık varsa ortadan kaldırmak için test edilmiştir. Logaritma dönüşümü sonrası veriler durağan değildir fakat 1.fark veya 1.farkın mevsimsel farkı sonucunda durağanlaştırılmıştır.

Durağanlık sağlandıktan sonra $ARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q)_{12}$ modelinin derecelerini belirlemek gerekmektedir. Bunun için korelogramda ACF ve PACF değerleri gözlenmiştir.

- Mevsimsel farktan sonra ($D = 1$), 12.gecikmede (1.mevsimsel gecikmede) sivrilik olduğu için $P = 1$ ve $Q = 1$ denenmelidir. 24.gecikmede PACF değeri sivri olmaya yakın olduğu için SAR terimi eklenerek $P = 2$ olan model de denenmelidir.
- 1.farktan sonra ($d = 1$), 1.gecikmede sivrilik görülmektedir. Bu nedenle $p = 1$ ve $q = 1$ modeli denenmelidir. Ayrıca 12.gecikmede ACF değeri sivri olduğu için MA terimi eklenerek $q = 12$ olan model de denenmelidir. 1.farktan sonra durağanlık sağlandığı için 2.fark gereksizdir ve aday modellere eklenmeyecektir.

- Mevsimsel farkın 1.farkı ($d = 1$ ve $D = 1$) için 1.gecikmede ACF ve PACF değerlerinde sivrilik vardır. Ayrıca 12.gecikmede ACF değeri sivri olup, PACF az artış göstermiştir. Buna göre aday modellerde ($p = 1, q = 1, Q = 1$) ve ($p = 1, q = 1, P = 1, Q = 1$) parametreleri denenmelidir.
- Logaritma dönüşümü sonrasında 1.fark alınınca ($d = 1$) durağanlık sağlanmıştır. Burada $p = 1, q = 1$ veya $q = 12$ modelleri test edilmelidir. Korelogramda hafif mevsimsel dalgalanmalar gözlenmektedir.
- Logaritma dönüşümü sonrası 1.farkın mevsimsel farkı da alındığı zaman ($d = 1$ ve $D = 1$), 1.gecikmede hem ACF hem PACF değerlerinde sivrilik gözlenmektedir. Ayrıca 12.gecikmede ACF değeri sivridir. Buna göre $p = 1, q = 1, Q = 1$ modeli denenmelidir.



Şekil 4.5 : Aylık radyasyon test verisinde çeşitli farkların grafikleri.

Aşama 2: Modelin tahmini

Belirlenen aday modeller Eviews programında çalıştırılarak parametre tahminleri gerçekleştirilmiştir. Parametrelerin durağanlık ve çevrilebilirlik koşulları, anlamlılıkları kontrol edilmiştir. %95 güven düzeyi için anlamlı olmayan veya koşulları sağlamayan parametreler modelden çıkarılmıştır. Buna göre denenen aday modeller aşağıda listelenmiştir.

1. ARIMA(1,1,0) → sabit anlamsız olduğu için çıkarılmıştır.
2. ARIMA(0,1,1) → sabit anlamsız olduğu için çıkarılmıştır.
3. ARIMA(1,1,1) → sabit ve MA(1) terimi anlamsız olduğu için çıkarılmıştır. 1. modele dönüşmüştür.
4. ARIMA(0,1,12) → sabit anlamsız olduğu için çıkarılmıştır.
5. ARIMA(1,1,12) → sabit anlamsız olduğu için çıkarılmıştır.
6. SARIMA(1,1,1) → sabit, SAR(1) ve SMA(1) anlamsız olduğu için model iptal edilmiştir.
7. SARIMA(2,1,1) → sabit anlamsız olduğu için çıkarılmıştır. SAR(2) terimi %6,14 olasılıkla anlamsızdır. Bu nedenle SMA(1) modeli denenmiş, anlamsız çıkmıştır. %90 güven düzeyi için sabit terimi olmayan SARIMA(2,1,1) modeli kullanılabilir.
8. ARIMA(1,1,1) * (1,1,1)₁₂ → sabit ve SMA(1) anlamsız olduğu için çıkarılmıştır. Model ARIMA(1,1,1) * (1,1,0)₁₂ şekline dönüşmüştür.
9. ARIMA(1,1,1) * (0,1,1)₁₂ → sabit, AR(1), SMA(1) anlamsız olduğu için çıkarılmıştır. Model ARIMA(0,1,1) * (0,1,0)₁₂ şekline dönüşmüştür.
10. ARIMA(1,0,1) * (2,1,1)₁₂ → sabit, SAR(2), MA(1), SMA(1) anlamsız olduğu için çıkarılmıştır. Model ARIMA(1,0,0) * (1,1,0)₁₂ şekline dönüşmüştür.
11. ARIMA(1,0,1) * (1,1,1)₁₂ → sabit, SAR(1), SMA(1) anlamsız olduğu için çıkarılınca geriye kalan terimler de anlamsız çıkmıştır. Model iptal edilmiştir.
12. ARIMA(1,1,1) * (1,0,1)₁₂ → model anlamlı çıkmıştır.
13. Log dönüşümü ile ARIMA(1,1,1) → sabit ve MA(1) anlamsız olduğu için çıkarılınca model ARIMA(1,1,0) olmuştur.
14. Log dönüşümü ile ARIMA(1,1,12) → sabit anlamsız olduğu için çıkarılmıştır.

15. Log dönüşümü ile $ARIMA(1,1,1) * (0,1,1)_{12} \rightarrow$ sabit, $AR(1)$, $SMA(1)$ anlamsızdır, bu nedenle model $ARIMA(0,1,1) * (0,1,0)_{12}$ şekline dönüşmüştür.
16. Log dönüşümü ile $ARIMA(1,1,1) * (1,1,1)_{12} \rightarrow$ sabit ve $SMA(1)$ anlamsız olduğu için çıkarılmıştır. Model $ARIMA(1,1,1) * (1,1,0)_{12}$ şekline dönüşmüştür.

Aşama 3: Modelin uygunluk testi

Aday modellerin testlerinin sonuçları incelenmiştir. Burada 1985-1999 yılları için hesaplamalar yapılmıştır. Kalıntıların beyaz gürültü sürecine ait olup olmadığı belirlenmiştir. Bunun için korelogramla görsel analiz, birim kök testleri ve normallik testleri kullanılmıştır.

Bu aşamadaki uygunluk testlerine göre aday modellerden bazıları elenmiştir. Burada belirlilik katsayısı R^2 , düzeltilmiş $\bar{R}^2$, en çok benzerlik değerlerinde maksimum ve SSR (hata kareler toplamı), regresyon standart hata, AIC, SC değerlerinde minimum olan modeller seçilerek Çizelge 4.1’de listelenmiştir. Durbin-Watson istatistiğinin ise 2’ye yakın olması istenmektedir. Tüm değerler Eviews programıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 : Aday modeller arasından seçilen modeller.

MODEL	R^2	$\bar{R}^2$	Regres- yon St.Hata	SSR	En çok benzerlik	Durbin Watson istatis- tiği	Akaike bilgi kriteri	Schwarz kriteri
ARIMA(1,1,12)	0,4263	0,4231	37,366	245734,9	-896,061	2,1682	10,0905	10,1263
ARIMA(1,1,1)*(1,1,0)₁₂	0,4201	0,4130	24,904	100475,5	-763,092	1,9599	9,2859	9,3424
ARIMA(0,1,1)*(0,1,0)₁₂	0,3911	0,3911	25,267	105982,1	-775,791	1,6624	9,3028	9,3215
Log dönüşümü ile ARIMA(0,1,1)*(0,1,0)₁₂	0,3643	0,3643	0,216	7,8	19,235	1,5924	-0,2183	-0,1997
Log dönüşümü ile ARIMA(1,1,1)*(1,1,0)₁₂	0,4138	0,4065	0,209	7,1	25,376	1,9116	-0,2712	-0,2147

Aşama 4: Modelin gelecek tahmininde kullanılması

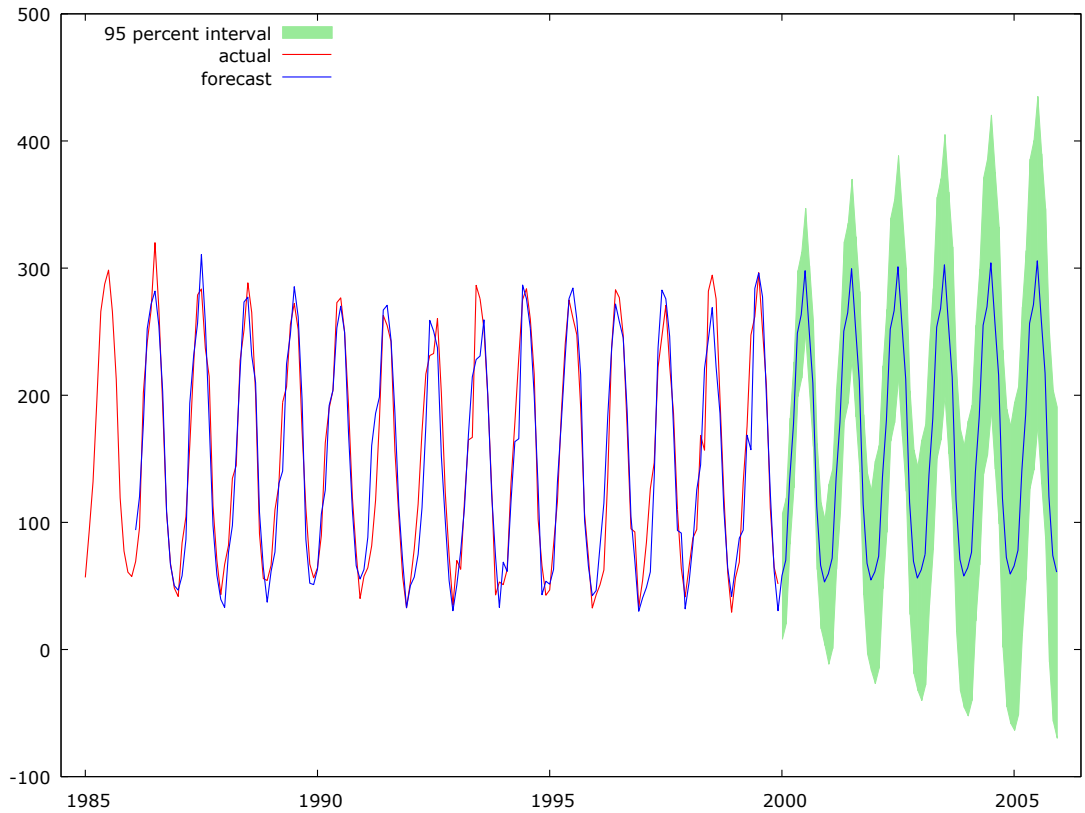
Başarılı olan modeller ile 2000-2005 yılları için gelecek tahminleri, Minitab ve Gretl programları ile yapılmıştır. Gerçek veri ile tahminler arasındaki hata ölçüleri (MSE, RMSE, MAD, MAPE, Theil-U ve maksimum hata) hesaplanmıştır. Çizelge 4.2’de modellerin hata sonuçları gösterilmiştir. En küçük değerlere sahip olan modellerin; MSE, RMSE ve MAD açısından $ARIMA(0,1,1) * (0,1,0)_{12}$ modeli, MAPE, Theil-

U ve maksimum hata açısından $ARIMA(1,1,1) * (1,1,0)_{12}$ modeli olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2 : Seçilen modellerin hata sonuçları.

MODEL	MSE	RMSE	MAD	MAPE	Theil-U	Maksimum hata
$ARIMA(1,1,12)$	1.595,570	39,945	32,143	28,06%	0,9528	102,16
$ARIMA(1,1,1)*(1,1,0)_{12}$	402,366	20,059	15,479	14,14%	0,4082	52,81
$ARIMA(0,1,1)*(0,1,0)_{12}$	399,767	19,994	15,144	14,21%	0,4117	56,28
Log dönüşümü ile $ARIMA(0,1,1)*(0,1,0)_{12}$	427,455	20,675	15,620	14,59%	0,4235	57,86
Log dönüşümü ile $ARIMA(1,1,1)*(1,1,0)_{12}$	438,954	20,951	16,438	14,92%	0,4252	56,32

Şekil 4.6’da $ARIMA(0,1,1) * (0,1,0)_{12}$ modelinin tahmin değerleri mavi çizgi ile, gerçek değerler kırmızı çizgi ile aynı grafik üstünde gösterilmiştir. Bu grafikten tahminlerin gerçek değerlerle yüksek benzerliğe sahip olduğu ve tahminin güçlü olduğu söylenebilir. Ayrıca gelecek tahminlerinde %95 güven aralığı da yeşil renkle gösterilmiştir.



Şekil 4.6: $ARIMA(0,1,1) * (0,1,0)_{12}$ gerçek ve tahmin karşılaştırmalı grafiği.

4.2 Bulanık Zaman Serisi Uygulaması

Çeşitli bulanık zaman serisi modelleri ile geliştirilen hibrid modeller, 5 farklı veri setiyle uygulanmış ve test edilmiştir. Uygulamalar sonucunda tüm modeller karşılaştırılmıştır. Burada kullanılan ilk üç veri, birçok çalışmada kullanılan ve bulanık zaman serisi modellerinin karşılaştırıldığı verilerdir.

1. Yıllık okul kayıt verisi
2. Günlük TAIFEX borsa indeksi verisi
3. Günlük TAIEX borsa indeksi verisi
4. Günlük sıcaklık verisi
5. Günlük ve aylık radyasyon test verisi

5.sıradaki veriler, zaman serileri analizinde de kullanılan İstanbul'a ait radyasyon test verisidir. Radyasyon verisi günlük ve aylık olarak ayrı incelenmiştir. Ayrıca mevsimsellik özelliği içerdiği için mevsimsel indeks hesaplarıyla arındırılarak tahminler geliştirilmiştir. Dolayısıyla günlük, aylık, günlük*mevsimsel indeks ve aylık*mevsimsel indeks şeklinde 4 tahmin sonucu elde edilmiştir.

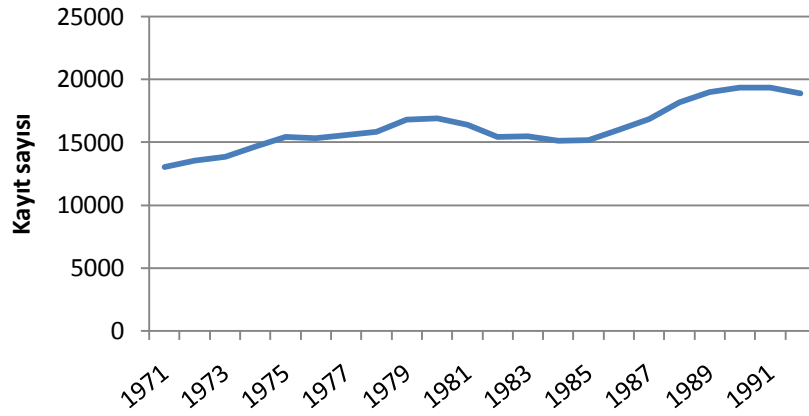
Tüm modeller MATLAB (Ver. 7.9.0 (R2009b)) programı kullanılarak kodlanmıştır. Öncelikle literatürdeki başarılı modeller (Chen, Huarng, Hwang ve diğ., Liu, Singh, Singh & Borah, Stevenson & Porter, Yu modelleri) verilere uygulanmış, ardından geliştirilen hibrid modeller (8 deneme model) test edilmiştir. Song & Chissom ve Sullivan & Woodall modelleri uzun işlem gerektirmesi ve onlardan daha başarılı modellerin olması nedeniyle uygulanmamıştır.

Modellerin performansının karşılaştırılması amacıyla, mevcut veri ile tahmin değerleri arasında MSE, RMSE, MAD, MAPE, Theil-U ve maksimum hata ölçüleri hesaplanmıştır. Ayrıca modelin hızı, kodun içine tanımlanan çalışma süresi ölçümü ile saniye olarak kaydedilmiştir.

4.2.1 Yıllık okul kayıt verisi ile uygulama

Alabama Üniversitesi'ne ait yıllık okul kayıt verileri 1971 - 1992 yıllarına aittir (Chen, 1996). Verilerin grafiği Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Mevsimsellik gibi tekrar eden bir yapı içermediği görülmektedir. Bu nedenle verilerde herhangi bir dönüştürme işlemi yapılmadan modeller uygulanmaya başlanmıştır. Burada Chen (2002) ve deneme-4 yüksek dereceden modeller, kolaylık ve hız açısından

2.dereceden bulanık ilişkilerle uygulanmıştır. Başlangıç aralık uzunlukları eşit alınan modellerde $L = 1000$ olarak belirlenmiştir. Değişimlere göre işlem yapan Hwang ve diğ. (1998) modelinde pencere boyutu $w = 5$ ve aralık uzunluğu $L = 400$ olarak seçilmiştir çünkü evrensel küme ardışık değişimlerle ifade edilmektedir. Yüzde değişimlere göre işlem yapan Stevenson & Porter (2009) modelinde ise $L = 2$ varsayılmıştır. Bu değerler birkaç deneme sonucu en iyi sonucu verdikleri için tercih edilmiştir.



Şekil 4.7 : Okul kayıt verisinin grafiği.

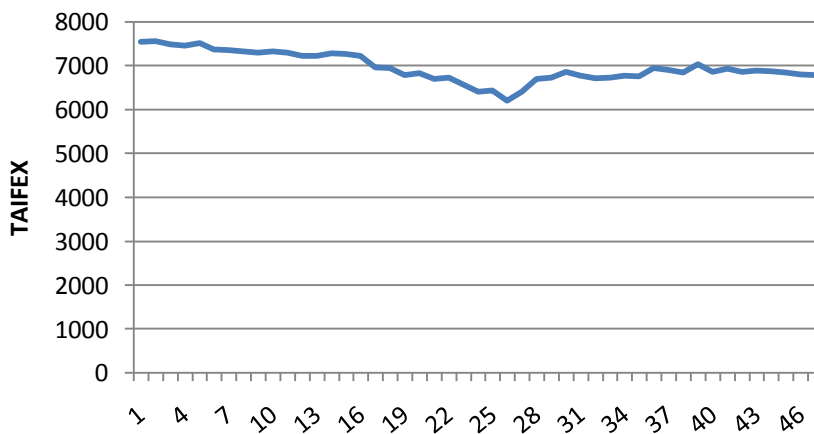
Birçok modelle hesaplanan tahminlere göre hata ölçüleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). Süre dışındaki hata değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralandığında, en iyi modelin deneme-8 olduğu görülmüştür. Tahmin hataları, diğer modellere göre oldukça küçüktür. İkinci iyi model ise deneme-7'dir ancak deneme-8 modeline göre hata değerlerinde anlamlı bir artış vardır. Diğer modeller MSE'ye göre sıralanmıştır. Süre açısından GA içeren modeller daha büyük değerlere sahiptir çünkü birçok jenerasyon denemesi yapılmaktadır. En düşük süreye sahip model Huarng (2001a) O.T. olmuştur fakat diğer modellerle arasında çok fazla fark olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.3 : Okul kayıt verisi için süre ve hata sonuçları.

Model	Süre (sn)	MSE	RMSE	MAD	MAPE	Theil-U	Maksimum hata
Deneme-8	18,32	0,25	0,50	0,50	0,00%	0,00078	0,50
Deneme-7	5,40	9.005,43	94,90	67,95	0,40%	0,14763	213,50
Deneme-4	38,94	18.060,80	134,39	113,50	0,68%	0,20588	250,00
Stevenson&Porter (2009)	4,92	28.587,67	169,08	134,24	0,83%	0,26994	449,00
Deneme-3	25,67	54.013,86	232,41	175,76	1,08%	0,37028	478,00
Chen (2002)	4,28	89.093,40	298,49	261,50	1,59%	0,47351	484,00
Singh (2008)	4,21	95.305,95	308,72	254,16	1,53%	0,48125	633,00
Singh&Borah (2013b)	3,99	103.056,76	321,02	186,29	1,11%	0,49275	958,00
Deneme-5	37,94	104.444,71	323,18	233,29	1,43%	0,50757	1.075,00
Singh&Borah (2013a)	4,20	106.037,14	325,63	198,86	1,19%	0,50097	958,00
Liu (2007)	3,86	108.097,00	328,78	221,48	1,33%	0,50398	1.050,00
Huarng (2001a) O.T.	3,82	129.635,10	360,05	257,19	1,56%	0,56054	1.000,00
Huarng (2001a) D.T.	4,23	142.740,10	377,81	277,52	1,68%	0,59047	1.017,00
Yu (2005b)	5,38	143.855,10	379,28	266,71	1,62%	0,59086	962,00
Deneme-2	4,22	155.429,71	394,25	283,24	1,75%	0,63388	1.029,00
Deneme-1	4,58	172.877,33	415,79	297,33	1,84%	0,66276	1.168,00
Hwang ve diğ. (1998)	7,56	284.144,44	533,05	490,56	2,92%	0,83378	821,00
Chen (1996)	4,50	407.507,29	638,36	498,81	3,11%	1,02426	1.400,00
Deneme-6	4,60	545.939,29	738,88	643,57	3,90%	1,14634	1.331,00

4.2.2 Günlük TAIFEX borsa indeksi verisi ile uygulama

Tayvan vadeli işlemler borsası indeksi verileri, 3 Ağustos 1998 - 30 Eylül 1998 zaman aralığına aittir (Lee ve diğ., 2008). Şekil 4.8’de verilerin sistematik dalgalanmalara sahip olmadığı görülmektedir. Çizelge 4.4’te tüm modellerin hata sonuçları yer almaktadır. TAIFEX verisine göre en başarılı modeller Singh (2008), Chen (2002) ve deneme-4 olmuştur. Deneme-8 modelinde borsa verisiyle hata değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir.



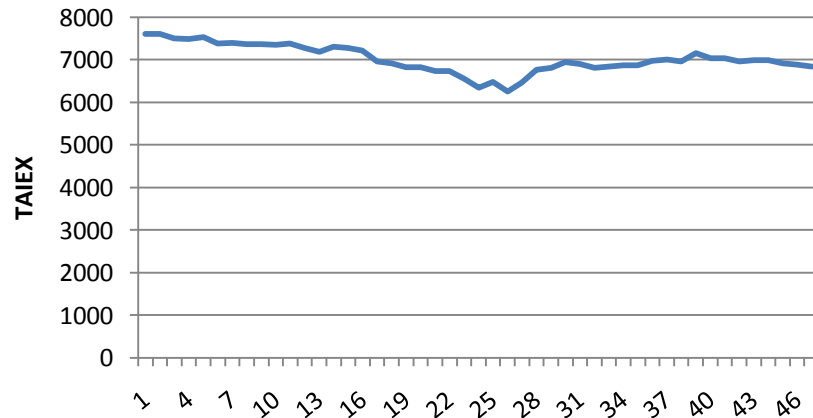
Şekil 4.8 : TAIFEX verisinin grafiği.

Çizelge 4.4 : TAIEX verisi için süre ve hata sonuçları.

Model	Süre (sn)	MSE	RMSE	MAD	MAPE	Theil-U	Maksimum hata
Singh (2008)	4,31	757,71	27,53	23,58	0,34%	0,23730	64,00
Chen (2002)	4,39	864,64	29,40	25,69	0,37%	0,25843	50,00
Deneme-4	90,35	891,87	29,86	18,95	0,28%	0,27196	157,00
Stevenson&Porter (2009)	4,02	1.215,09	34,86	26,74	0,39%	0,30693	103,00
Chen (1996)	4,11	4.380,89	66,19	36,63	0,54%	0,59288	166,00
Singh&Borah (2013a)	4,00	5.940,57	77,08	49,04	0,71%	0,68678	216,00
Deneme-3	65,99	5.958,56	77,19	56,64	0,81%	0,67561	212,00
Deneme-5	139,48	6.119,26	78,23	54,63	0,80%	0,70294	225,00
Singh&Borah (2013b)	3,85	6.171,80	78,56	51,97	0,76%	0,70170	209,00
Huarng (2001a) D.T.	4,78	7.459,42	86,37	58,52	0,86%	0,78284	250,50
Huarng (2001a) O.T.	4,72	7.850,41	88,60	59,26	0,87%	0,80276	255,50
Liu (2007)	10,10	7.850,41	88,60	59,26	0,87%	0,80276	255,50
Yu (2005b)	4,08	8.239,98	90,77	61,87	0,91%	0,82188	283,00
Deneme-8	23,68	9.807,11	99,03	73,04	1,07%	0,87515	250,50
Deneme-1	4,89	9.928,76	99,64	74,49	1,08%	0,89199	250,00
Deneme-2	4,86	10.335,15	101,66	70,60	1,04%	0,91776	357,00
Deneme-7	5,08	10.479,70	102,37	78,90	1,15%	0,89820	250,00
Deneme-6	13,61	14.234,40	119,31	94,13	1,38%	1,07666	286,50
Hwang ve diğ. (1998)	7,38	24.271,62	155,79	120,45	1,78%	1,37392	403,20

4.2.3 Günlük TAIEX borsa indeksi verisi ile uygulama

Tayvan borsası kapitalizasyon ağırlıklı indeks verileri, 3 Ağustos 1998 - 30 Eylül 1998 zaman aralığına aittir (Lee ve diğ, 2008). Şekil 4.9’da verilerin sistematik dalgalanmalara sahip olmadığı görülmektedir. Çizelge 4.5’te tüm modellerin hata sonuçları yer almaktadır. TAIEX verisine göre, TAIEX’le benzer bir şekilde, en başarılı modeller deneme-4, Chen (2002) ve Singh (2008) olmuştur.



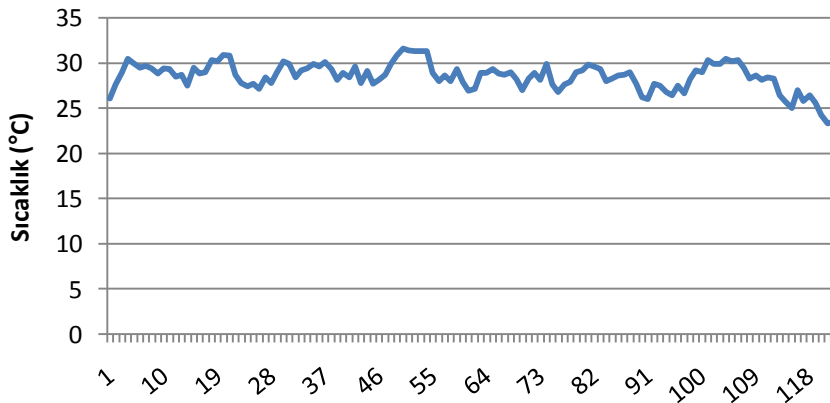
Şekil 4.9 : TAIEX verisinin grafiği.

Çizelge 4.5 : TAİEX verisi için süre ve hata sonuçları.

Model	Süre(sn)	MSE	RMSE	MAD	MAPE	Theil-U	Maksimum hata
Deneme-4	91,20	703,53	26,52	17,58	0,26%	0,24114	126,00
Chen (2002)	4,24	728,33	26,99	22,69	0,32%	0,23441	50,00
Singh (2008)	4,07	739,25	27,19	21,75	0,31%	0,23747	59,00
Stevenson&Porter (2009)	3,95	1.134,07	33,68	28,02	0,41%	0,30179	97,00
Deneme-5	117,48	4.459,46	66,78	48,46	0,69%	0,58553	203,00
Deneme-3	71,65	5.436,65	73,73	53,61	0,76%	0,64735	236,00
Singh&Borah (2013a)	3,97	6.072,89	77,93	39,24	0,58%	0,72922	449,00
Singh&Borah (2013b)	3,78	6.479,89	80,50	43,80	0,65%	0,75077	433,00
Huarng (2001a) D.T.	5,04	6.600,50	81,24	59,72	0,86%	0,74270	274,00
Huarng (2001a) O.T.	4,23	6.600,50	81,24	59,72	0,86%	0,74270	274,00
Liu (2007)	10,69	6.600,50	81,24	59,72	0,86%	0,74270	274,00
Yu (2005b)	4,61	6.966,20	83,46	56,20	0,82%	0,76508	357,00
Deneme-7	5,20	9.337,17	96,63	72,76	1,06%	0,86070	288,17
Deneme-8	26,53	9.731,03	98,65	72,11	1,04%	0,87972	332,50
Chen (1996)	5,13	9.979,85	99,90	77,72	1,12%	0,89747	256,00
Deneme-1	4,66	10.127,02	100,63	74,59	1,07%	0,90458	332,00
Deneme-2	5,01	10.599,24	102,95	70,37	1,02%	0,93496	422,00
Deneme-6	12,52	12.732,41	112,84	82,11	1,20%	1,03374	301,00
Hwang ve diğ. (1998)	8,26	22.099,32	148,66	113,22	1,66%	1,33712	432,00

4.2.4 Günlük sıcaklık verisi ile uygulama

Taipei (Tayvan) için Haziran 1996 - Eylül 1996 tarihlerine ait sıcaklık verileridir (Chen ve Hwang, 2000). Şekil 4.10'da verilerin düzenli mevsimsel dalgalanmalara sahip olmadığı görülmektedir. Serinin korelogramı incelendiğinde ve birim kök testi uygulandığında %96,5 olasılıkla durağan olduğu görülmüştür. Çizelge 4.6'da tüm modellerin hata sonuçları yer almaktadır. Buna göre en başarılı modeller Stevenson & Porter (2009), Singh (2008) ve deneme-4 olmuştur.



Şekil 4.10 : Sıcaklık verisinin grafiği.

Çizelge 4.6 : Sıcaklık verisi için süre ve hata sonuçları.

Model	Süre(sn)	MSE	RMSE	MAD	MAPE	Theil-U	Maksimum hata
Stevenson&Porter (2009)	4,14	0,04	0,20	0,16	0,56%	0,20147	0,62
Singh (2008)	3,93	0,10	0,32	0,26	0,94%	0,33005	0,70
Deneme-4	372,98	0,10	0,32	0,27	0,96%	0,33633	1,00
Deneme-3	202,29	0,83	0,91	0,72	2,58%	0,94566	2,36
Yu (2005b)	4,47	0,84	0,92	0,74	2,58%	0,94954	2,38
Huarng (2001a) O.T.	4,44	0,86	0,92	0,77	2,72%	0,95785	1,90
Liu (2007)	18,30	0,86	0,92	0,77	2,72%	0,95785	1,90
Huarng (2001a) D.T.	4,55	0,86	0,93	0,80	2,80%	0,95669	2,00
Deneme-5	27,66	0,91	0,96	0,77	2,75%	1,00327	2,60
Chen (1996)	4,21	0,93	0,97	0,82	2,87%	0,99751	2,00
Singh&Borah (2013a)	4,20	0,97	0,98	0,78	2,79%	1,02902	2,80
Singh&Borah (2013b)	3,75	1,00	1,00	0,79	2,83%	1,04707	2,89
Deneme-6	50,39	1,15	1,07	0,83	2,95%	1,10855	3,60
Hwang ve diğ. (1998)	8,20	1,66	1,29	1,04	3,68%	1,35504	3,70
Deneme-1	4,44	1,78	1,34	1,01	3,61%	1,41231	4,13
Deneme-7	5,04	1,79	1,34	1,01	3,61%	1,43568	4,44
Deneme-8	7,34	1,80	1,34	1,02	3,65%	1,43641	4,04
Deneme-2	4,46	4,12	2,03	1,63	5,93%	2,18858	5,53
Chen (2002)	4,10	31,63	5,62	1,39	5,02%	6,18002	28,90

İncelenen bu 4 zaman serisine göre hata sonuçları ile en başarılı modeller; deneme-8, deneme-7, deneme-4, Singh (2008), Chen (2002), Stevenson & Porter (2009) şeklinde belirlenebilmektedir. Veri sayısı az olduğu için bir kısmıyla modelin tahmini (eğitim süreci), kalan kısmıyla gelecek tahmini yapılamamıştır.

4.2.5 Radyasyon test verisi ile uygulama

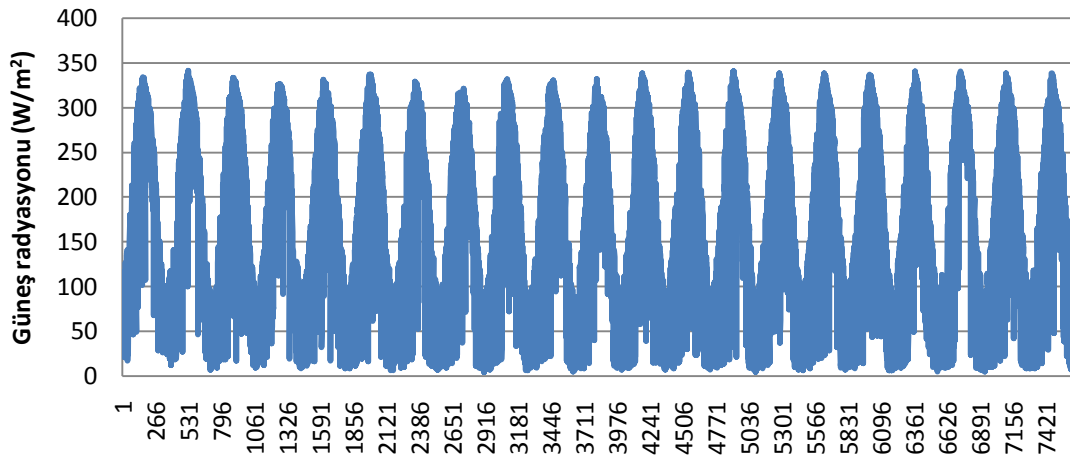
Diğer verilerle yapılan uygulamadan farklı olarak, radyasyon test verisinin mevsimsel olması nedeniyle hem orijinal haliyle hem de mevsimsellikten arındırılarak uygulamalar yapılmıştır. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi verinin yapısında düzenli, sistematik tekrar eden dalgalanmalar mevcuttur. Verilerin durağanlığı için korelogram incelenmiş, birim kök testi uygulanmıştır. Buna göre yaklaşık %99 olasılıkla durağan gözükmemektedir. Bu nedenle dönüştürme işlemi yapılmamıştır. Mevsimsellik, günlük verilerde 365 gün, aylık verilerde ise 12 ay sonra gözlenmektedir ve mevsimsel indeksler buna göre hesaplanmıştır.

Öncelikle 1985-2005 yılları için günlük, aylık, günlük*mevsimsel indeks, aylık*mevsimsel indeks şeklinde 4 uygulama yapılmıştır. Ardından 1985-1999 yılları için başarılı olan modeller çalıştırılarak 2000-2005 yılları için gelecek tahminleri yapılmıştır. Gerçek veriyle hata hesaplamaları yapılarak modeller karşılaştırılmıştır.

Ayrıca kalıntıların kontrolü de gerçekleştirilmiş, rastsal ve beyaz gürültü sürecine ait olmaları sonucunda modellerin başarılı olduğuna karar verilmiştir.

4.2.5.1 Günlük radyasyon test verisi ile uygulama

Günlük radyasyon test verisi, Şekil 4.11'deki grafiğinden görüldüğü gibi mevsimsel yapıya sahiptir. Öncelikle dönüşüm yapılmadan orijinal veriyle tahmin modelleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.7). Hata değerlerine göre en başarılı 3 model; deneme-8, deneme-7 ve Singh (2008) modelleri olarak bulunmuştur. Chen (2002) 2.dereceden modeli ise 4.sırada yer almıştır. Burada 3.dereceden Chen (2002) modeli de test edilmiştir fakat daha az başarılı bulunmuştur. Deneme-4 modeli ise MAD, MAPE ve Theil-U ölçütlerine göre iyi bir model sayılabilir.



Şekil 4.11 : Günlük radyasyon test verisinin grafiği.

Çizelge 4.7 : Günlük radyasyon test verisinin hata sonuçları.

Model	Süre (sn)	MSE	RMSE	MAD	MAPE	Theil-U	Maksimum hata
Deneme-8	143,65	0,25	0,50	0,49	0,78%	0,00929	0,99
Deneme-7	15,75	2,27	1,51	1,25	1,72%	0,02435	4,35
Singh (2008)	27,78	2,38	1,54	1,31	2,28%	0,02914	4,25
Chen (2002) derece=2	791,69	173,42	13,17	1,82	2,38%	0,03792	335,00
Stevenson&Porter (2009)	8,71	766,37	27,68	17,79	17,99%	0,20491	100,40
Yu (2005b)	18,33	3.978,23	63,07	46,77	90,18%	0,86951	269,80
Chen (2002) derece=3	765,20	3.997,45	63,23	38,69	51,34%	0,69100	335,00
Deneme-3	609,67	4.465,90	66,83	50,71	120,38%	0,93858	276,07
Deneme-4	2915,32	5.000,17	70,71	27,40	24,10%	0,45060	340,00
Deneme-5	1789,76	5.073,31	71,23	55,24	141,99%	1,13261	272,12
Singh&Borah (2013a)	10,78	5.124,60	71,59	55,41	143,65%	1,16454	279,74
Singh&Borah (2013b)	9,96	5.133,89	71,65	55,44	143,74%	1,16465	280,23
Chen (1996)	20,18	5.179,68	71,97	61,09	138,56%	1,21783	216,09
Hwang ve diğ. (1998)	421,40	5.555,43	74,53	51,65	77,52%	1,06012	413,00
Huarng (2001a) D.T.	23,50	9.690,84	98,44	87,87	202,83%	2,08939	170,75
Huarng (2001a) O.T.	23,91	10.339,04	101,68	90,63	217,71%	2,43847	176,00
Liu (2007)	24,59	10.339,04	101,68	90,63	217,71%	2,43847	176,00
Deneme-2	8,56	16.732,60	129,35	107,11	69,86%	1,14206	302,37
Deneme-1	9,31	18.889,88	137,44	115,09	74,39%	1,18897	316,41
Deneme-6	414,55	48.580,19	220,41	134,51	151,13%	1,14010	1.130,99

Verileri mevsimsellikten arındırmak için mevsimsel indeksler kullanılmıştır. Hareketli ortalamalara oran hesaplanarak yıllık indeksler standartlaştırılmıştır. Şubat ayı artık yıllarda 29 gün olduğu için, bu güne ait eksik kalan indeks interpolasyonla tahmin edilmiştir. Veriler mevsimsel indekslere bölünerek, mevsimsellikten arındırılmıştır. Çizelge 4.7’deki en başarılı 5 model ve mevsimsellikten arındırılmış veriler kullanılarak uygulamalar yapılmıştır. Burada tahminler hesaplandıktan sonra mevsimsel indekslerle tekrar çarpma işlemi yapılmıştır. Sonuçlarda hata hesaplamaları yapıldığında, Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi en başarılı model deneme-8 olarak belirlenmiştir. Ayrıca orijinal veri yerine, mevsimsel indekslerle hesap yapıldığında bazı hata sonuçlarının azaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.8 : Günlük verinin mevsimsel indekslerle hata sonuçları.

Model	Süre (sn)	MSE	RMSE	MAD	MAPE	Theil-U	Maksimum hata
Deneme-8	223,46	0,11	0,33	0,25	0,260%	0,00284	1,28
Deneme-7	21,02	2,41	1,55	1,13	1,258%	0,01355	6,87
Singh (2008)	31,25	2,99	1,73	1,29	1,317%	0,01405	6,95
Chen (2002) derece=2	759,50	93,89	9,69	1,56	1,399%	0,02354	331,00
Stevenson&Porter (2009)	16,09	610,38	24,71	15,93	17,432%	0,20305	101,33

Ayrıca 1985-1999 yılları için modeller uygulanarak, 2000-2005 yılları için gelecek tahminleri hesaplanmıştır. Günlük verilerle test edildiğinde Chen (2002) 2.derece

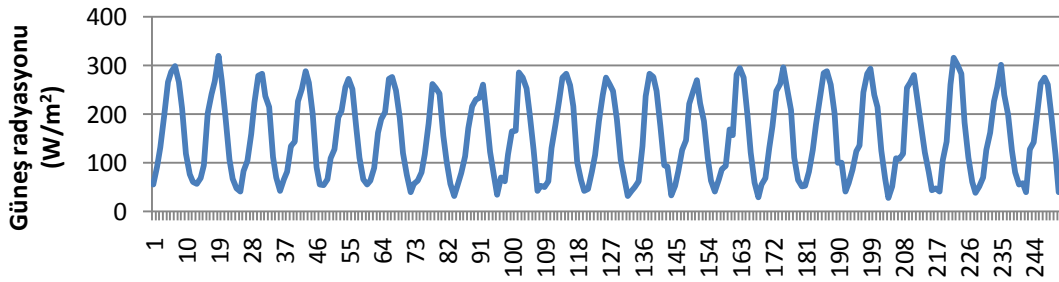
model ($MSE = 6.948,00$), günlük*mevsimsel indeks verileriyle test edildiğinde ise deneme-8 ($MSE = 3.425,43$), deneme-7 ($MSE = 3.445,59$) ve Singh (2008) ($MSE = 3.445,61$) modelleri diğer modellere göre daha az hata üretmiştir.

Klasik zaman serilerinde mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemi kullanıldığında ise $MSE = 4.155,60$ bulunmuştur. Burada mevsimsellikten arındırılmış veri kullanılarak regresyon yardımıyla doğrusal trend tahmini yapılmış ve trend tahmin değerleri ile mevsimsel indeksleri çarparak son tahmin değerlerine ulaşılmıştır. Buna göre günlük mevsimsel veri için; mevsimsel düzeltme kullanılan bulanık modeller, klasik zaman serisi yönteminden daha iyi sonuç vermiştir.

Yapılan tüm tahminlerde kalıntılar analiz edilerek beyaz gürültü sürecine ait olup olmadığı gözlenmiştir. Rastasal olarak dağılmaları nedeniyle modellerin uygunluğuna karar verilmiştir.

4.2.5.2 Aylık radyasyon test verisi ile uygulama

Aylık radyasyon test verisi, Şekil 4.12’de görüldüğü gibi aylık olarak mevsimsel bir yapıya sahiptir. Öncelikle dönüşüm yapılmadan orijinal veriyle tahmin modelleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.9). Buna göre en başarılı modeller; deneme-8, deneme-7, Chen (2002) 2.derece model, Singh (2008) ve deneme-4 modelleri olmuştur.



Şekil 4.12 : Aylık radyasyon test verisinin grafiği.

Daha sonra mevsimsellikten arındırarak hesaplamalar yapılmış ve aylık*mevsimsel indeks şeklinde tahminler üretilmiştir. Günlük veride olduğu gibi hareketli ortalamalara oran ile mevsimsel indeksler hesaplanmış (Makridakis ve Wheelwright, 1989), veriler indekslere bölünerek mevsimsellikten arındırılmış, bu haliyle tahminler üretilmiş ve son olarak indekslerle tekrar çarpılmıştır. Çizelge 4.10’da görüldüğü gibi tüm hata değerlerine göre en başarılı modelin deneme-8 olduğu söylenebilmektedir. Mevsimsel indekslerle hesap yapıldığında hata sonuçlarının iyileştiği görülmektedir. MSE değerlerine göre yapılan sıralama Çizelge 4.9 ile

benzerdir. Burada deneme-4 modeli, Singh (2008) modelinden daha iyi performans göstermiştir.

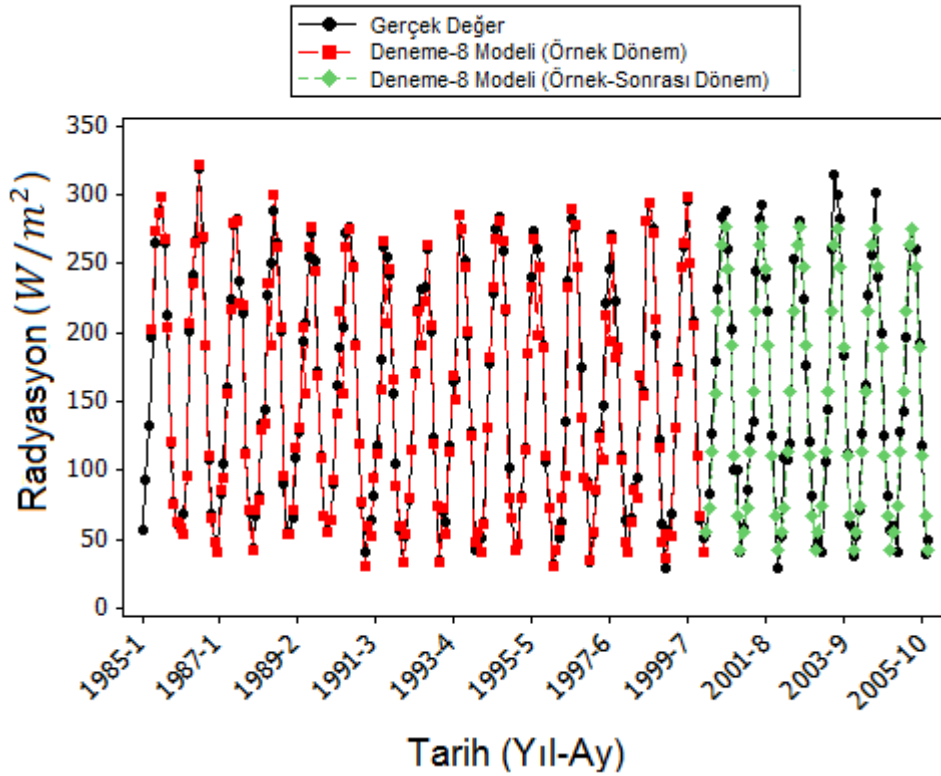
Çizelge 4.9 : Aylık radyasyon test verisinin hata sonuçları.

Model	Süre(sn)	MSE	RMSE	MAD	MAPE	Theil-U	Maksimum hata
Deneme-8	9,56	0,09	0,30	0,25	0,25%	0,00864	0,59
Deneme-7	5,49	1,76	1,33	1,08	0,90%	0,02989	3,00
Chen (2002) derece=2	6,30	1,95	1,40	1,18	1,12%	0,03591	2,50
Singh (2008)	4,51	2,16	1,47	1,24	1,19%	0,03808	2,92
Deneme-4	1058,85	2,40	1,55	1,21	1,23%	0,04216	11,08
Stevenson&Porter (2009)	4,70	279,05	16,70	11,71	9,06%	0,23646	80,04
Singh&Borah (2013a)	5,09	978,39	31,28	19,10	18,74%	0,57700	137,69
Deneme-5	218,49	1.245,59	35,29	23,57	24,65%	0,71382	132,26
Singh&Borah (2013b)	4,95	1.251,99	35,38	23,91	25,98%	0,73588	126,62
Deneme-3	35,96	1.503,10	38,77	29,83	30,71%	0,79198	124,03
Chen (1996)	4,80	1.614,42	40,18	32,50	30,18%	0,78645	110,83
Yu (2005b)	5,38	2.314,01	48,10	38,76	35,26%	0,90688	145,17
Hwang ve diğ. (1998)	4,78	2.446,78	49,46	40,95	35,55%	1,13739	125,09
Chen (2002) derece=3	5,51	2.468,19	49,68	40,70	33,52%	1,07773	132,90
Huarng (2001a) D.T.	4,45	2.628,29	51,27	43,70	45,00%	1,07907	114,68
Huarng (2001a) O.T.	4,55	2.628,29	51,27	43,70	45,00%	1,07907	114,68
Liu (2007)	4,67	2.628,29	51,27	43,70	45,00%	1,07907	114,68
Deneme-6	138,51	9.036,52	95,06	69,30	57,28%	1,35820	263,01
Deneme-2	5,17	19.518,10	139,71	111,96	60,35%	1,76078	301,03
Deneme-1	5,11	19.732,94	140,47	112,52	60,70%	1,76878	301,03

Çizelge 4.10 : Aylık verinin mevsimsel indekslerle hata sonuçları.

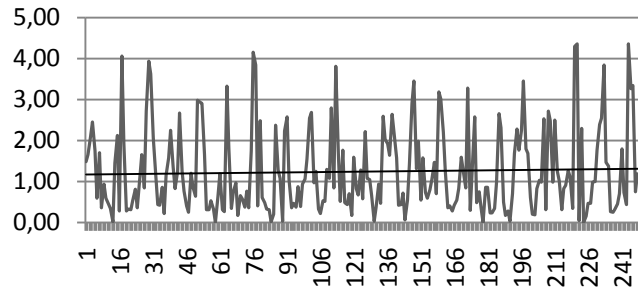
Model	Süre(sn)	MSE	RMSE	MAD	MAPE	Theil-U	Maksimum hata
Deneme-8	13,43	0,106	0,33	0,243	0,16%	0,00503	1,14
Deneme-7	5,79	1,218	1,10	0,794	0,62%	0,02226	4,28
Chen (2002) derece=2	4,69	2,575	1,60	1,238	0,83%	0,02537	4,35
Deneme-4	1027,28	2,584	1,61	1,236	0,84%	0,02756	4,35
Singh (2008)	3,70	3,133	1,77	1,339	0,90%	0,02729	5,65
Singh&Borah (2013b)	8,53	252,275	15,88	10,991	8,73%	0,29345	68,31
Deneme-5	171,38	262,728	16,21	11,257	9,04%	0,29641	69,78
Singh&Borah (2013a)	9,25	281,647	16,78	11,418	9,09%	0,30471	77,47
Yu (2005b)	8,78	303,696	17,43	13,234	11,35%	0,40275	61,76
Deneme-3	42,90	312,169	17,67	12,899	10,73%	0,35205	68,68
Chen (1996)	8,54	362,478	19,04	14,203	10,91%	0,35509	69,68
Chen (2002) derece=3	8,88	461,972	21,49	15,316	14,18%	0,49877	75,40
Huarng (2001a) D.T.	8,67	462,430	21,50	16,221	12,39%	0,40453	61,49
Stevenson&Porter (2009)	8,84	497,486	22,30	12,161	7,59%	0,26887	92,00
Huarng (2001a) O.T.	9,02	531,182	23,05	17,551	13,81%	0,43482	76,09
Liu (2007)	9,06	531,182	23,05	17,551	13,81%	0,43482	76,09
Deneme-6	103,12	820,548	28,65	20,745	16,21%	0,59729	84,71
Hwang ve diğ. (1998)	9,19	1.024,219	32,00	22,297	17,16%	0,65953	181,65
Deneme-1	9,15	3.073,820	55,44	46,734	29,02%	0,87828	125,05
Deneme-2	8,70	3.076,533	55,47	46,828	29,15%	0,87844	123,84

Ayrıca 1985-1999 yılları için modeller uygulanarak, 2000-2005 yılları için tahminler hesaplanmıştır ve aylık verilerle test edildiğinde Chen (2002) modeli ($MSE = 8.329,22$), aylık*mevsimsel indeks verileriyle test edildiğinde ise deneme-8 modeli ($MSE = 336,92$), Singh (2008) modeli ($MSE = 406,29$) ve deneme-7 modeli ($MSE = 410,70$) diğerlerinden daha az hata üretmiştir. Klasik zaman serilerinde mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemi kullanıldığında ise $MSE = 557,21$ bulunmuştur. Günlük veridekine benzer şekilde regresyon ile trend tahmini yapılarak hesaplanmıştır. Buna göre bulanık modeller, aylık mevsimsel veri için indekslerle hesaplama yapıldığında, klasik zaman serisi yönteminden daha iyi sonuç vermiştir. En başarılı bulunan deneme-8 modeline ait 1985-2005 yılları için tahmin değerleri EK C (Çizelge C.1) içinde listelenmiştir. Gerçek değerlerle tahmin değerlerinin birbirine yakınlığı görülmektedir. Ayrıca bu model diğer yöntemlerle kıyaslanırken, otomatik ve hızlı hesaplama yeteneği ile keyfi değer girişi gerektirmemesi avantajları göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 4.13'te ise örnek dönem ve örnek-sonrası dönem tahminleri için deneme-8 modelinin gerçek veriyle olan farkı gösterilmiştir. Tahminler gerçek değerlere çok yakın çıkmıştır ve bu model en başarılı tahmin yöntemi olarak bulunmuştur.



Şekil 4.13 : Gerçek değerler ile deneme-8 modeli tahminlerinin karşılaştırılması.

Ayrıca yapılan tüm tahminlerde kalıntılar analiz edilerek, beyaz gürültü sürecine ait olup olmadığı araştırılmıştır. Kalıntıların rastsal olarak dağılmaları nedeniyle modellerin uygunluğuna karar verilmiştir. Örnek olarak, Şekil 4.14'te Chen (2002) 2.dereceden modelin aylık*mevsimsel indeks verileriyle gerçekleştirilen tahmin sonucuna göre kalıntılarının (hataların) grafiği gösterilmiştir. Grafikten kalıntıların durağan olduğu ve düzensiz rastsal yapıda olduğu görülmektedir. Ayrıca birim kök testi ile durağanlığı doğrulanmıştır.



Şekil 4.14 : Chen (2002) 2.derece modelin kalıntılarının grafiği.

4.3 Yöntem Seçimi

Literatürde güneş radyasyon ve enerjisi tahmini için çoğunlukla fiziksel modeller (NWP), istatistiksel yöntemler ve yapay zeka teknikleri uygulanmıştır. Güneş radyasyonu tahmin yöntemleri arasında en yaygın kullanıma sahip olan fiziksel modeller, birçok açıklayıcı değişken ve meteorolojik parametreyi dikkate alarak model geliştirmektedir. Bu modellerin uzun dönemli tahminlerde daha iyi oldukları belirlenmiştir. Yapay zeka teknikleri (YSA) doğrusal olmayan verilerde başarılı olup uygulaması karışık olan yöntemlerdir. Öncelikle eğitim sürecinde büyük miktarda veriye ihtiyaç duyar ve eğitim süreleri uzun olmaktadır. İstatistiksel yöntemler (zaman serileri, regresyon) ise kısa dönemli tahminlerde başarılı olup, az sayıda parametreyle model kurabilmektedir.

Bu sebeplerle istatistiksel modeller ve bu modeller arasında geçmiş veriye dayanarak tahmin geliştiren zaman serileri analizi tercih edilmiştir. Geçmiş güneş radyasyon verisi ile geleceğe yönelik tahmin gerçekleştirileceği ve herhangi nedensel ilişki araştırılmayacağı için regresyon modelleri kullanılmayacaktır. Zaman serileri analiziyle, nedensel ilişkide olan değişkenlerin seçimi olmayacak, yalnızca zamana göre tek değişkenin otokorelasyonu incelenecektir. Ayrıca sözel veri olmadığı ve sayısal hesaplamalar yapılacağı için kalitatif yöntemler de dikkate alınmamıştır.

Yapay zeka teknikleri ise doğrusal olmayan verilerde başarılıdır fakat uygulanmaları oldukça karmaşıktır. Bu modellerin öncelikle eğitim süreci olması nedeniyle büyük miktarda eğitim verisine ihtiyaç duyulmakta ve eğitim süreleri uzun olmaktadır. Ayrıca Reikard (2009) kısa dönemli tahminlerde zaman serisi yönteminin (ARIMA), diğer modellerden (regresyon, YSA ve hibrid) daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Zaman serileri yöntemleri arasında naif model oldukça basit ve yetersiz kalmaktadır. Ancak tahmin sonuçlarının performansını değerlendirirken kıyaslama amacıyla kullanılabilir. Zaman serilerinde öncelikle verideki bileşenlerin incelenmesi gerekmektedir fakat gerçek hayatta bu bileşenler kolayca fark edilemeyebilir. Bulanık zaman serileri, seri bileşenlerini gözlemlemenin zor olduğu düzensiz durumlarda, belirsizliği ortadan kaldırmada başarılı bulunmuştur. Ayrıca durağanlık gibi varsayımları yoktur ve doğrusal olmayan durumlarda da kullanılabilir. Güneş radyasyon verisinde birçok meteorolojik koşula bağlı olarak belirsizlik ve rastsalılık olduğu için bulanık zaman serisi ile incelenmesi uygun bulunmuştur.

Bu nedenlerle tez çalışması kapsamında, tahmin yöntemi olarak bulanık zaman serileri seçilmiştir ve klasik zaman serisi yöntemleriyle karşılaştırmalı analizinin yapılması hedeflenmiştir. Seçilen ve geliştirilen yöntemlerde tahmin sonuçlarının mümkün olduğunca gerçeğe yakın hale getirilmesi ve hatanın minimize edilmesi istenmektedir. Ayrıca birçok yöntemi karşılaştırmak için aşağıdaki konulara dikkat edilmesi gerekmektedir (Voyant ve diğ, 2013b).

- Uzun dönemde test etmek, yalnızca seçilmiş günlerde değil
- Büyük sapmaları cezalandırmak için RMSE kullanımı
- Birçok bölgede kıyaslama için RMSE'yi normalize etme
- Kümülatif tahmin yapmamak (hatayı ortalar ve düşürür)
- Hataları mevsimlere dağıtmak (enerji tüketimi yıl boyunca değişkendir)
- Birkaç bölgede test etmek (bölgesel iklimi ortadan kaldırmak için)
- Naif tahmin ediciyi referans almak ve önerilen yöntemle kıyaslamak
- Hata için güven aralığı belirlemek

Zaman serileri ve bulanık zaman serileri tahmin yöntemleri arasında güneş radyasyon verisinin yapısına ve özelliklerine en uygun olanlarını belirlemek için test verisiyle denemeler yapılmıştır. Test verisinde yapılan tahminlerin hata ölçüleri hesaplanmış, modellerin çalışma süreleri ve karmaşıklıkları dikkate alınmıştır.

Gerçek radyasyon verisinde tahmin hesaplaması yapmadan önce optimal tahminleri üretebilecek yöntemler belirlenmiştir. Burada tahmin modeli mevcut gerçek radyasyon verisine göre çalıştırılarak geleceğe yönelik öngörüler yapacağı için, radyasyon test verisinde 1985-1999 yılları arasında çalışıp 2000-2005 yıllarına ait tahmin hesaplayan model sonuçları dikkate alınmıştır.

Zaman serisi modelleri ile bulanık zaman serisi modellerini karşılaştırmak amacıyla aylık radyasyon test verisiyle uygulamalar yapılmıştır. 1985-1999 yıllarına göre model eğitilerek, 2000-2005 yıllarına ait aylık tahminler üretildiğinde ve bulanık zaman serisi modellerinde mevsimsel indeksler yardımıyla hesaplamalar yapıldığında Çizelge 4.11'deki hata sonuçlarına ulaşılmıştır. Zaman serilerinde mevsimsellik modelin içinde belirtildiği için indeks hesaplaması yapılmamıştır. Bulanık zaman serilerinde, mevsimselliğin indekslerle ele alınması sonucu daha küçük hatalara ulaşıldığı için bu modeller dikkate alınmıştır. Sonuçlarda MSE değerlerine göre modeller sıralanmıştır. Bu 10 modelin radyasyon test verisi için en başarılı olan modeller olduğuna karar verilmiştir. Bulanık zaman serilerinde yapılan testlerde hem günlük hem aylık verilerde bu modeller öne çıkmaktadır. Bu nedenle gerçek radyasyon verisiyle tahmin için uygulanmaları gerekmektedir.

Çizelge 4.11 : 2000-2005 yılları için aylık radyasyon tahmini hata sonuçları.

Model tipi	Model adı	MSE	RMSE	MAD	MAPE	Theil-U	Maksimum hata
Hibrid BZS	Deneme-8	336,922	18,35	14,34	12,44%	0,3687	51,14
SARIMA	ARIMA(0,1,1)*(0,1,0) ₁₂	399,767	19,99	15,14	14,21%	0,4117	56,28
SARIMA	ARIMA(1,1,1)*(1,1,0) ₁₂	402,366	20,05	15,47	14,14%	0,4082	52,81
BZS	Singh (2008)	406,292	20,16	15,69	12,78%	0,3803	57,03
Hibrid BZS	Deneme-7	410,708	20,26	15,76	12,80%	0,3811	57,35
SARIMA	Log dönüşümü ile ARIMA(0,1,1)*(0,1,0) ₁₂	427,455	20,67	15,62	14,59%	0,4235	57,86
SARIMA	Log dönüşümü ile ARIMA(1,1,1)*(1,1,0) ₁₂	438,954	20,95	16,43	14,92%	0,4252	56,32
Hibrid BZS	Deneme-4, derece=2	526,572	22,95	17,54	17,29%	0,4744	73,79
Klasik ZS	Mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemi	557,213	23,60	18,35	13,90%	0,4104	66,01
BZS	Chen (2002), derece=2	616,800	24,84	18,53	18,26%	0,5775	82,60

Hata sonuçlarının yanı sıra zaman serisi modelinin uygulama kolaylığı, hesaplama süresi gibi ölçütler de dikkate alınmalıdır. Zaman serisi modellerinde birçok deneme yanılma sonucu tahmin modeline ulaşılabilirdiği için uygulanabilirliği az olmaktadır.

Bulanık zaman serileri, hem varsayımlara gerek duymaması hem de program sayesinde çok kısa sürede hesaplaması sayesinde daha avantajlı gözükmemektedir. Geliştirilen hibrid deneme modelleri, mevcut bulanık zaman serisi modellerinin eksik yanlarını tamamlamaktadır. Örneğin deneme-8 modeli, Singh (2008) modelinin geliştirilmiş versiyonudur; istatistiksel tanımlarla hesaplama yapar ve keyfi değer atanması gerekmez. Mümkün olduğunca keyfi değerlerden, uzman görüşlerinden, sübjektiflikten uzak ve otomatik, kısa sürede tahmin hesaplayan model, en başarılı tahmin modeli olarak ele alınmalıdır.

4.4 Geçmiş Veri

Güneş radyasyonu için tahmin yöntemleri incelendikten sonra gerçek verilerde uygulanması ve sonuçların bir güneş enerjisi sisteminde kullanılması amaçlanmıştır. Güneş enerjisi uygulamasına geçmeden önce enerji hesabında kullanılmak üzere güneş radyasyon ve sıcaklık verisi tahminleri yapılacaktır. Bunun için gerçek ölçülmüş verilere ihtiyaç vardır. Çeşitli ülkelere ait güneş radyasyonu ölçüm verileri, ilgili kurumların veritabanlarında, yazılımlarda veya internet sayfalarında yer alabilmektedir. Verilerin mevcut olabileceği kaynaklar aşağıda listelenmiştir.

- a. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, TÜMAS'da (Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi) uzun yıllar için güneş radyasyonu ve güneşlenme şiddeti ölçümleri vardır.
- b. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nde saatlik, günlük ve aylık olmak üzere Ankara, Antalya, İzmir, Aydın, Adana, Isparta, Kayseri, Balıkesir, Erzincan, Yalova, Bodrum, Yozgat, Birecik bölgelerine ait ölçümler mevcuttur.
- c. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde İstanbul için 1972-2013 yıllarına ait saatlik, günlük, aylık verilere ulaşılabilmektedir.
- d. ABD Enerji Departmanı, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nda (NREL), Amerika eyaletlerine ait 1961-2010 yılları için saatlik veri bulunmaktadır. Ayrıca PVWatts çevrimiçi yazılımı ile Amerika'ya ait aylık ve yıllık enerji üretimi, güneş radyasyon tahmini sunulmaktadır.
- e. Sponsoru NASA olan, Yüzey Meteoroloji ve Güneş Enerjisi (SSE) sitesinde enlem ve boylam belirterek 1983-2005 yılları için bölgesel ve günlük veriye

ulaşılabilmektedir.

- f. Çevrimiçi yazılım olan PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) ile Avrupa ve Afrika ülkeleri için, 2001-2012 yıllarına ait aylık veya yıllık ortalama olarak hem enerji miktarı hem de güneş radyasyonu verisi sağlanmaktadır. Yazılım aynı zamanda eğim açısı optimizasyonu da yapmaktadır.
- g. Centre Energétique et Procédés (CEP) tarafından geliştirilen SoDa (Solar radiation Data) ile dakika, saat, gün, hafta, ay için verilere erişilebilmektedir. CEP, mühendislik okulu Mines ParisTech ve ARMINES tarafından oluşturulan ortak bir araştırma laboratuvarıdır.

Uygulama aşamasında mümkün olduğunca fazla sayıda ve birden çok bölgeye ait veriyle yöntemleri test etmek hedeflenmiştir. Öncelikle Türkiye için güneş radyasyonu ölçüm verilerine ulaşılmıştır. Geçmiş verinin elde edilmesi için T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na bağlı olan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün TUMAS (Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi) adlı web sitesi kullanılmıştır. Bu site aracılığıyla Türkiye'nin yedi bölgesine ait birer şehir seçilerek (Ağrı, Ankara, Antalya, İstanbul (Göztepe), İzmir, Mardin, Sinop) 01.01.1985 - 01.01.2014 yılları arasındaki aylık ve günlük radyasyon ile sıcaklık verileri alınmıştır:

- Aylık ortalama günlük toplam global güneşlenme şiddeti (Watt.dak/m²)
- Günlük toplam global güneş radyasyonu (Watt.dak/m²)
- Aylık ortalama sıcaklık (°C)
- Günlük ortalama sıcaklık (°C)

Ancak teslim edilen veriler çoğunlukla 01.06.2003 – 31.12.2013 tarihleri arasındadır. Buradan istenilen şehirler için ölçümlerin bu tarihlerde başladığı anlaşılmaktadır. İzmir için radyasyon verisi alınamamıştır, yalnızca sıcaklık ölçümleri mevcuttur. Radyasyon verileri Watt.dak/m² birimiyle günlük toplam şeklinde verildiği için 60 ile bölünerek Watt.saat/m² (Wh/m²) birimine dönüştürülmüştür. Ayrıca 1000 ile bölünerek kWh/m² birimine dönüştürmek de mümkündür. Meteorolojiden alınan verilerde, bilinmeyen nedenlerle ölçülmeyen eksik değerler olduğu görülmüştür. Bu sebeple interpolasyon kodunu MATLAB programında uygulayarak, eksik değerler verinin seyrine uygun olarak üretilmiştir. Kullanılan interpolasyon yöntemi lineer

(doğrusal) ve kübik olarak belirlenmiş ve sonuçlarda çok fark olmaması sonucu lineer interpolasyon yeterli görülmüştür.

Tüm veriler excel formatında düzenlenerek tahmin yöntemlerinin uygulanması için hazır hale getirilmiştir. Hesaplanan radyasyon tahminleri, o bölgeden elde edilebilecek güneş enerjisi potansiyelini tahmin etmek için gerekli olmaktadır. Verilerin kullanılacağı uygulama güneş enerjili sulama sisteminde optimal boyutlandırma problemi olduğu için, yıllık düzeyde veri yeterli olmayacaktır. Yıllık dikkate alındığında düşük güneş radyasyonu olan aylarda gereken su ihtiyacını karşılamama riski oluşacaktır. Bu nedenle genellikle aylık güneş radyasyon verisi, günlük ortalama değerlerle ifade edilir ve küresel radyasyon şeklindedir (Kenna ve Gillett, 1985). Örneğin Gordon ve Reddy (1988) meteorolojik değişkenler (bulut kaplaması, hava sıcaklığı, rüzgar hızı, bağıl nem) ile güneş radyasyonunun çok güçlü korelasyona sahip olduğunu söylemiştir. Çalışmalarında aylık radyasyon verisi kullanılmıştır çünkü uzun-dönemli iklim ve enerji talep verileri genellikle aylık tabanlıdır ve yıllık ile mevsimsel deterministik trendleri göstermek için bir ay yeterlidir. Bu tez kapsamında da veri sıklığı olarak günlük veya aylık değerler dikkate alınmış ve aylık ortalama küresel güneş radyasyon tahminleri yapılmıştır. Saatlik veya daha az sıklıkta veri bu çalışma için gerekli değildir fakat başka uygulamalar için kullanılabilir. Bu aşamada radyasyon ve sıcaklık verileri için aynı tahmin modelleri uygulanmıştır çünkü her iki verinin mevsimsellik içerdiği ve yüksek korelasyonla benzediği bilinmektedir. Ayrıca tüm dünyada geçerli olacak küresel bir model olması istenmektedir. Enlem-boylam bilgisine göre bölgeye ait veya yoksa en yakın istasyona ait verilere ulaşılmalıdır. Geçmiş ölçüm değerlerine ulaşıldıktan sonra, verinin yapısı incelenir, trend, mevsimsellik, döngüsellik gibi bileşenler analiz edilir, gerekliyse ayrıştırma yöntemleri uygulanır ve veriye uygun tahmin yöntemleri belirlenir.

4.5 Tahmin Değerlerinin Üretilmesi

Bu aşamada global (küresel) güneş radyasyon değerlerinin tahmini, uzun dönem verisi için yapılmış, ortak hata ölçütleri ve uygulama karmaşıklığı dikkate alınarak en uygun yöntem belirlenmiştir. Modelin kısa sürede çözüme ulaşması ve hata değerlerinde minimuma sahip olması hedeflenmiştir. Daha sonra belirlenen en iyi model kullanılarak gelecek yıllara ait tahmin değerleri üretilmiştir.

Uzun dönem verisi tercih edilerek uygulanan tahmin yöntemleri, ortak hata ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Yöntemin uygulama karmaşıklığı, hesaplama süresi gibi ölçütler de dikkate alınmıştır. Yöntemler Minitab, Eviews, Gretl istatistik programları ile MATLAB yazılımı kullanılarak uygulanmıştır. Fakat benzer şekilde SPSS, R, SAS, Statistica, Statgraph, Stata gibi programlarla da uygulama yapmak mümkündür.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen geçmiş radyasyon ve sıcaklık verileri kullanılarak öncelikle mevcut yıllar için tahminler üretilmiştir. Türkiye'nin yedi bölgesine ait şehirlerin (Ağrı, Ankara, Antalya, İstanbul (Göztepe), İzmir, Mardin, Sinop) radyasyon ve sıcaklık tahminleri, zaman serileri ve bulanık zaman serileri yöntemleriyle hesaplanmıştır. Sonrasında geliştirilen hibrid bulanık zaman serisi yöntemleri de aynı verilere uygulanmıştır. Tüm sonuçların gerçek veriye göre hata hesaplamaları yapılmıştır. İllere göre tahmin hataları radyasyon için EK D ve sıcaklık için EK E içinde listelenmiştir. En az hatayı üreten ve uygulama kolaylığı bulunan deneme-8 hibrid bulanık zaman serisi modeli olduğu görülmüştür. Bu nedenle deneme-8 modeliyle gelecek değer tahminleri üretilmiştir. Bölüm 6'da performans karşılaştırması yapmak amacıyla, Çizelge 4.11'de listelenen diğer tahmin yöntemleriyle de gelecek değer tahminleri hesaplanmıştır.

Tahmin sonuçları en iyi yöntemle elde edilip, çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilmektedir. Bu alanlar bir sonraki bölümde detaylı incelenmiştir. Genellikle PV sistemlerinin ömrü 20-25 yıl arasında kabul edilmektedir. Bu nedenle 25 yıl varsayımıyla, geçmiş radyasyon ve sıcaklık ölçüm verileri kullanılarak, öncelikle deneme-8 modeliyle gelecek 25 yıla ait tahminler üretilmiştir. Yedi ilin verilerinde, en az eksik veri olan ve modellerin başarılı çalıştığı Antalya verileri olmuştur. Antalya yüksek güneş enerjisi potansiyeline de bağlı olarak, güneş enerjisi uygulamalarında gelişmektedir. Turizm tesisleri, verimli enerji ve düşük maliyet amacıyla yenilebilir enerjiye yönelmiştir. Bu nedenlerle yalnızca Antalya verileriyle uygulama gerçekleştirilmiştir. Güneş radyasyonu ve sıcaklık verisine en uygun tahmin modelleri ile üretilen gelecek yılların tahminleri, sonraki bölümde anlatılan PV sulama sistemi optimizasyonu modellerine girdi olarak kullanılmıştır.

5. TAHMİN SONUÇLARININ PV SİSTEM TASARIMINDA KULLANILMASI

Bu bölümde öncelikle tahmin sonuçlarını uygulama alanları incelenmiştir. Elde edilen tahminlerin bir PV sisteminin optimizasyon uygulamasında kullanılması planlandığı için, PV sulama sistemleri ve tasarımı detaylı olarak incelenmiştir. Literatürdeki optimal boyutlandırma çalışmaları ve geliştirilen yöntemler araştırılmıştır. Tekno-ekonomik açıdan optimal boyutlandırma gerçekleştiren çok amaçlı optimizasyon model önerileri (Model-1 ve 2) geliştirilmiştir. Bu modeller ve üretilen tahmin verileri kullanılarak, örnek bir PV sulama sisteminde optimal boyutlandırma hesaplamaları yapılmıştır.

5.1 Tahmin Sonuçlarını Uygulama Alanları

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi fotovoltaik (PV) ve termal (ısı) olmak üzere iki şekilde mümkündür. İlkinde güneş ışınları, PV hücrelerinin katı hal fiziksel özelliklerinden yararlanılarak doğrudan elektriğe dönüştürülmektedir. Termal enerjide ise termodinamik dönüşüm gerçekleşmekte ve güneş ışınları, uygun olarak dizilen aynalar ile kazana yönlendirilmektedir. Elde edilen ısı doğrudan veya elektrik üretiminde kullanılabilir.

PV hücreleri, sağlam ve basit tasarıma sahip oldukları için az bakım gerektirmekte ve çıktıları büyük olmaktadır. PV sistemler; basit DB-PV (direkt-bağlı veya bataryalı DB-PV), otonom (tek başına PV, şebekeden bağımsız), hibrid, şebekeye bağlı (yedekleme amaçlı, enerji alışverişi) sistemler şeklinde geliştirilmiştir. Tek başına sistemlerde PV tüm elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Gündüz üretilen elektrik depolanır ve ihtiyaç duyulduğunda, özellikle geceleri, kullanılmaktadır. Şebekeye bağlı sistemlerde ise ihtiyacın genelde %50'si PV'den karşılanmaktadır. Tüm elektrik ihtiyacını karşılamak bu tür sistemlerde daha maliyetli olmaktadır. Üretilen fazla elektrik şebekeye geri satılmaktadır. Elektrik ihtiyacı olduğunda ise şebekeden satın alınmaktadır.

Geniş uygulama alanı olan PV sistemlere olan ilgi her yıl artış göstermektedir (Parida ve diğ, 2011). PV sistem uygulamaları arasında uzak bölgeler için elektrik üretimi, iletişim, soğutma, su ısıtma, sera ısıtma, kurutma, su damıtma ve özellikle tarımsal sulama ve diğer su ihtiyaçları için su pompalama sayılabilmektedir. Tek başına PV sistemleri uzak bölgelerdeki uygulamalarda en uygun tercih olmaktadır ve güneş radyasyonu sistem tasarımı ve boyutlandırmasında önemli bir parametredir (Mellit ve diğ, 2008). Güneş radyasyon verisinin tahminleri, şebekeye bağlı PV sistemlerinin entegrasyonu için kullanılmakla beraber tek başına ve hibrid güneş sistemleri işletiminin optimizasyonunda da önemli olmaktadır. Bu nedenle güneş radyasyonunu daha doğru modellemek ve tahmin etmek için doğru sonuç üreten yöntemler geliştirilmiştir (Mellit ve Pavan, 2010). Doğru tahminler bu tür uygulamaların çıktılarının etkinliğini geliştirmektedir (Hocaoğlu ve diğ, 2008).

Güneş radyasyon tahmin sonuçları elde edildikten sonra, güneş ışığını elektrığe dönüştüren enerji sistemlerinde ve çeşitli uygulamalarda kullanılabilmektedir. Örneğin; PV-jeneratörleri, evapotranspirasyon ve buharlaşma tahminleri, fotosentez ve ekin büyüme tahminleri, hidrolojik süreçlerin tahminleri çeşitli kullanım alanlarıdır (Pandey ve Soupir, 2012). Güneş radyasyon verisi hem enerji sistemlerinin büyüklüklerinin saptanması hem de meteorolojik tahminler için gerekli olmaktadır. Sistem tasarımında özellikle optimal boyutlandırma çalışmaları yoğun ilgi görmektedir. Bu çalışmalarda enerji yükünü karşılamanın yanında sistem güvenilirliği ve ekonomiklik de önemli olmaktadır. Maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle PV sistemlerinde kurulum öncesinde, optimal PV dizi sayısının belirlenmesi veya diğer elemanların seçimi önemli olmaktadır. Uzun veya kısa dönemli güneş radyasyon verisini, güneş enerjisi cihaz üreticilerinin ve sistem tasarımcılarının bilmesi gerekmektedir. Ayrıca akıllı şebeke, sıfır enerji evleri gibi teknolojilerin tasarımı ve planlanması amacıyla da kullanılabilir. Bu veriler ışığında dünya güneş radyasyon haritası çıkarılabilir. Bu tahminler, PV sisteminin kurulum yeri seçimi için de faydalı olmaktadır. Örneğin Haurant ve diğ. (2011) çok kriterli ELECTRE modeli ile enerji, coğrafi-ekonomik, ekolojik, görsel etki, alan kullanımı, finansal etki faktörlerini dikkate alarak kurulum yeri seçmişlerdir.

Güneş radyasyon tahmin sonuçları ile kontrol stratejilerinde optimizasyon, optimal yer seçimi, tek başına, şebekeye bağlı veya hibrid PV sistemlerinde optimal büyüklük belirleme (boyutlandırma) gibi uygulamalar yapılabilmektedir (Mellit ve

Kalogirou, 2008). Örneğin Chen ve diğ. (2012) mikro-şebekedeki enerji depolama sisteminin optimal büyüklüğünü belirlemek için maliyet-kazanç analizine dayanan bir yöntem geliştirmiştir. Bunun için rüzgar hızı ve güneş radyasyonu tahminlerini sırasıyla zaman serileri ve ileri beslemeli YSA ile tahmin etmiştir. Daha sonra karmaşık doğrusal tamsayılı problemini (MLIP) hem ayrık hem şebekeye bağlı mikro-şebekeler için AMPL matematiksel programlama dili yardımıyla çözmüştür. Zhou ve diğ. (2010) ise hibrid güneş-rüzgar güç üretim sistemi için büyüklük optimizasyonunu araştırmıştır. Hem güvenilirlik hem de maliyet analizine göre optimizasyon sağlanan sistemi, simülasyon, yazılım ve çeşitli yöntemlerle modellemek mümkündür. HOMER, HYBRID2, HOGA ve HYBRIDS gibi yazılım araçları kullanılarak sistem modellenabilmektedir. Optimizasyon yöntemlerinde farklı meteorolojik verilere göre senaryolar incelenebilmekte, grafiksel, olasılıklı, iteratif, yapay zeka içeren ve çok amaçlı optimizasyon yöntemleri kullanılabilmektedir. Ana amaç, sistem güvenilirliği ve yatırım maliyeti açısından optimum koşulların elde edilmesidir.

Sistem tasarımında özellikle optimal boyutlandırma çalışmaları yoğun ilgi görmektedir. Maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle PV sistemlerinde kurulum öncesinde, optimal dizi sayısının belirlenmesi veya diğer elemanların seçimi önemli olmaktadır. Literatürde bu konuda yapılmış çeşitli çalışmalar incelenmiştir. Silvestre (2003) tek başına ve şebekeye bağlı PV sistemleri için boyutlandırma yöntemlerini açıklamış, bu amaçla kullanılan programların listesini vermiştir. PV sistem tasarımı; dizilerin boyutları, yönlendirilmeleri ve elektriksel konfigürasyon konularını kapsamaktadır. Ayrıca pil veya evirici (invertör) gibi alt sistemlerin de boyutları belirlenebilir. Tek başına PV sistemlerinde esas dikkat edilen enerji üretiminin yükü karşılamasıdır ama güvenilirlik ve ekonomiklik de önemli olabilir. Şebekeye bağlı sistemler küçük bina entegre sistemlerden PV güç istasyonlarına kadar değişebilmektedir. Güneş radyasyon verisini sağlayan araçlar, olası gölgelenme etkilerini değerlendirir ve dizinin elektriksel tasarımının sonuçlarını üretir. Tek başına PV sistemlerinde boyutlandırma için çoğunlukla iki yöntem kullanılmaktadır: enerji dengesi ve daha karmaşık yöntem olan tedarik güvenilirliği.

Enerji dengesine göre boyutlandırma, günlük yük ve enerji üretimi arasındaki günlük enerji dengesini dikkate alır. Beklenen enerji üretimi temel olarak o bölgedeki güneş radyasyonu ile belirlenir ve pik (zirve) güneş saatleri (*PSH*) kavramıyla incelenebilir.

Uygulamaya bağılı olarak, uygun *PSH* değeri tüm yılın ortalaması veya bir kısmının ortalaması olabilir. Uygun *PSH* değeri sistem işletiminde kritik bir döneme denk gelebilir, örneğin en düşük güneş radyasyon olduğu veya en yüksek yükün olduğu dönem gibi belirlenebilir. Benzer varsayımlar dizinin eğimi için de geçerli olmaktadır. Yıllık ortalama *PSH* değeri bazen güneş radyasyonu yıl içinde büyük değişiklik göstermediğinde uygulanabilir ve pil mevsimsel tampon şeklinde kullanılabilir. İkinci önemli parametre, tipik günlük yük talebidir. *L* ile gösterilen günlük tüketilen toplam enerji miktarı şeklinde düşünülebilir. *PSH* ve *L* değerleri, enerji tedariki ve gereken nominal güç arasındaki (ortalama) günlük dengeyi belirlemektedir. Böylece PV modüllerinin toplam sayısı *N*, $P_0 = L/PSH$ ve $N = P_0/P_{mod}$ formülleriyle hesaplanabilir. P_{mod} standart koşullarda bir modül tarafından üretilen gücü ifade eder. Maksimum güç noktası takibi (MPPT) olan ve olmayan sistemlerdeki güce (P_{max} veya P_{eff}) eşittir.

Tedarik güvenilirliğine bağılı olarak boyutlandırmada, LLP (yük kaybı olasılığı), LCR (yük kapsama oranı), LOPP (güç kaybı olasılığı), LPSP (güç tedarik kaybı olasılığı) gibi parametrelerde sayısallaştırma yapılmaktadır. Burada LLP; tahmin edilen enerji eksikliği, enerji talebine bölünerek hesaplanabilir. Bu tip boyutlandırma yöntemleri genellikle yüksek güvenilirlik istendiğinde kullanılır. İstatistiksel olarak anlamlı olması için, sadece sentetik olarak elde edilebilen uzun dönemli güneş radyasyon verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Daha pratik bir yaklaşım, sistem konfigürasyonunun kesintisiz enerji tedariki sağlayacak şekilde oluşturulmasıdır. Boyutlandırmanın sonuçları sıkça grafiksel olarak gösterilir.

Literatürde yer alan ve PV enerji sistemlerinde büyüklük optimizasyonu yapan çalışmalar Çizelge 5.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1 : PV enerji sistemlerinde büyüklük optimizasyonu çalışmaları.

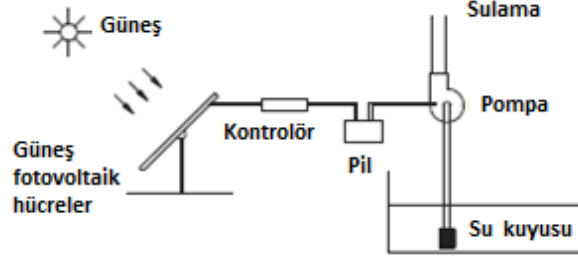
Referans	Kullanılan optimizasyon modeli	Sistem tipi	Parametreler
(Chen ve diğ., 2012)	Maliyet-kazanç analizi, zaman serileri ve ileri beslemeli YSA ile tahmin, karışık doğrusal tamsayılı problemi çözümü	Mikro-şebeke	Rüzgar hızı ve güneş radyasyonu
(Zhou ve diğ., 2010)	Optimizasyon yöntemleri	Hibrid güneş-rüzgar	Rüzgar hızı ve güneş radyasyonu
(Silvestre, 2003)	Optimizasyon yöntemleri	Tek başına ve şebekeye bağlı PV	Güneş radyasyonu
(Kaye, 1994)	Hiyerarşik optimizasyon, toplam sistem maliyetini azaltan iteratif algoritma	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Jakhrani ve diğ., 2012)	Analitik model, izo-güvenilirlik eğrileri, LLP değerleri	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Khatib ve diğ., 2013)	Optimizasyon yöntemleri (sezgisel, sayısal, analitik ve YSA)	Tek başına, şebekeye bağlı, hibrid PV/ dizel ve PV/rüzgar	Rüzgar hızı ve güneş radyasyonu
(Cabral ve diğ., 2010)	Markov zinciri ve Beta dağılımı (LPSP)	Tek başına PV	Ekipman özellikleri, iklim özellikleri ve yük davranışı
(Kaplani ve Kaplanis, 2012)	Stokastik simülasyon, minimum pik gücü, pil depolama kapasitesi ve log-likelihood ile dağılım belirleme	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Barra ve diğ., 1984)	Analitik model	Tek başına PV	Meteorolojik veriler
(Nikhil ve Subhakar, 2012)	Analitik model	Tek başına PV	Güneş radyasyonu ve pil şarj oranı
(Sulaiman ve diğ., 2012)	Evrimsel programlama, teknik ve ekonomik performansı içeren amaç fonksiyonu	Şebekeye bağlı PV	Güneş radyasyonu
(Koutroulis ve diğ., 2006)	Genetik algoritma, toplam sistem maliyeti minimizasyonu	Hibrid güneş-rüzgar	Rüzgar hızı ve güneş radyasyonu
(Mellit ve diğ., 2008)	Analitik model, ANFIS, maliyet minimizasyonu, LLP	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Hocaoğlu, 2010)	Analitik model, 2-D yüzey yaklaşımı	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Luna-Rubio ve diğ., 2012)	Optimizasyon yöntemleri (LPSP, LCE, SOC, LA, EENS, NPV, ACS metrikleri)	Hibrid güneş-rüzgar	Rüzgar hızı ve güneş radyasyonu
(Borowy ve Salameh, 1994)	Analitik model, olasılık yoğunluk fonksiyonları	Tek başına hibrid güneş-rüzgar	Rüzgar hızı ve güneş radyasyonu
(Arun ve diğ., 2009)	Kısıtlı optimizasyon, Monte Carlo simülasyonu	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Markvart ve diğ., 2006)	Analitik model, boyutlandırma eğrisi	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Lalwani ve diğ., 2011)	Analitik model (LPSP)	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Mellit, 2007a)	YSA+GA (izo-güvenilirlik boyutlandırma eğrileri)	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Rizzo ve diğ., 2009)	Analitik model	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Mellit, 2007b)	Yapay zeka yaklaşımları (YSA, bulanık mantık, GA, hibrid)	Tek başına, şebekeye bağlı veya hibrid PV/rüzgar	Rüzgar hızı ve güneş radyasyonu
(Mellit ve Benghanem, 2007)	Yapay zeka yaklaşımları (RBF ağı ve IIR filtresi)	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Balouktsis ve diğ., 2006)	Analitik model	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Ru ve diğ., 2012)	Analitik model	Şebekeye bağlı PV	Güneş radyasyonu
(Kolhe, 2009)	Analitik model (tekno-ekonomik)	Tek başına PV	Güneş radyasyonu
(Chapman, 1990)	Analitik model (3 aşamalı)	Tek başına PV	Güneş radyasyonu

5.1.1 PV sulama sisteminde uygulama

Güneş enerjili su pompalama sistemleri, güneş enerjisinin en verimli ve anlamlı kullanıldığı alanlardandır. Su pompalama işlemi, tarımsal sulama için yapıldığı gibi, uzak bölgelerdeki su ihtiyacını karşılamak için de kullanılabilir. Elektrik şebekesinin her zaman olmadığı uzak yerleşim yerlerinde ve kırsal kesimlerde su pompalama için gereken enerjiyi güneş enerjisiyle karşılamak, tarımsal sulamayı veya su ihtiyaçlarını bu şekilde karşılamak, fosil kaynaklı enerjilere göre daha elverişli olmaktadır. Genel olarak insan veya hayvan gücü, mekanize güç olarak içten yanmalı motor kullanımıyla su taşınmaktadır. Ancak rüzgar pompaları ve güneş pompaları son zamanlarda büyük ilgi görmektedir (Kenna ve Gillett, 1985).

Güneş pompalarının bölge için uygunluğunu belirlemek amacıyla aylık olarak güneş radyasyon verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Yıllık mevcut olan güneş enerjisine göre bir güneş pompasını boyutlandırmak yeterli değildir çünkü düşük güneş radyasyonu olan aylarda gereken su ihtiyacını karşılamama riski oluşur. Bu nedenle genellikle aylık güneş radyasyon verisi, günlük ortalama değerlerle ($\text{MJ/m}^2/\text{gün}$) ifade edilir ve küresel radyasyon şeklindedir. Yerel mikro-iklimler nedeniyle verinin mümkün olan en yakın meteorolojik istasyondan alınması gerekmektedir (Kenna ve Gillett, 1985). Bu güneş radyasyon verisinin doğruluğunu kontrol etmek zordur çünkü ölçme cihazının tipi ve konumuna bağlı olan faktörler gibi çeşitli etmenler bulunmaktadır. Radyasyon verisindeki herhangi hata, PV dizisini boyutlandırmada oransal hatalara neden olacaktır ve bu nedenle birim su maliyeti hesabı da etkilenecektir. Genel olarak radyasyon verisinin $\pm\%10$ hata payına sahip olabileceği kabul edilmiştir (Kenna ve Gillett, 1985).

Su pompalama sistemleri için güneş enerjisi dışında da alternatif uygulamalar söz konusudur. Gopal ve diğ. (2013) yenilenebilir enerji kaynaklarıyla su pompalama sistemleri hakkındaki gelişmeleri araştırmış, 5 ana grupta incelemiştir: güneş PV (Şekil 5.1), güneş termal, rüzgar enerjisi, biyokütle ve hibrid sistemler. Wong ve Sumathy (1999) ise çalışmasında termal su pompalama sistemlerini incelemiştir. Güneş enerjisi, su pompalama haricinde ısıyı mekanik enerjiye dönüştürme problemidir. Düşük sıcaklıklarda mevcut enerjiyi kullanmak için bazı yöntemler geliştirilmiştir.



Şekil 5.1 : Bir güneş PV su pompalama sisteminin tasarımı.

Güneş enerjili PV sulama sistemleri, su kaynağının etkin kullanımı, minimum yükseklik ile yer altı suyuna erişebilme gibi yeteneklere sahip en etkin sulama sistemidir. Bakım maliyeti çok düşük olan, uzun ömürlü, yakıt istemeyen, çevreye zarar vermeyen ve kurulumu kolay olan sistemlerdir (Cuadros ve diğ, 2004). PV sistemleri yüksek maliyeti nedeniyle kurulumundan önce, tüm bileşenleri değerlendirilerek, en optimum büyüklüğünün mümkün olduğu kadar doğru belirlenmesi gerekir. PV ile sulama sistemleri için pompalama sisteminin optimal boyutunu belirleyen çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Literatürde yer alan bazı uygulamalar Çizelge 5.2’de özetlenmiştir. Güneş PV su pompalama sistemlerinde optimal boyutlandırma, güneş radyasyon ölçümlerindeki belirsizlik nedeniyle oldukça etkilenmektedir. Bu nedenle PV panellerinin doğru boyutlandırılması için güneş yoğunluğu doğru ölçülmelidir.

Yeşilata ve Fıratoğlu (2008), PV pompalama sisteminin büyüklüğünün belirlenmesi için doğru güneş radyasyon verisinin öneminden bahsetmiştir. Hatalı güneş radyasyonu model seçiminin, PV pompalama sisteminin yanlış boyutlandırılmasına neden olacağından bahsetmişlerdir. Ayrıca radyasyon verisinin, hesaplamaları doğrusal olmayan şekilde etkilediği söylenmiştir. Bazı güneş radyasyon korelasyonlarının (üstel, polinomial veya sinusoidal), PV pompalama sisteminin çıktısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar uzun dönemli güneş radyasyon ölçümleriyle kıyaslanmıştır. Buna göre ölçümler ve uygun korelasyon (LJ korelasyonu) kullanımı oldukça fark yaratmaktadır çünkü güneş radyasyon tahminindeki hatalar sistemin güç çıktısını nonlineer olarak etkilemektedir. Burada amaç, PV pompalama sistemini tasarlarken minimum sayıda PV paneli ile maliyet etkinliğini geliştirebilmektir.

PV sulama sistemleri için literatürdeki sistem tasarımı çalışmaları, sistem yükünü veya sabit talebi ve güvenilirliği etkileyen kontrol değişkenlerini dikkate almaktadır.

Bu amacı tek başına olan bir PV sistemi için, çoğu araştırmacılar LLP (veya LOLP) yardımıyla ifade etmiştir. Yük kaybı olasılığı (LLP), su eksiğinin yaşandığı saatler ile tüketildiği saatler arasındaki oran olarak ifade edilir. Sistem çalıştığı sürece hesaplanır (Hadj Arab ve diğ, 2004). Bir diğer ölçüt olan LPSP (güç tedarik kaybı olasılığı) ise PV su pompalama sistemi (PV dizisi ve su depolama tankı) yük talebini karşılayamayacak durumdayken, yetersiz güç tedarikinin olasılığıdır. Boyutlandırma için kullanılan bir tekniktir. LPSP ile amaç fonksiyonu kullanılarak, güvenilirliği gerektiği gibi sağlayan sistem konfigürasyonu oluşturulur. İki parametre kullanılır: PV sisteminin ve su depolama tankının kapasiteleri. Bunların içinden, optimum konfigürasyon en düşük LCC (yaşam döngüsü maliyeti) elde edilen olarak seçilir (Bakelli ve diğ, 2011).

Örneğin Hadj Arab ve diğ. (2004) bir PV pompalama sistemi için LLP değerini tahmin eden yöntem önermiştir. Bakelli ve diğ. (2011) ise farklı pompa yükseklikleri ve depolama gün sayıları ile LPSP kullanmış ve su tankı olan bir sistemin optimal büyüklüğünü belirlemiştir. Ancak özellikle yazın sıcaklığın çok yüksek olduğu yerlerde, insan kullanımı için olan su çok fazla depolanmamalıdır çünkü bazı hastalıkları taşıyabilmektedir.

PV pompalama sisteminin performansı çoğunlukla hava durumuna, PV dizisinin büyüklüğüne, güç koşullandırmaya, motor-pompa birimlerine ve depolama parçalarına bağlı olmaktadır. Çoğu modelde günlük ortalama radyasyon değerleri kullanılarak istenen LLP değerini veren PV sistemin boyutu belirlenmiştir. Enerji kaynağının rastsal doğası gereği, bu modeller güneş kaynağının saatlik değişimlerini göz ardı etmiştir. PV su pompalama sistemleri, PV panel, güç koşullandırma ve motor-pompa birimlerine bağlı olarak son yıllarda hızla gelişmiştir. Ancak su depolamanın tasarımı ve boyutlandırılması daha az ilgi görmüştür. Depo çok küçük olduğunda taşabilmekte ve kullanıcıları memnun edememektedir. Bu atık nedeniyle kişisel tüketimlerde eksiklikler olabilmekte, sulama için satılıp kullanılabilecekken işlem karını düşürmektedir. Eğer depo çok büyük olursa, bu durumda kullanıcılar çok yüksek kurulum maliyetine katlanmak durumunda kalabilmektedir (Bouzidi, 2013).

Çizelge 5.2 : Literatürdeki PV pompalama sistemi optimizasyon çalışmaları.

Referans	Kullanıldığı yer	Uygulama amacı	Optimizasyon tekniği
(Glasnovic ve Margeta, 2007a)	Hırvatistan	PV pompalama sistemi optimal büyüklüğü	Matematiksel hibrid simülasyon optimizasyon modeli (Dinamik programlama)
(Cuadros ve diğ, 2004)	İspanya (zeytin ağacı bahçesi)	PV pompalama sistemi optimal büyüklüğü	3 aşamalı prosedür
(Şenol, 2012)	Türkiye (elma bahçesi)	PV pompalama sisteminde pompa seçimi	LCC ve IRR (iç verim oranı) analizleri
(Dursun ve Özden, 2012)	Türkiye (kiraz ağacı bahçesi)	Otomatik damlalı sulama sistemi tasarımı	Yazılım (ValCon)
(Bouzidi ve diğ, 2009)	Cezayir	PV pompalama ile DG (dizel) sistemin karşılaştırılması	LCC yöntemi
(Badoud ve diğ, 2013)	Cezayir	PV su pompalama sisteminin analizi, modellenmesi ve tasarımı	Zincir grafikleri
(Campana ve diğ, 2013)	İsveç	PV pompalama sistemi optimal tasarımı	Dinamik simülasyon
(Sahin ve Rehman, 2012)	Suudi Arabistan	PV su pompalama sisteminin ekonomik fizibilitesi	Ekonomik analizler (iç verim oranı, geri ödeme süresi ve başlangıç yatırımının enerji maliyetine etkisi)
(Corrêa ve diğ, 2012)	Brezilya	PV pompalama sisteminin geri ödeme süresinin azaltılması	MPPT+MLPT optimizasyonu
(Sallem ve diğ, 2009)	Tunus	PV su pompalama sisteminin optimal kontrolü	Akıllı algoritma (bulanık kurallar)
(Amer ve Younes, 2006)	Mısır	PV su pompalama sisteminin uzun dönemli performans analizi	Tahmin algoritması
(Kaldellis ve diğ, 2011)	Yunanistan	PV pompalama sistemi performans analizi	Hata analizi
(Kaldellis ve diğ, 2009)	Yunanistan	PV pompalama sistemi optimal büyüklüğü	Analitik yöntem ve deneysel ölçümler
(Benghanem ve diğ, 2014)	Suudi Arabistan (Madinah)	PV su pompalama sisteminde pompalama başının etkisi	Analitik yöntem ve deneysel ölçümler
(Odeh ve diğ, 2006)	Ürdün	Pompalama başının, güneş ışınının ve PV dizi boyutunun, PV su pompalama sisteminin performansına etkilerini	Geçici simülasyon modeli (TRNSYS) ve LCC analizi
(Hadj Arab ve diğ, 2004)	Cezayir	PV su pompalama sisteminde LLP tahmini	LLP yöntemi
(Hamidat ve Benyoucef, 2008)	Cezayir	PV motor-pompa sistemlerinde boyutlandırma	Matematiksel model (Newton–Raphson yöntemi)
(Ould-Amrouche ve diğ, 2010)	Cezayir	PV su pompalama sistem tasarımı	Matematiksel model (3.dereceden polinomla ifade edilmiştir) + LCC analizi
(Fıratoglu ve Yeşilata, 2004)	Türkiye (Şanlıurfa)	Direkt-çiftleşmiş PV su pompalama sisteminin kullanımını iyileştirmek	Çok aşamalı ve basit, hızlı optimizasyon modeli, doğrusal arama yöntemi
(Bouzidi, 2013)	Cezayir	PV su pompalama sistem tasarımı	LPSP + LCC yöntemi
(Semaoui ve diğ, 2013)	Cezayir	Tek başına bir PV sisteminin boyutlandırılması	Matlab-Simulink programıyla geliştirilen model
(Bakelli ve diğ, 2011)	Cezayir (Ghardaia bölgesi)	PV pompalama sistemi optimal büyüklüğü	LPSP + LCC yöntemi
(Glasnovic ve Margeta, 2007b)	Hırvatistan	PV pompalama sistemi optimal büyüklüğü	Dinamik programlama
(Hamidat ve Benyoucef, 2009)	Cezayir	Uzak ve seyrek kasabalar için içme suyu sağlayan PV pompalama sistemi	LLP yöntemi
(Sharma ve Siddhartha, 2012)	Hindistan	Güneş enerji sistemlerinde optimizasyonu	Stokastik teknikler

Optimal büyüklük belirlemek için literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Maliyet-kazanç analizi ve doğrusal tamsayılı programlama (Chen ve diğ, 2012)
- Güvenilirlik ve yatırım maliyeti optimizasyonu için HOMER, HYBRID2, HOGA, HYBRIDS, MATLAB-Simulink gibi simülasyon yazılım araçlarının kullanımı (Zhou ve diğ, 2010)
- Optimizasyon yöntemleri ile analitik model çözümü (Silvestre, 2003; Kaye, 1994; Khatib ve diğ, 2013; Mellit ve diğ, 2008; Hocaoğlu, 2010; Arun ve diğ, 2009; Markvart ve diğ, 2006; Rizzo ve diğ, 2009; Kolhe, 2009; Balouktsis ve diğ, 2006; Chapman, 1990), dinamik programlama (Glasnovic ve Margeta, 2007a; 2007b), matematiksel model (Newton-Raphson yöntemi) (Hamidat ve Benyoucef, 2008), stokastik teknikler (Sharma ve Siddhartha, 2012).
- Enerji dengesine göre boyutlandırma; günlük yük ve enerji üretimi arasındaki günlük enerji dengesini dikkate alır.
- Tedarik güvenilirliğine göre boyutlandırma; LLP (yük kaybı olasılığı), LCR (yük kapsama oranı), LOPP (güç kaybı olasılığı), LPSP (güç tedarik kaybı olasılığı) gibi parametrelerde sayısallaştırma yapılmaktadır. Burada izo-güvenilirlik eğrileri de kullanılmaktadır (Jakhrani ve diğ, 2012; Mellit ve diğ, 2008; Lalwani ve diğ, 2011; Mellit, 2007a; Hadj Arab ve diğ, 2004).
- Ekonomik değerlendirme yöntemleri: geri ödeme süresi, iç verim oranı, yaşam döngüsü maliyetleri (LCC) (Bouzidi, 2013; Bakelli ve diğ, 2011; Şenol, 2012; Bouzidi ve diğ, 2009)

Ayrıca PV üretimini maksimize etmek için, panellerin eğim açısı da optimize edilmelidir (Gopal ve diğ, 2013). Literatürdeki eğim açısı optimizasyonu çalışmaları Çizelge 5.3'te özetlenmiştir. Listelenenlerin dışında maksimum enerji kazanımı için optimum eğim açısı ve yönlendirmeyi hesaplayan diğer çalışmalar şu şekilde sıralanabilir: Suriye için (Skeiker, 2009), Kıbrıs için (Ibrahim, 1995a), Türkiye için (Bakırcı, 2006).

Çizelge 5.3 : Literatürdeki eğim açısı optimizasyonu çalışmaları.

Referans	Amaç	Model
(Seme ve Štumberger, 2011)	İki-eksenli takip eden PV sisteminin yörüngesini belirleme	Doğrusal olmayan ve sınırlı optimizasyon problemi
(Mehleri ve diğ., 2010)	Optimum eğim açısı ve güneş panellerinin yönlendirilmesi	Kısıtlı optimizasyon problemi
(Kacira ve diğ., 2004)	PV panelleri için optimum eğim açısı ve yönlendirme	Matematiksel model ve program kullanımı
(Bakırcı, 2012)	Eğim açısı optimizasyonu	Maksimizasyon problemi ve MATLAB
(Kaçan ve Ülgen, 2012)	Güneş enerjisi toplayıcılarının optimum eğim açısı	Hesaplama algoritması
(Rowlands ve diğ., 2011)	Eğim ve azimut açılarını belirlemek	ESP-r simülasyon programı kullanımı
(Chang, 2010)	Sabit ve güneye bakan PV modüllerinin optimum eğim açısı	Doğrusal olmayan zamana bağlı gelişim ile PSO optimizasyon yöntemi (PSO-NTVE)
(Benghanem, 2011)	Optimum eğim açısı	Eğri uydurma (2.derece polinom) ve MATLAB
(Lave ve Kleissl, 2011)	Optimum eğim ve azimut açıları	Page modeli, kısıtsız doğrusal olmayan optimizasyon problemi ve MATLAB kullanımı
(Siraki ve Pillay, 2012)	Güneş panellerinin optimum eğim açısı	Gökyüzü modeli
(Yadav ve Chandel, 2013)	Eğim açısı optimizasyonu	Sezgisel yöntemler

5.2 PV Sulama Sisteminde Optimizasyon

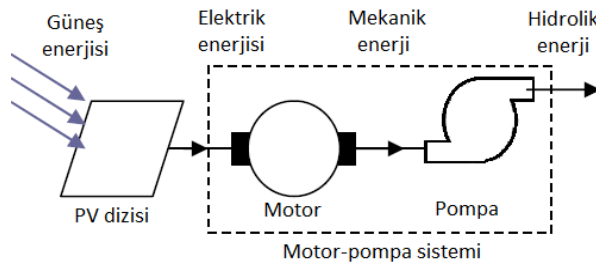
PV sulama sistemleri, elektrik şebekesinden uzak bölgelerde verimli ve maliyet etkin olmaktadır. Özellikle güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkelerde su ihtiyaçları ve tarımsal sulama için PV sulama/pompalama sistemleri sıklıkla uygulanmış ve araştırılmıştır. Genellikle şebekeye uzak bölgelerde kurulduğu için, tek başına veya direkt-bağlı PV sistemler tercih edilmiştir. Literatürde bu konuda birçok çalışma mevcuttur. Bazı çalışmalar PV sulama sistemleri hakkında detaylı araştırma ve deneysel ölçümler yapmıştır. Bazıları ise sulamada bitkilerin su ihtiyaçlarını tahmin edecek yöntemleri geliştirmiştir. Bu tez çalışması kapsamında, yüksek etkinliği ve gelişime açık bir alan olması nedeniyle güneş enerjisiyle tarımsal sulama esas alınmıştır. Bir tarla için gereken su miktarını PV su pompalama sistemiyle elde etmek ve bu sistemi optimal tasarlamak istenmektedir. Güneş pompalarının bölge için uygunluğunu belirlemek amacıyla aylık olarak güneş radyasyon verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca güneş PV su pompalama sistemlerinde optimal boyutlandırma, güneş radyasyon ölçümlerindeki belirsizlik nedeniyle oldukça etkilenmektedir. Bu nedenle PV panellerinin doğru boyutlandırılması için güneş yoğunluğu doğru ölçülmelidir.

5.2.1 PV sulama sistemi hakkında genel bilgi

Günümüzde PV teknolojileri birçok alanda geliştirilmeye başlanmıştır. Bunlardan en ilginç, PV birimlerinin su pompalama için kullanılmasıdır. PV pompalama sistemleri hem sulama hem de içilebilir su ihtiyaçlarını karşılamak için, özellikle elektrik şebekesinin her zaman olmadığı uzak bölgelerde uygulanmaktadır (Kaldellis ve diğ, 2011).

Sulama için temel olarak, bir su kaynağından toprağa su iletilir. Enerji gerektiren bu hareket için mekanik araç gereçler bulunmaktadır. Bu pompaj tesisinin planlanması, seçilmesi, kurulması, işletilmesi, bakımının yapılması gerekmektedir. Temel amacı, bitkinin gereksinim duyduğu kadar suya zamanında, yeterli miktarda, en az enerji ve işletme maliyeti ile aktarılmasını sağlamaktır (Köksal, 2012).

PV panelleri, özellikle uzak bölgelerde tarımsal faaliyetler için kullanılmaktadır. PV sulama sistemlerinin temel çalışma prensibinde (Şekil 5.2), öncelikle PV panellerine gelen güneş radyasyonu ile güneş enerjisi elde edilir, bu enerji elektrik enerjisiyle motoru ve mekanik enerjiyle pompayı çalıştırarak kaynaktan suyu yukarı pompalamaktadır. Daha sonra hidrolik enerjiye dönüşüm sayesinde gerekli su ihtiyacı karşılanmaktadır (Yeşilata ve Fıratoglu, 2008).



Şekil 5.2 : PV sulama sisteminin çalışma prensibi.

Güneş enerjisiyle sulama sistemlerinde güneş enerjisini, pompalama için mekanik enerjiye dönüştürmenin iki yolu; PV hücreleri ile güneş radyasyonundan elektrik elde etmek ve elektrik enerjisini motor-pompa ünitesiyle mekanik enerjiye dönüştürmek veya güneş enerjisini ısıya dönüştürmek ve ısı motorunu kullanmaktır. Isı dönüşümü kullanmak ilgi görse de güvenilirliği henüz kanıtlanamamıştır. Bu nedenle en uygun yaklaşımın PV gücüyle çalışan pompalama sistemi olduğu söylenebilir. PV su pompalama teknolojileri 1985'ten bu yana gelişmeye devam etmektedir (Kenna ve Gillett, 1985). Kullanım sürelerinin uzun, bakım

gereksinimlerinin az ve kısmen daha kompakt yapıda olmaları gibi nedenlerle sıklıkla uygulanmaktadır (Köksal, 2012).

PV sistemler bağımsız (tek başına) uygulamalar için yaygın kullanılmaktadır. Su pompalama uygulamaları bu sistemlerin başlıca uygulama alanlarındandır. Güneş ışınımının bulunduğu sürelerde su pompalanır veya daha sonra kullanılmak için su tankında depolanır. Güneş ışınımının olmadığı sürelerde kullanılmak üzere güç depolaması akülerde de yapılabilir.

PV su pompalama veya sulama sistemlerinin belirgin bir avantajı, güneş ışınlarının arttığı mevsimde orantılı olarak su ihtiyaçlarının da artmasıdır. PV sulama sistemleri doğru tasarlandığında, geleneksel güç sistemlerine kıyasla uzun dönemli maliyet kazançları ve daha az çevresel tahribat ile sonuçlanacaktır (Morales, 2010).

5.2.1.1 Avantaj ve dezavantajları

Yenilebilir enerji sisteminin seçimi için teknolojik, ekonomik, sosyo-politik, çevresel faktörler etkili olmaktadır. Teknolojik açıdan uygulanabilirlik, risk, güvenilirlik, kurulum süresi, performans tahmini ve yerel teknik bilgi önemlidir. Ekonomik açıdan sistem maliyetleri, devlet destekleri dikkate alınmaktadır. Sosyo-politik açıdan ulusal hedeflere uygunluğu, kabul edilebilirliği, işgücüne etkisi ele alınmaktadır. Çevresel açıdan ise zararlı madde salınımı, alan gereksinimi, geri dönüşüm gibi konular incelenmektedir (Upadhyay ve Sharma, 2014).

PV ile pompalama sistemi, uzak bölgelerde diğer sistemlere göre daha verimli ve maliyet etkin olmaktadır (Sinton ve diğ, 2005). Özellikle küçük ve orta ölçekli sulama sistemlerinde ve elektrik şebekesinin bulunmadığı bölgelerde PV kullanımı önerilmektedir. Tarla alanının 2 ha'dan (hektar) küçük olduğu sulama sistemlerinde, günlük su ihtiyacı PV ile kolayca karşılanabilmektedir (Gopal ve diğ, 2013). Örneğin 1 kW'lık güce sahip bir PV sulama sistemi, 80 m derinliğe kadar su çekebilmekte ve bir kasabanın su ihtiyacını elektrik şebekesine ihtiyaç duymadan karşılayabilmektedir (Saïdou ve diğ, 2013).

Su pompalama PV dışında birçok sistemle yapılmaktadır. Bunlar gaz/dizel yakıtla veya elektrikle çalışan, yel değirmeni veya su mangesi kullanan ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulandığı sistemler olabilmektedir. Güneş, termal, rüzgar enerjisi, biyokütle ve birleşimlerinden oluşan hibrid sistemler de bulunmaktadır. Elektrikli veya dizel pompalama sistemlerinin çevreye zararları,

gürültülü çalışmaları, bakım ve yenileme gerektirmeleri, bakımın yetersiz kalıp sistem ömrünü kısaltması ve sürekli artan maliyetleri nedeniyle, suyun daha etkin şekilde kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Yakıt ve elektrik fiyatlarının artması ve yakıt tedarikinin zor olması, diğer taraftan PV maliyetlerinin azalması, PV sistemleri daha uygulanabilir kılmaktadır. Ancak günümüzde yüksek sermaye maliyeti nedeniyle PV sistemler küçük ölçekte kalmıştır. Orta ölçekte ise 11 kWp'ye kadar alternatif olarak incelenebilmektedir. Rüzgar enerjisiyle sulama sistemlerinde ise, rüzgar hızı sabit olmadığı için performans etkilenir ve PV sistemlere göre daha pahalıdır. Rüzgar sisteminde mekanik bileşenler bakım gerektirir. Türbinler yer işgal etmektedir ve yerleştirilmeleri için bölge seçimi kritiktir.

Sulama sisteminde güneş enerjisi kullanımının ve PV pompalama sistemlerinin avantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Az bakım gerektirmesi, mekanik yıpranma olmaması, modüler yapısı
- Ekonomik ve masrafsız olması
- Yakıt gerektirmemesi, yakıt fiyatlarından etkilenmemesi, yakıt maliyetinin olmaması
- Kurulumunun kolay olması, kısa zamanda devreye alınabilmesi
- Basit ve güvenilir olması, uzun yıllar sorunsuz çalışması, bileşenlerinin kullanım sürelerinin uzun olması
- Refakatsiz çalışma yeteneği, işletme kolaylığı
- Mobil kullanıma müsait olması
- Elektrik dağıtım şebekesine ihtiyacının olmaması
- Temiz enerji kaynağı ve çevre dostu olması, çevreyi kirletmemesi
- Bitki su ihtiyaçlarıyla PV ile pompalanan su miktarının, güneş radyasyonu ile doğru orantılı olması

Ancak aşağıdaki dezavantajlara sahiptir.

- Yüksek ilk yatırım maliyeti
- Bulutlu havada veya kış aylarında düşük üretim gerçekleşmesi, güneş ışınlarına bağımlı olması (güneş radyasyonu belirsiz olduğu için enerji üretiminde kesintiler olabilir), 9:00-15:00 saatleri arasında iyi güneşlenme gerektirmesi
- Enerji dönüşümü sırasında panellerde ortaya çıkan ısının performansı düşürmesi

- Panel üstünde biriken kir veya tozun enerji üretimini düşürmesi (%30'a kadar etkileyebilir)
- Bağıl nem ile rüzgar hızının PV sistem performansını etkileme olasılığı
- Enerji dönüşüm verimliliğinin düşük olması (büyük ölçekli uygulamalarda verimlilik yükselmektedir)

Bu sistemlerin en önemli avantajı, bitkilerin suya en fazla ihtiyaç duyduğu zamanın güneş ışınımının da en fazla olduğu zamana denk gelmesidir. Bitkilerin su ihtiyacının güneş enerjisi ile eş zamanlı olması, enerjiyi zamanında üretebilmeyi sağlamaktadır. PV sistemlerin hareketli parçası olmadığı için bakım ihtiyacı da çok azdır. Gürültü çıkarmaz ve yerçekimsiz ortamda çalışabilir. Çevre kirliliğine neden olmaz. Yalnızca taşıma, montaj, kurulum, üretim ve geri dönüşüm sırasında az miktarda zararlı gaz salınımı olmaktadır. PV sisteminde üretim sürecini, malzeme geri dönüşümünü iyileştirerek ve panel ile diğer hammaddelerin kalınlıklarını düşürerek bu çevresel etkiler azaltılabilir (Gopal ve diğ, 2013). Sistem bileşenleri (pil, şarj regülatörü, invertör vb.) arttıkça arıza olasılığı ve kayıplar artabilir. İlave olarak güç kaynağının kullanılması, enerjinin sürekliliğini iyileştirir. Ancak maliyetler de artacaktır (Boztepe, 2009).

Bu sistemlerin başlangıç maliyetinin yüksek olması ve verimlerinin hava koşullarına bağlı olması dezavantajları olarak sayılabilmektedir (Köksal, 2012). PV panelleri, invertör, elektrik kabloları, pompalar, borular gibi bileşenlerin maliyetlerini içeren yatırım maliyeti, diğer sistemlere (dizel ve elektrik motoru) göre daha yüksektir. Ancak bakım dışında sürekli bir maliyetleri yoktur. Tersine şebekeye bağlı ve dizel sistemler yüksek cari maliyet ve bakım gerektirir. Geri ödeme süresinden sonra, PV sulama sistemleri maliyet oluşturmadan çalışacaktır (Gopal ve diğ, 2013). PV sistemlerde işletme ve bakım maliyetleri az olduğu için toplam maliyetin çoğu ilk yatırım maliyetinden oluşmaktadır. Bu maliyetin içinde arazi, tesisat, montaj, destek bileşenler (güç cihazları) yer almaktadır. Destek bileşenlerin ve PV dizisinin maliyetleri yüksek paya sahiptir. Ayrıca uzak bölgelerde kurulduğu için, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması genelde kurulum işçiliği, uzak mesafeye malzeme taşıma maliyeti nedenleriyle. Fakat ekonomik ve sosyal getirileri (elektrik, su tedarikleri) düşünüldüğünde, ilk yatırım maliyeti daha az önemli olmaktadır (Manolakos ve diğ, 2004). PV sistemlerde yatırım yapıldıktan sonra, diğer sistemlere kıyasla masrafları çok azdır, bakım ve yenileme gerektirmez. Kullanım ömrü ise 30 yıl kadar

olabilmektedir (özellikle kristalin PV hücreleri için). İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, sistemlerin doğru tasarımı ve boyutlandırılmasını gerektirmektedir. Su pompalama sisteminin tasarımı için pompalanacak suyun yüksekliği, su ihtiyacı, bölgenin iklimi ve güneş enerjisi potansiyeli tahmin edilmelidir.

Güneş enerjisiyle su pompalama, özellikle yıllık radyasyon değerleri 1000 W/m^2 seviyesine ulaşan bölgeler için çok avantajlı olacaktır. Türkiye yıllık ortalama $1100\text{-}1300 \text{ W/m}^2$ radyasyonla bu bölgeler arasındadır. Brüt güneş enerjisi potansiyeli, 88 milyon ton petrole eşdeğerdir. Günlük güneşlenme süresi ortalama 7,2 saattir. Bu nedenle PV sistemlerin verimliliği, talebi karşılayacak şekilde tasarlandığında ve sürekliliği depolama tankıyla desteklendiğinde yüksek olacaktır. Fakat günümüzde bu güneş enerjisi potansiyeli yeni fark edilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye'nin mevcut taze su tüketiminin %75'i tarımsal sulama için kullanılmaktadır ve etkin su yönetimi büyük öneme sahiptir (Dursun ve Özden, 2012). Ayrıca Türkiye'de milli projeler geliştirilmekte, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından güneş enerjili sulama sistemleri için destekler verilmektedir (14.05.2014 ve 26.10.2014 tebliğleri). Bu sistemlerin kurulmasını içeren yatırımlar, TÜBİTAK ve Tarım Bakanlığı bünyesindeki GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından (TAGEM) da hibelerle desteklenmektedir. Son olarak Mart 2015'te "Mobil Güneş Pili Sulama Makinesi", Bakanlık Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Şanlıurfa GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından yürütülen TÜBİTAK projesi kapsamında üretilmiştir. Bu kapsamda güneş enerjili su pompalama sistemlerinin (Şekil 5.3), Türkiye'de kullanımı (özellikle Akdeniz Bölgesi, Ege Bölgesi) yaygınlaşmakta ve birçok uygulaması (Ankara Elmadağ, Diyarbakır Dicle Üniversitesi gibi) hayata geçirilmektedir (Url-7). Devletin resmi kurumlarının hibe destekleri sayesinde gösterilen ilgi ve kullanımları artmaktadır. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli yüksek olduğu için, bu tür uygulamaların daha çok hayata geçirilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.3 : Güneş enerjili sulama örneği.

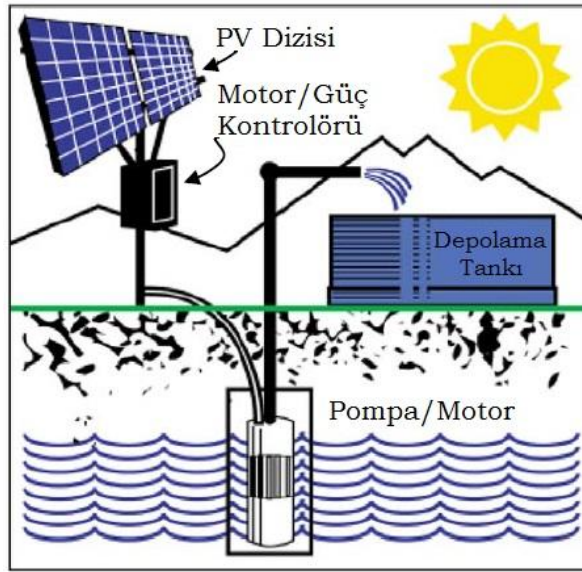
PV sulama veya su pompalama sistemlerinin performansı incelendiğinde üretkenlik, güvenilirlik ve maliyet etkinlik açısından iyi sonuçlar vermektedir. Klasik sistemlere kıyasla, 25 yıllık ömründe CO₂ salınımını oldukça azaltmaktadır. Sistemin optimal tasarımı ve güneş enerjisinin etkin kullanımı gerçekleştirildiğinde, PV sulama sistemleri geleneksel enerji kaynaklarına göre, küçük ve uzak uygulamalar için daha maliyet-etkin olmaktadır. Ek olarak, PV sulama sistemleri uzak bölgelerde tercih edildiği için, o bölgedeki yaşam kalitesini, yerel istihdamı ve sosyo-ekonomik gelişmeyi destekleyecektir (Gopal ve diğ, 2013). Ayrıca PV sulama sistemi, üretilen fazla enerjinin değerlendirilmesi açısından, sulama dışında aydınlatma gibi uygulamalarda da masrafsız şekilde kullanılabilir. Bu tür sistemler, uzun ömürlü olup sorunsuz bir şekilde çalışabilmektedir.

Gelecekte, üretim teknolojileri geliştirilerek PV veriminin %24 seviyesine çıkarılacağı düşünülmektedir. Verimde artış maliyetlerde düşüş sağlayacaktır çünkü aynı gücü üretmek için daha az sayıda modüle ihtiyaç duyulacaktır. PV maliyetleri düştükçe, fosil yakıtların da maliyetleri artmaya devam edecektir. Gelecek çalışmalarda yeni pompa ve sürücü mekanizmaları, maliyeti düşük, güvenilir, verimli olacak şekilde geliştirilebilir. Teknolojik ve sosyolojik açıdan bölgeye en uygun sistem tasarımı yapılabilir. Her proje için optimum çözüm farklı olacaktır. PV fiyatlarının düşmeye devam etmesi ve yenilenebilir enerjinin artan önemi sayesinde PV sulama sistemleri daha çok ülkede uygulanabilecektir. Yalnızca tarımsal sulama için değil, evlerin su ihtiyacını karşılamak için de finansal, sosyolojik, teknolojik açıdan sürdürülebilir sistemler olabilecektir (Short ve Oldach, 2003).

5.2.1.2 Sistem bileşenleri

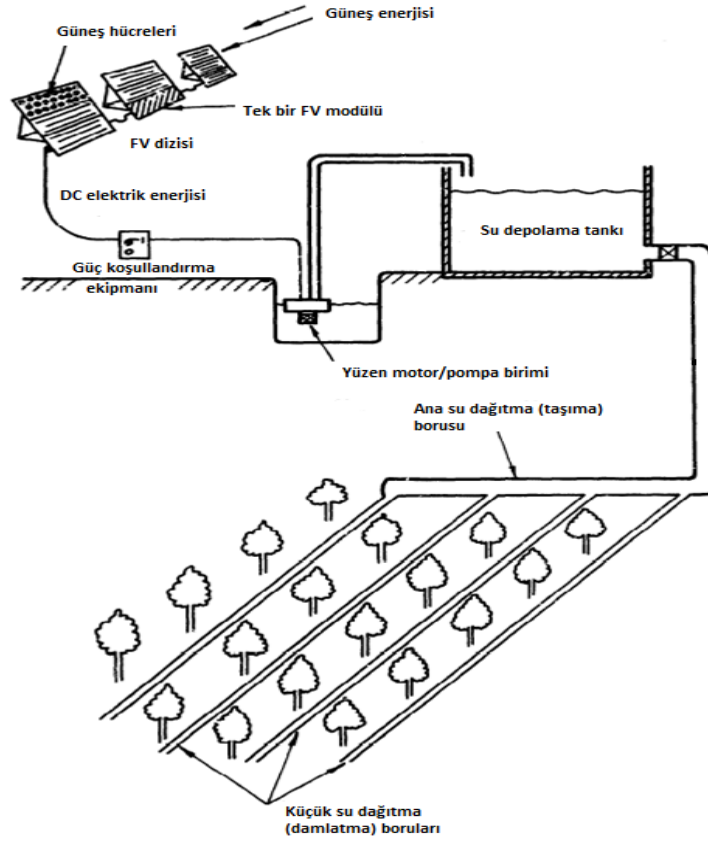
Genel bir PV sulama sistemi bileşenleriyle birlikte Şekil 5.4'te gösterilmiştir (Url-8). Temel olarak PV dizisi, elektriksel kontrolör ve motor-pompa ünitesinden

oluşmaktadır. Fazla suyun depolanması için bir su tankı bulunabilmektedir (Morales, 2010). Daha sonra sulama yapılacak bölgeye iletilmesi ve dağıtımı gerçekleştirilmektedir. Sulama yöntemine göre dağıtım tasarlanmaktadır. Çeşitli sulama yöntemlerinden bazıları şunlardır: salma sulama, uzun tava, göllendirme, yağmurlama (fiskiye), toprak altı sulama, damla sulama, vs. Bunların içinde yağmurlama ve damla sulama basınçlı yöntemlerdir ve salma sulamaya göre büyük oranda su tasarrufu sağlamaktadır. Bu yöntemlere karar verilirken toprak tipi, arazi şekli, su kaynağı, bitki türü, iklim, maliyet göz önünde bulundurulmaktadır.



Şekil 5.4 : Tipik bir PV sulama sisteminin gösterimi.

Bir PV su pompalama sisteminin bileşenleri olan PV dizisi, motor-pompa ünitesi, dönüştürücü (invertör) veya kontrolör dışında, tasarımına bağlı olarak depolama aküleri ve şarj regülatörü de içerebilmektedir. Aküler, bulutlu günlerde güneş ışınım şiddetinin düşük olması durumunda sistemin çalışmasını sağlar. Akü kullanılmayan sistemler daha ucuz, basit ve bakım gereksinimi olmayan sistemlerdir. Elektrik motoru, güç gereksinimi ve akım tipine göre seçilir. Alternatif akım (AC) ile çalışan motor seçildiği durumda, sisteme DC/AC dönüştürücü yerleştirilmelidir (Köksal, 2012). Buna örnek bir PV su pompalama sistemi Şekil 5.5'te gösterilmiştir (Kenna ve Gillett, 1985).



Şekil 5.5 : PV su pompalama sistemi.

Güneş pilleri dizisi, bir doğru akım (DC) motoru çalıştırmak için yeterli miktarda elektriksel güç üretir. Elektrik motoru, elektriği mekanik enerjiye dönüştürür ve bir su pompasını çalıştırır. Mekanik enerji daha sonra pompa aracılığıyla su kaynağından su çıkarmak için hidrolik enerjiye dönüştürülür. Güneş pilleri dizisi, DC motor-pompa ünitesiyle doğrudan bağlantılı olduğu için, bu tip düzenleme doğrudan bağlantılı PV su pompalama sistemi olarak adlandırılır (Köksal, 2012). Doğrudan bağlantılı sistemlerde pompalanan su miktarı birçok etmene bağlı olarak değişir:

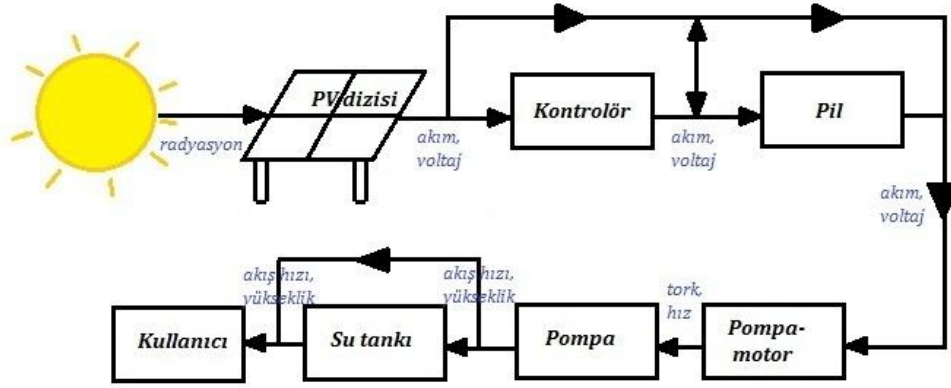
- Meteorolojik etmenler: Işınım şiddeti, hava sıcaklığı
- PV dizinin özellikleri: Akım-gerilim (I-V) çıktıları, dönüşüm etkinliği, eğim
- DC motor-pompa-hidrolik sistem özellikleri: Boru hattının yüksekliği

Akım-gerilim (I-V) özellikleri, güneş ışıınımı, hava sıcaklığı ve DC motor tarafından çekilen akıma bağlı olarak, doğrusal olmayan bir şekilde değişir. PV dizi modelinde I-V özellikleri, güneş radyasyonu ve birleşme yerlerinin sıcaklığına bağlı olmaktadır (Hamidat ve Benyoucef, 2008).

Şebekeden bağımsız PV sulama sistemleri genellikle 3 tipte düzenlenebilmektedir. Pil kullanmayan (panel-motor-pompa), pil (veya akü) kullanan (panel-kontrolör-pil-

DC yük) ve pil ile invertör kullanan (panel-kontrolör-pil-DC yük-DC/AC invertör) tasarımlar gerçekleştirilebilmektedir. Bu sistemlerin tasarımında bölgenin iklim verileri, sulama sisteminin özellikleri, bitki su tüketimi, su kaynağının özellikleri dikkate alınarak, sistemi oluşturan tüm bileşenler detaylı bir şekilde ele alınmaktadır (Öztürk, 2012). Sistem bileşenleri ve özellikleri alt bölümlerde anlatılmıştır.

Tipik bir PV sulama sisteminin akış diyagramı Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Burada bazı bileşenler tercihe bağlı olarak sisteme dahil edilmektedir. Her bileşenin sonraki bileşene aktardığı bilgiler dahil edilmiştir (Short ve Oldach, 2003).



Şekil 5.6 : Tipik bir PV sulama sisteminin akış diyagramı.

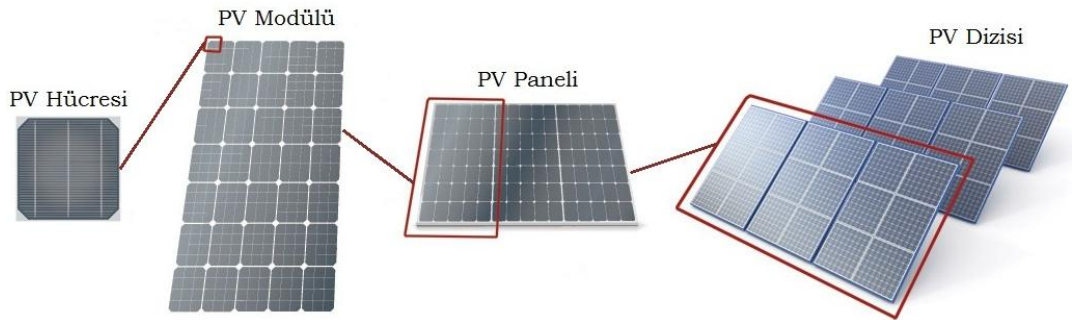
Ancak pillere gerek duymadan, daha basit bir sistemle de tasarım yapılabilmektedir. PV dizisinden sonra sırasıyla DC/AC invertör, motor-pompa yerleştirilip, kuyudan çekilen su depolama tankına aktarılabilir (Saïdou ve diğ, 2013). Pil kullanımı pahalı olup, sürekli gözlem, bakım ve yenileme gerektirmektedir. Bu durum uzak bölgelerdeki uygulamalar için zor olmaktadır.

PV sisteminin bileşenlerinin belirlenmesi dışında, kablo seçimi de önemlidir çünkü bağlantı malzemeleri yanlış seçildiğinde yangın tehlikesi ve maddi zararlar doğabilecektir. Çeşitli kablo uzunlukları ve amper değerlerine göre olması gereken standart kablo kesitleri hesaplanmaktadır.

a) Güneş / PV paneli

Güneş veya PV hücreleri (veya pili) yarı-iletken malzemeden oluşmakta ve güneş ışınlarını doğrudan elektriğe çevirmektedir. Birçok hücrenin paralel veya seri bağlanması ile güneş panelleri oluşturulur ve elektriksel güç ihtiyacını karşılamaktadır. Güneş ışınları hücrelere çarptığı zaman, elektronlar yerinden oynamakta ve malzeme içinde serbest kalmaktadır. Bu sayede direkt elektrik akımı

(doğru akım: DC) üretilmektedir. Şekil 5.7’den anlaşılacağı gibi, PV hücreleri birleşerek cam veya açık plastikle kapanan bir PV modülünü oluşturmaktadır. Bir PV modülünde iki veya daha fazla PV hücresi bulunmaktadır. Modüller birleştirilerek PV paneli, paneller birleştirilerek ise uygulamaya özel olarak boyutlandırılan bir PV dizisi meydana gelmektedir. Çoğu PV hücresi 3 tip silikon malzemeden üretilmektedir. Bunlar monokristalin, polikristalin ve ince film kategorisinde olan amorf silikonlardır. Monokristalin ortalama %15 verimliliğe sahiptir ancak teknik bakımdan üretimi ayrıntılı olduğu için en pahalısıdır. Polikristalin ise ortalama %12 verimlilikle fiyat olarak daha uygundur ve en sık üretilen türdür. Amorf silikondan yapılan PV hücresi, ince esnek bir tabakanın yerleştirilmesiyle oluşur, kristal yapıya sahip değildir, maliyet açısından en uygunudur, hafiftir fakat verimliliği %6’ya düşmektedir ve dayanıklılığı düşüktür (Sinton ve diğ, 2005). Bu malzemeler dışında kullanılan ortalama %7 verimlilikle kadmiyum tellürid, %14 verimlilikle bakır indiyum diselenid veya galyum arsenit gibi başka malzemeler de mevcuttur. (Malzemeler hakkında detaylı karşılaştırma için bkz. (Vick ve Clark, 2009) veya (DGS, 2008)).

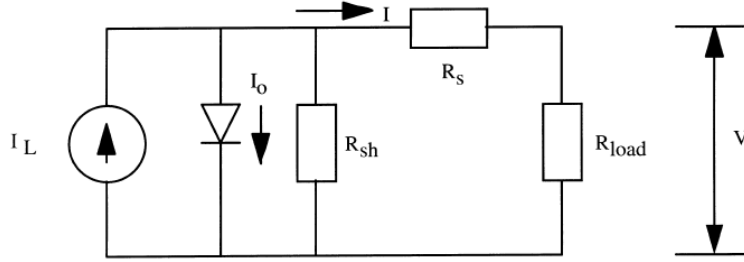


Şekil 5.7 : PV hücresi, modülü, paneli ve dizisi.

Bir PV panel, elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan hücrelerin birleşimi şeklinde olduğu için, üretilen enerji miktarına, panelin çıkış akımına ve voltajına bağlı olarak, paralel veya seri şekilde hücreleri birleştirmek mümkündür. Voltaj ve akımı, kontrolör ve motor-pompa ile uyumlu olmalıdır. Çoklu paneller seri bağlandığında, toplam voltaj çıkışı bireysel voltajların toplamı olurken toplam akım sabit kalır. Aksine, paneller paralel bağlandığında, toplam voltaj sabit kalırken toplam akım bireysel akım girişlerinin toplamı olur. Dolayısıyla seri bağlı durumda gerilim, paralel bağlı durumda akım arttırılır. Böylece güçleri değişen büyüklükte sistemler kurulabilir. Toplam güç çıkışı ise toplam voltaj çıkışıyla toplam akım

çıkışının çarpımı ile bulunur. Güç çıkışı, güç toleransı kadar değişkenlik gösterebilmektedir. Ayrıca yıllık yıpranma payı ise %1 varsayılabilir.

PV hücreleri, gelen ışınlar ile fotovoltajların ve fotoakımların oluştuğu geniş alanlı, düz beslemeli diyotlardır. Tipik bir PV hücresinin tam gün ışığında ürettiği enerji yaklaşık 3 Watt olmaktadır. Tek diyotlu bir PV hücresinin eşdeğer devresi Şekil 5.8’de gösterilmektedir (Kou ve diğ, 1998).



Şekil 5.8 : Bir PV hücresinin eşdeğer devresi.

PV hücresi doğrusal olmayan güç kaynağına sahiptir. Akım ve voltaj çıktıları, radyasyon seviyesine ve sıcaklığa bağlı olmaktadır. Radyasyon ve sıcaklık değiştiğinde, PV hücresinin çalışma noktaları, sırasıyla doğru ve ters orantılı olarak, değişmektedir. Verilen bir güneş radyasyonu değerinde, tek diyotlu PV hücrenin akım-voltaj (I-V) karakteristiği denklem 5.1 ile ifade edilmektedir (Kou ve diğ, 1998). Bu denklemde I_L aydınlık akım (A), I_0 karanlık akım (A), V çalışma voltajı (V), R_s seri direnci (Ω), R_{sh} paralel devre direnci (Ω) ve A termal voltaj (V) olmaktadır.

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + I.R_s}{A} \right) - 1 \right] - \frac{V + I.R_s}{R_{sh}} \quad (5.1)$$

I_L , I_0 , R_s , R_{sh} ve A parametreleri güneş radyasyonu ve hücre sıcaklığı verilerine bağlıdır. Bazı çalışmalar R_{sh} değerini ihmal eden modeller önermiştir çünkü genellikle R_s ’den çok büyük olmaktadır (özellikle monokristalin silikon hücrelerde). Bu varsayımla denklem 5.2 şeklinde düzeltme yapılmaktadır.

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + I.R_s}{A} \right) - 1 \right] \quad (5.2)$$

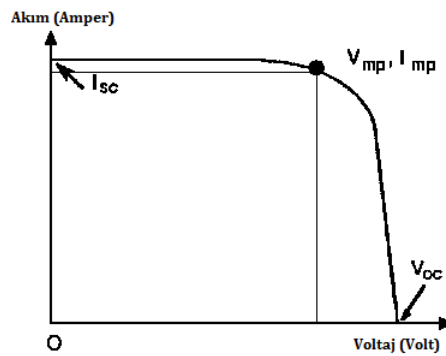
Burada bulunan dört parametreyi (I_L , I_0 , R_s , A) hesaplamak için bir yöntem önerilmiştir (Duffie ve Beckman, 2013). Dört bilinmeyen olduğu için I ve V ’nin dört durumu bilinmelidir. Ancak üreticiler genellikle üç durum bilgisi vermektedir: kısa devre, açık devre ve maksimum güç noktası. Dördüncü durum ise açık devre

voltajının ve kısa devre akımının sıcaklık katsayılarıyla (sırasıyla $\mu_{V_{oc}}$ ve $\mu_{I_{sc}}$) elde edilmektedir. Üretici tarafından sağlanan deneysel verilere ve geliştirilen denklemlere dayanarak referans koşullardaki PV hücresinin parametreleri hesaplanmaktadır (Kou ve diğ., 1998). Ayrıca PV hücresinin matematiksel ifadesi için birçok formül geliştirilmiştir (Rekioua ve Matagne, 2012).

PV panellerinin elektriksel özellikleri üretici firmalar tarafından sunulmaktadır. Bu özelliklere bir örnek Çizelge 5.4'te gösterilmektedir (Morales, 2010). Açık devre voltajı (gerilimi), devrede (+ ve – çıkış uçları arasında) yük yokken ve akım sıfır olduğu zaman ölçülen voltaj çıktısıdır ve PV hücresinin güneş olduğunda üretebileceği maksimum olası voltaj değeridir. Kısa devre akımı ise, hiçbir yük veya direnç olmadığında serbest dolaşan akımdır ve PV hücresinin belirli bir radyasyon seviyesinde üretebileceği maksimum olası akım değeridir. Şekil 5.9'da akım-voltaj karakteristiğini ifade eden I-V eğrisi belli güneş ışığı altında çizilip, farklı ışık miktarları için ölçümler tekrarlanarak çizilmektedir. PV hücresinin I-V eğrisinde maksimum güç (P_{mp}) noktası (tepe noktası gücü veya pik gücü), en yüksek akım ve voltaj çarpımıyla elde edilmektedir ve PV dizisi için istenen çalışma noktasıdır (Helikson ve diğ., 1991).

Çizelge 5.4 : Örnek bir PV panelinin elektriksel özellikleri.

Özellik	Değer	Birim
Maksimum güç (P_{mp})	117	Watt (Wp)
Güç toleransı	± 5	%
Maksimum güç voltajı (V_{mp})	35,5	Volt (V)
Maksimum güç akımı (I_{mp})	3,3	Amper (A)
Açık devre voltajı (V_{oc})	40	Volt (V)
Kısa devre akımı (I_{sc})	3,5	Amper (A)



Şekil 5.9 : PV hücresinin I-V eğrisi.

Bir PV hücresinin ürettiği güç oranı için doyma faktörü, kalitesinin bir ölçüsü olup $FF(\%) = (I_{mp} * V_{mp}) / (I_{sc} * V_{oc})$ oranıyla hesaplanır ve genellikle 0,7-0,8 civarında değerler almaktadır. Maksimum güç noktası takipçisi (MPPT) algoritması ile panelin her zaman maksimum enerjiyi ürettiği varsayılmaktadır. PV hücresinin verimi ise $\eta_{PV}(\%) = P_{mp} / (G * A_{PV})$ formülüyle hesaplanır; maksimum gücün G güneş radyasyonu (W/m^2) ile A_{PV} alan (m^2) çarpımına oranı şeklinde bulunmaktadır.

PV modülleri yaklaşık 60 yıldır bulunmaktadır ve 1979'dan beri kitle üretimine geçilmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte maliyetlerinde ciddi düşüşler (%90 civarında) yaşanmıştır. Güvenilirlik açısından 20-25 yıl arasında garanti verilebilmekte, kullanım ömrü 30 yıldan fazla olmaktadır. PV dizileri, kurulum sırasında en fazla güneş ışını alacak şekilde yerleştirilmelidir. Bina veya ağaç gölgelerinin engellememesi, güneye bakması ve enleme göre eğim açısının belirlenmesi gerekmektedir. Eğer mevsimsel olarak kullanılacaksa, güneşin hareketine bağlı olarak eğim açısı revize edilmeli, güneşi takip etmelidir. Sürekli güneşi takip eden sistemler kurulduğu takdirde, günlük enerji kazancı ~%40 olabilmektedir (Sinton ve diğ, 2005). PV sistemlerin tasarımında yüksek verim elde edebilmek için, I-V eğrisiyle maksimum güç noktalarının mümkün olduğunca eşleşmesi gerekmektedir (Helikson ve diğ, 1991).

b) Motor-pompa ünitesi

Motor-pompa ünitesi motor ve su pompasından oluşup, genellikle birlikte modellenmektedir. Elektrik motorları su pompasını çalıştırmak için gereken mekanik gücü, elektriğin mekanik enerjiye dönüşümü ile sağlamaktadır. PV sulama sistemi için birkaç çeşit DC motor (fırçalı ve fırçasız sürekli mıknatıslı, değişken hızlı sürücülü) ve AC motor (senkron ve asenkron) mevcuttur (Short ve Oldach, 2003). Motor seçimi, boyut, verimlilik, fiyat, güvenilirlik ve bulunabilirlik etmenlerine göre yapılmaktadır. Fırçalı olanların bakımı ve yenilenmesi oldukça zordur çünkü motor-pompa ünitesinin kuyudan çıkartılması gerekir (Gopal ve diğ, 2013). Bu nedenle fırçasız DC motorlar daha çok tercih edilmektedir. AC motorlar ise ucuz olduğu için geniş kullanıma sahiptir.

AC motor kullanan sistemlerde DC'den AC'ye dönüşüm yapacak bir DC/AC invertör ihtiyacı bulunmaktadır ve kontrol sistemleri gerektirir. İnvertör, ek maliyete ve enerji kayıplarına neden olmaktadır. DC motorların invertör ihtiyacı yoktur, daha

az karmaşık kontrol sistemi kullanılır ve invertör kayıpları olmadığı için daha fazla enerji üretimiyle sonuçlanmaktadır (Morales, 2010). Ancak DC motorlar yüksek güçteki ($>7kW$) uygulamalarda uygun değildir. Bu durumda AC motor ile invertör önerilmektedir (Gopal ve diğ, 2013).

Elektrikli pompalar alternatif akım (AC) kullanır ve mevcut gücün bir limiti olmadığı için genellikle etkin bir şekilde tasarlanmamıştır. Diğer taraftan güneş enerjisiyle çalışan PV pompalar, PV dizisinden sağlanan direkt akımı (DC) kullanacak şekilde tasarlanmıştır. PV'nin yüksek maliyeti ve enerji potansiyelinin değişkenliği nedeniyle, PV pompalar olabildiğince etkin tasarlanmalıdır. Düşük ışık (güç) koşulları olduğunda bile pompalamaya devam etmelidir ve su ihtiyaçlarını karşılamalıdır (Sinton ve diğ, 2005). Doğru tasarlandığında, PV pompalar uzun dönemde maliyet ve az işçilik gerektirmesi bakımından en uygun seçenek olarak görülmektedir.

PV pompalar çeşitli tiplerde ve boyutlarda mevcuttur. Pompa çeşitleri çalışma prensibine göre santrifüj ve pozitif deplasmanlı (diyafram, piston veya sarmal rotor) olarak ikiye ayrılabilir. Ayrıca uygulama özelliklerine göre dalgıç pompa, yüzey pompası ve yüzer pompa çeşitleri mevcuttur.

Santrifüj pompalar genellikle toplam dinamik yükseklik (TDH) düşük ve akış hızı yüksek olduğunda kullanılır. Yüksek verimliliğe sahiptir ve büyük hacimde su pompalayabilir. Santrifüj pompalarda düşük güç olduğunda pompaladığı su miktarı aniden düşebilir. Pozitif deplasmanlı pompalar ise TDH fazla ve akış hızı düşük olduğunda kullanılır. Bu tür pompalar daha yavaş pompalama yapar ancak düşük güç koşullarında iyi performans gösterir (Sinton ve diğ, 2005). Özellikle derinlik fazla olduğunda, pozitif deplasmanlı pompaların enerji kayıpları daha düşük ve pompalanan ortalama su hacmi daha yüksek çıkmıştır (Gopal ve diğ, 2013). Fakat pozitif deplasmanlı pompalar ideal olmayan I-V özellikleri nedeniyle tercih edilmemektedir. Bu nedenle santrifüj pompalar en çok kurulan pompalardır. Genellikle 500W ve üstündeki sistemlerde bu tip pompalar kullanılmaktadır (Oi, 2005). Santrifüj pompaların optimal çalışma koşulları bozulduğunda performansı etkilendiği için, bölgenin özellikleri, mevsimsel veya meteorolojik değişimler (kuyuda veya boruda su seviyesi değişimi) dikkate alınarak tasarlanmalıdır.

Dalgıç pompalar suyun altında (örneğin derin kuyuda) çalışabilirken, yüzey pompa su seviyesinde (göl, nehir veya sığ kuyularda) durmaktadır. Yüzer pompalar ise yüksekliği ayarlanabilen bir kaynak olduğunda kullanılmaktadır. Yüzey pompalar daha ucuz olmasına ve suyu uzun mesafelere ittirmesine karşılık, emiş gücü azdır ve yaklaşık 6 metre dikey derinlikten su çekebilmektedir. En küçük pompalar 150 Watt'dan daha az güce ihtiyaç duyar ve 3,8 litre/dakika su pompalayabilmektedir. Kış boyunca yüzey pompalarının korunması gerekmektedir, ancak PV dizisi ve dalgıç pompalar dışarıda kalabilir (Sinton ve diğ, 2005).

Uygun pompa seçimi için pompanın TDH, akış hızı değerleri ve mevcut güneş radyasyonu (pik güç ve enerji) bilgilerinin yanı sıra pompanın minimum voltajına da dikkat edilmelidir. Yüksek voltajda enerji kaybı az olacağı için verimliliği daha fazla olacaktır. Burada aynı güç değeri üretileceğinden akım azalmaktadır. Panellerin ve kontrolörün pompaya göre yerleşimlerini belirlerken bu bilgi önemli olmaktadır. Genel bir kural olarak, PV dizisi 4 veya daha fazla panelden oluşuyorsa ve pompadan ~15 metreden daha uzağa yerleştirilmişse, yüksek voltaj kullanan pompanın tercih edilmesi gerekmektedir (Morales, 2010).

Bazı koşullar altında, santrifüj pompayla birleşen sürekli mıknatıslı DC motorun I-V özellikleri, maksimum güç noktasına çok yaklaşmaktadır. Bu sistemde, PV dizisinden motora ve sonra da pompaya direkt bağlantı kurulur. Pozitif deplasmanlı pompayla direkt bağlantı kurulduğunda sonuçlar daha kötü olmaktadır. Bu şekilde birçok bileşen kombinasyonu mevcuttur.

c) Kontrol cihazları

Bazı elektronik cihazlar PV dizisi tarafından üretilen elektriksel gücün kontrolünü ve değişimini sağlamak için kullanılmaktadır. Gerektiğinde veya depo dolduğunda PV dizisi ile pompa arasındaki bağlantıyı keserek sistemi durdurabilmektedir.

Pompa Kontrolörü

PV panelinden üretilecek güç miktarı güneş radyasyonuna bağlı olduğu için, bir kontrolörün pompanın belirlenmiş minimum çalışma gücünü karşılayacak yeterli güç olana kadar pompayı kapatması gerekmektedir. Eğer paneller çok fazla güç üretirse, kontrolör pompanın gücünü sınırlayabilmekte ve maksimum hızından fazla çalışmasını engelleyebilmektedir (Morales, 2010). Ayrıca kontrol sisteminin olması önceden planlanmış sulama programının yapılmasını mümkün kılmaktadır (Gopal ve

diğ, 2013). Pompa kontrolörü; PV dizisi ile su pompası arasında çalışan elektronik doğrusal akım yükselticisidir. Güneş enerjisi üretiminde değişiklikler olduğunda pompalama için optimum gücün oluşmasını sağlamaktadır. Özellikle düşük ışık olduğunda pompayı başlatmaya yaramaktadır (Sinton ve diğ, 2005).

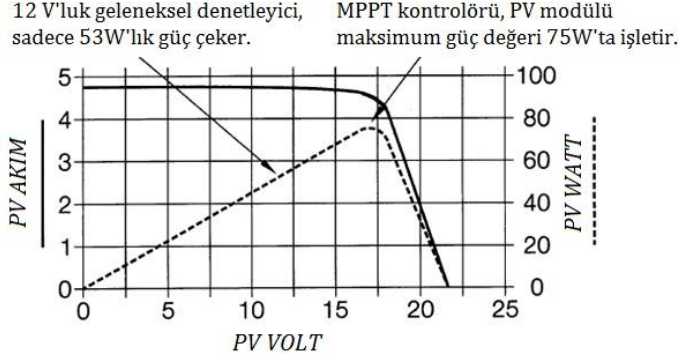
Şarj Kontrolörü (Regülatör)

Şarj kontrolörü veya regülatör sistemde piller kullanıldığında PV paneller ile piller arasına kurulmaktadır. Amacı pillerin fazladan şarj edilmesini veya tamamendeşarj olmasını engellemektir (Sinton ve diğ, 2005). Fazla şarj pilin ısınmasına, sıvı kaybına ve pil ömrünün kışalmasına yol açar. Pillerin şarjı vedeşarjı kontrolöre göre ayarlanmaktadır. Çalışma prensibi olarak pil voltajını sürekli kontrol eder, pil dolunca pile giden akımı otomatik olarak keser. Bu nedenle şarj kontrolörü seçiminde, gerekli olan maksimum akıma dayanıklı olmasına dikkat edilmelidir. Ancak PV sulama sistemlerinde pillerin kullanımı karmaşık kontrol sistemi içerdiği, bakım gerektirdiği ve maliyetleri arttırdığı için uygun olmamaktadır. Elektrik depolamak yerine su depolamak daha verimli ve ucuz olacaktır (Morales, 2010).

Maksimum Güç Noktası Takipçisi (MPPT)

PV panelinin sürekli maksimum çıktıyı (güç noktasını) üretmesi için panel çıkışındaki voltajı değiştirerek korumaktadır. Belirli zamanlarda elde edilen gücün tepe değerini takip edip, yüke yollanmasını sağlamaktadır (Şekil 5.10). Bu şekilde tipik bir 75W'lık PV modülün standart test koşullarındaki güç/voltaj/akım değerleri gösterilmiştir (Url-9). Motor-pompa bölge özelliklerine göre optimum voltaj/akımda iken maksimum güç çıktısı için sisteme eklenmektedir. Güneş ışınlarının düşme açısı sürekli değiştiği için PV panelden elde edilen enerji her zaman aralığında farklı olacaktır. Ancak sistemin doğru işleyebilmesi için düzensiz bir güç doğrudan yüke verilemez. Güç değerleri MPPT sayesinde düzenli ve verimli bir hale dönüştürülür. MPPT bu işlemleri içindeki mikro-denetleyicide bulunan karmaşık algoritmalar yardımıyla gerçekleştirmektedir.

Eğer sistemde invertör varsa MPPT de kullanılmalıdır. MPPT eklenmemiş bir PV sulama sisteminde günlük pompalama oranları %20 civarında azalabilmektedir (Short ve Oldach, 2003). MPPT ayrı bir cihaz olarak bulunmayıp, invertör veya şarj kontrolörü içinde yer almaktadır. Eğer iki kontrol cihazı da sistemde mevcutsa, ikisinden birinde bulunması yeterli olmaktadır.



Şekil 5.10 : Bir PV modülün güç/voltaj/akım değerleri.

İnvertör

İnvertör bir güç çevirici olarak, panelin veya pilin ürettiği doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştürmektedir. AC birçok cihaz ve motor için gerekmektedir. Ayrıca şebekeye bağlı sistemlerin her zaman invertör kullanması şarttır. Şebekeden bağımsız sistemlerde de off-grid invertör olarak bilinir ve örneğin 12, 24 veya 48 V olan DC voltajını, 230 V olan AC 50 Hz voltaja çevirebilmektedir.

AC veya fırçasız DC motor kullanıldığında (düşük güç çıktısı kabul edilmiyorsa), bir DC/AC invertör ve MPPT kullanımı şarttır. Sistemin karmaşıklığı ve maliyeti artsa da optimal çalışması için gereklidir. Maalesef invertörlerin güvenilirlik problemi vardır (%18 arıza) ve bu nedenle sistemdeki en zayıf bileşendir. Bunun nedeni nem ve sıcaklık korumasının olmaması, böcek girmesi, kablo bağlantılarının yetersizliği, vb. olabilmektedir (Short ve Oldach, 2003).

Ayrıca PV sistemlerde DC-DC voltaj (gerilim) arttıran dönüştürücü (boost converter) kullanılabilmektedir. İnvertör içinde olabilen bu cihaz sayesinde düşük olan invertör giriş voltajı arttırılabilmektedir.

d) Depolama tankı

Elektriğin pillerde depolanması yerine suyun bir tankta depolanması hem maliyetleri düşürmekte hem de sistemin karmaşıklığını azaltmaktadır. Depolama tankı, pompalamanın talebi karşılayamadığı veya az ışık olan saatlerde düşük güneş enerjisi olduğunda devreye girmektedir (Morales, 2010). Genel bir kural olarak, tankın en az 3 (3-5) günlük su ihtiyacını karşılayacak şekilde boyutlandırılması gereklidir. PV kapasitesi büyüdükçe enerji eksiklikleri azalmakta, daha az depolamaya ihtiyaç duyulmaktadır (Lorenzo ve Narvarte, 2000). En çok kullanılan su depolama, gıda

saflığında plastik tanklardır ve yerçekiminden yararlanmak için yüksek bir noktaya yerleştirilmektedir. Ayrıca metal tanklar da olabilmektedir. Yüzen bir şalter ile su seviyesine göre tankın doluluk kontrolü sağlanmaktadır. Pompa kontrolörü ile şalter arasında bir dağıtım borusu yer almaktadır (Sinton ve diğ, 2005).

Bazı durumlarda basınçlı su sistemleri gerekebilir. Eğer sürekli su ihtiyacı varsa, basınç tankı gece boyunca suyu karşılamak için büyük boyutlandırılabilir. Pillerle de kesintisiz güç kaynağı sağlanabilir. Burada PV dizisi pili şarj etmek için kullanılır (Sinton ve diğ, 2005).

e) Pil (batarya)

Güneş ışınları olmadığı zaman boyunca PV dizisi güç üretememekte, su pompalanmamaktadır. Dolayısıyla depolama tankı kullanılmadığı zaman, enerji depolaması yapacak piller (bataryalar) kullanılabilmektedir. Piller, PV dizisi ve motor-pompa ünitesi arasında doğrudan bağlantılı veya hem MPPT hem de pil şarj kontrolörü olarak görev yapan bir kontrolör ilavesiyle bağlantılı olarak kurulmaktadır (Short ve Oldach, 2003).

PV sisteminin tasarımına göre su tankına depolamak yerine piller ve şarj kontrolörü gerekebilmektedir. Pil olmadığında maliyet daha düşük, bakım daha az olacaktır ancak pille güneş enerjisinin olmadığı veya az olduğu durumlarda sürekli bir performans sağlanacaktır (Gopal ve diğ, 2013).

Genellikle depolama tankının kullanımı, basitliği, maliyeti, bakım kolaylığı ve ömrü açısından tercih edilmektedir. Fakat pillerin de avantajlı olduğu konular bulunmaktadır. Depolama tankı yaklaşık 3 günlük su ihtiyacını karşılayacak kadar depolama yapıp, bulutlu günlerde hizmet vermektedir. Piller için de benzer enerji depolama kapasitesi düşünülmektedir. Tipik bir elektriksel pilin I-V şarj eğrisi, akımı hesaba katmadan, sabit voltaja çok yakındır ve bu MPPT eğrisine benzemektedir. Bu nedenle PV dizisi ve motor-pompaya doğrudan bağlı pil, MPPT'ye yaklaşmaktadır. Böylece sistemde geliştirilen güç ve kontrolör karmaşıklığı (güvenilirliği) sayesinde maliyetleri göz ardı edilebilecektir. Pillerin diğer bir avantajı, akşamları aydınlatma amaçlı kullanılabilmeleridir. PV sisteminin tasarımı mini-şebeke ağı şeklinde yapılabilir (Short ve Oldach, 2003). Ayrıca piller mobil sistemler için daha kullanışlı olmaktadır. Depolama tankı yerleşimi için müsait bir alanın olması gerekmektedir.

Ancak pillerin sermaye ve bakım maliyetleri, MPPT yapısı tarafından telafi edilemeyebilir. Pillerin herhangi bir zararı durumunda, fazla şarj veya fazladeşarj olabilmektedir. Bunu çözmek için şarj kontrolörü eklemek gerekmektedir. Pillerin ömrü tükendiğinde de düzenli olarak yenilenmeleri gerekir ve bakımları yapılmalıdır. Eski pillerin ortadan kaldırılması genelde kurşun ve asit atıklarıyla çevreye zarar vermektedir. Ayrıca piller yüksek değerli, taşınabilir aygıtlar olduğu için, hırsızlık durumuyla da karşı karşıyadır (Short ve Oldach, 2003). PV su pompalama sistemlerinde depo yerine pil kullanımı, uygulamaların sadece %5’inde görülmektedir (Oi, 2005).

5.2.2 PV sulama sisteminde tasarım ve optimal boyutlandırma

Enerji sistemlerinde tasarım için dağıtım, maliyetler ve güvenilirlik en önemli hususlardır. PV sistem uygulamalarında, güneş ışığının az olduğu dönemlerde yük talebini karşılayamama ve güneşli dönemlerde fazla üretilen enerjinin boşa gitmesi durumları yaşanabilmektedir. PV kaynağı az ise, iç kayıpların da etkisiyle, sistem yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle bölgenin özelliklerine ve ihtiyaca uygun bir tasarım ve optimal boyutlandırma yapılmalı, sistemin işletme, kontrol, bakım yöntemleri tanımlanmalıdır.

Güneş pili PV sistemlerinin maliyetinin yüksek olması nedeniyle, bu sistemlerin doğru boyutlandırılması önemlidir. Sistemin tasarımında, suyun pompalanacağı toplam yükseklik, suyun derinliği, gereksinim duyulan günlük su ve bölgedeki ortalama güneş enerjisi miktarlarının önceden hesaplanması veya tahmin edilmesi gerekmektedir (Köksal, 2012). Optimal boyutlandırma problemi sonucunda belirlenebilecek değerler şunlardır: dizi sayısı ve dizi boyutları (panel alanı), yönlendirilmeleri (eğim açısı), elektriksel konfigürasyon, pil veya evirici (invertör) gibi alt sistemlerin boyutları. PV sistemin maliyetinin çoğu, güneş paneli dizisinin alanına bağlı olduğu için sistem tasarımında minimum sayıda panel ile gerekli pompalama gücünün üretimi hedeflenmektedir (Fıratoğlu ve Yeşilata, 2004).

5.2.2.1 Sistem tasarım aşamaları

Sistem tasarımı kapsamında PV dizisinin boyutları, yönlendirmesi, elektriksel konfigürasyon ve varsa pil veya invertör gibi alt sistemlerin boyutları belirlenmektedir. Tasarım sistemin tek başına veya şebekeye bağlı olmasına göre değişiklik gösterecektir. Tek başına sistemlerde talebi karşılayacak enerji üretimi,

tedarik güvenilirliği ve ekonomik boyut önemli olmaktadır. Şebekeye bağlı sistemler ise küçük ev entegre sistemlerden PV elektrik santrallerine kadar tasarlanabilmektedir. Bu sistemlerde modelleme araçları ile güneş radyasyonu, olası gölge etkileri elde edilmekte ve PV dizisinin elektriksel planı belirlenmektedir. Burada ekonomik açıdan; finansal destekler, yerel elektrik üretiminin ve şebekeyle alışverişinin etkileri incelenmektedir (Silvestre, 2003). Bu bölümde tek başına bir PV sulama sisteminin tasarımı ele alınacaktır. Şebekeye bağlı sistemler daha karmaşık oldukları için, gelecek çalışmalarda ele alınabilecektir.

PV sulama sistemlerinde ilk yatırım maliyeti yüksek olduğu için PV panellerinin en doğru şekilde boyutlandırılması gerekmektedir. PV su pompalama sisteminde optimal boyutlandırma temel olarak, gerekli hidrolik enerjinin ve aylık ortalama günlük güneş radyasyonunun hesaplanmasına bağlı olarak geliştirilmiştir. Sulama için gereken hidrolik enerji, tarım uzmanları ve suyun çıkarıldığı toplam yükseklik ile belirtilen gerekli su miktarına göre hesaplanmaktadır (Glasnovic ve Margeta, 2007a). Genellikle fiyatlara öncelik verilerek sistem tasarımı ve boyutlandırma yapılmaktadır. Boyutlandırmada sadece maliyet optimizasyonu dikkate alınırsa en ucuz sistem boyutu ortaya çıkacaktır. Ancak tedarik güvenilirliği optimizasyonu dahil olursa, maliyet yükselecek fakat daha etkin bir sistem tasarımına ulaşılabilecektir (Short ve Oldach, 2003).

Boyutlandırma hesabıyla; talebin tedarik güvenilirliği ve sistem maliyeti optimize edilerek, ihtiyaç duyulan enerjiyi üretebilmek için PV dizisinden istenen güç ve varsa pil veya su tankının depolama kapasitesi ortaya çıkacaktır (Silvestre, 2003). Boyutlandırmada PV dizisi alanı en büyük öneme sahiptir ancak bileşenlerin doğru belirlenmesine de dikkat edilmelidir. Bileşenlerin seçimi için yalnızca maliyet ve güvenilirlik optimizasyonu yeterli olmamaktadır. Her bileşenin birbiriyle uyumlu olması gerekmektedir. Bileşen bazında ucuz ve güvenilir olan sistem, toplama bakıldığında en iyi tasarım olmayabilir. Her bileşenden aynı çıktıyı sağlayabilmek için optimum PV sulama sistemi tasarlanmalı, sürdürülebilir olmalıdır. Ayrıca teknolojik olarak bakım ve kullanım kolaylığı, uzun ömürlü ve dayanıklı olması, yedek parçaların bulunabilirliği ve maliyetleri önemli olmaktadır (Short ve Oldach, 2003).

Sulama sisteminde boyutlandırma yapmadan önce aşağıdaki bilgiler belirlenmelidir (Morales, 2010):

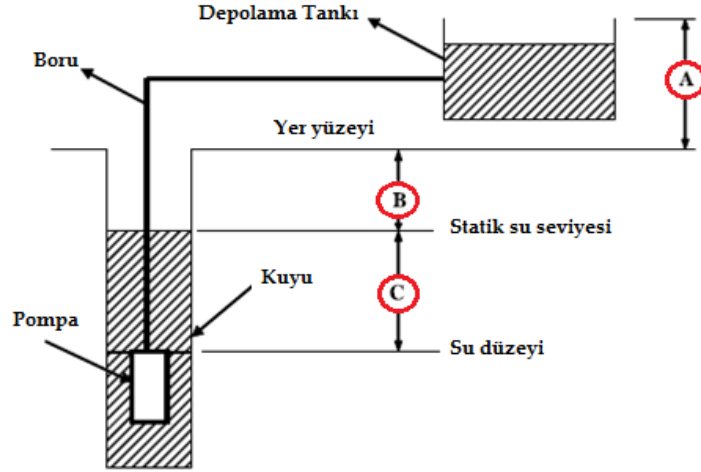
- 1) Bölgeye ait güneş radyasyonu değerleri
- 2) Gerekli olan su hacmi (en az 3 günlük depolama dahil)
- 3) Pompa için toplam dinamik yükseklik (TDH)
- 4) Suyun miktarı ve kalitesi (yeterli olduğu varsayılmıştır)
- 5) Önerilen yerleşim ve hidrolik kriterleri

Güneş radyasyonu, PV panellerin boyutlandırılmasında büyük rol oynamaktadır. Ancak hava durumuna bağlı olarak oldukça belirsiz ve değişken yapıya sahip olduğu için değerlerin ölçümü veya tahmini yüksek doğrulukta yapılmalıdır. Yeşilata ve Fıratoğlu (2008), güneş radyasyonu ve boyutlandırma arasında korelasyon analizi yaparak, radyasyon tahminindeki hataların doğrusal olmayan bir şekilde sistem boyutlandırmasını etkilediğini göstermiştir. Eğer panel belli bir eğim açısıyla yerleştirildiyse, yatay radyasyon değerleri yerine eğimli değerlerin hesaplanmasına dikkat edilmelidir. Enerji üretimini maksimum yapabilmek için paneller güneşe dönük, gölgeden uzak olmalıdır. Paneller, elektrik kablosunun uzunluğunu ve kurulum maliyetlerini minimize etmek için pompaya yakın tutulmalıdır.

Gerekli su hacmi için, yerel koşullar dikkate alınarak bitki (ekin) tipine bağlı olarak tarımsal sulama ihtiyacı belirlenmelidir. Yıl içinde değişkenliklerin olabileceği düşünülmelidir. Günlük su ihtiyacı; ekili alanın büyüklüğü, bitkinin ihtiyacı, mevsim ve hava durumu (güneşlenme miktarı, sıcaklık, yağmur), toprak yapısı gibi faktörlere bağlı olmaktadır. Pik enerji üretimi sırasında fazla suyun depolanması ve bulutlu havalarda su ihtiyacının karşılanması için depolama tankı önemli olmaktadır. En az 3 günlük su ihtiyacını tutabilmelidir. Yerden yüksek yerleştirildiğinde yerçekiminden faydalanarak su dağıtımı yapılabilir. Bu tankın UV'ye dayanıklı malzemeden yapılması ömrünü uzatacaktır. Soğuk bölgeler için donmasını önlemek gerekmektedir.

Toplam dinamik yükseklik ile statik yükseklik Şekil 5.11 ile gösterilmiştir (Ghoneim, 2006). Toplam statik yükseklik (TSH), A+B ile hesaplanmaktadır. TDH ise A+B+C+boru sürtünmesi ile ifade edilmektedir. Dolayısıyla TDH, dikey yükseklik, basınç yükü, sürtünme kaybının toplamı şeklinde ifade edilmektedir. Ayrıca pompanın akış hızı (oranı) hesaplanmaktadır. Bu değer, günlük su ihtiyacının pik güneşlenme saatine bölünmesiyle bulunur. Kullanılacak pompanın tercihi için, pompa performans eğrilerinde, gerekli akış ve bilinen TDH değerine göre seçim yapılmaktadır. Gerekli pik güç de bu eğriler aracılığıyla belirlenmektedir. Gerekli pik

güç (pompanın ihtiyaç duyduğu enerji) ile uygun PV paneli seçimi yapılmaktadır. Birden fazla panel gerektiğinde, pompanın voltaj ve akım özelliklerine uygun olarak seri, paralel veya birleşimi şeklinde bağlantı kurulur. Bir panelin ürettiği güçler toplanarak toplam üretilecek güç belirlenmektedir.



Şekil 5.11 : Statik ve toplam dinamik yükseklik.

Bölgenin topografyasına bağlı olarak kuyu veya yüzey su kaynağı kullanılacağına karar verilmelidir. Sulama sistemi tasarımı için, su kaynağı ve yeri temel bilgileri oluşturmaktadır. Su kaynağı yeraltında (kuyu) veya yüzeyde (gölet, nehir, pınar) olabilir. Kuyular su kalitesi ve tutarlılığı açısından tercih edilmektedir. Suyun miktarı ve kalitesi, pompalanacak seviye belirlenmelidir. Kaynağın kuruması riskine karşılık alternatif su kaynağı bulunmalıdır. Bu çalışmada kuyudaki su miktarının ve kalitesinin, sulama sistemi uygulaması için yeterli olacağı kabul edilmiştir.

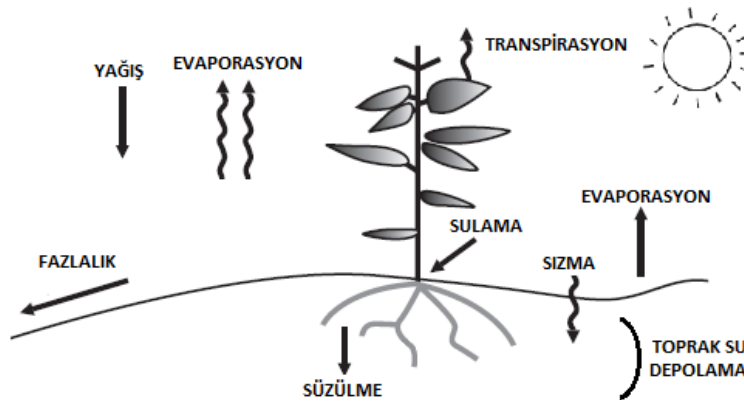
Daha sonra sistem yerleşim planı yapılmalıdır. Su kaynağı, PV paneller, pompa, depolama tankı, kullanım noktaları, boru hatları gibi bileşenlerin yerleşimleri ve yükseklikleri belirlenmelidir. Tasarımda PV sulama sisteminin yerleştirileceği alanın uygunluğu önemlidir. Bu alan gölgelenmemeli, PV dizisi pompaya mümkün olduğunca yakın olmalı (kablo boyutunu ve maliyeti azaltmak için), pil kullanılacaksa kuru ve havalandırmayla sıcaklığı kontrol edilebilen bir yere yerleştirilmeli, bütün yıl devam edecek bir sistemse donmaya karşı önlemler alınmalıdır (su deposu ve basınç tanklarının ısıtılması) (Sinton ve diğ, 2005). Bu aşamada gelecekte oluşabilecek gölgeleme durumunun da düşünülmesi gerekmektedir. Tasarım detaylarına uygun olarak donanımlar kurulmalıdır. PV panellerin kötü hava koşullarına dayanıklılığı sağlanmalıdır. Yüksek sıcaklıklar, kir,

aşırı rüzgar, kar, buz, dolu yağması gibi çevresel faktörler PV panellerini ve ilgili bileşenlerini etkileyecektir (Morales, 2010). Bu nedenle korunması önemlidir. Tüm sistem bileşenlerinin dağıtım noktalarındaki akış hızları incelenmelidir.

Ek olarak, PV hücreleri enerji dönüşümü sırasında ısınmaktadır. Bu ısı nedeniyle sistemin performansı etkilenmektedir. Bu nedenle maksimum güç seviyesini koruyacak şekilde hücrelerdeki yüksek sıcaklığın azaltılması gerekmektedir. Soğutma yapabilmek için panel yüzeyine su püskürtme veya yüzeyde su içeren ince bir film tabakası olabilmektedir (Gopal ve diğ., 2013). Buna benzer iyileştirmeler sonucunda, performansın arttığı deneysel olarak gösterilmiştir. Ayrıca sistem farklı alanlarda kullanılmak isteniyorsa mobil kullanım gerçekleştirilebilmektedir. Panellerin yürüyen aksam üzerine veya kolaylıkla taşınabilecek biçimde monte edilmesi sağlanabilmektedir.

5.2.2.2 Su ihtiyacının belirlenmesi

Sulama sisteminin optimal boyutlandırma probleminde öncelikle ihtiyaç duyulan su miktarı belirlenmelidir. Değişkenlik gösteriyorsa, en yüksek miktarı karşılayacak şekilde sistemi boyutlandırmaya dikkat edilmelidir. Sulama için hidrolojik döngü Şekil 5.12'deki gibi özetlenebilir (EPA, 2003). Bitkinin su ihtiyacı, yağış, sulama veya yeraltı suları tarafından karşılanabilir. Ancak çeşitli su kayıpları (sızma, süzülme, fazlalıkların akması) ve buharlaşmalar olmaktadır.



Şekil 5.12 : Bitkinin sulanmasıyla ilgili hidrolojik döngü.

Bitkinin su tüketimi (evapotranspirasyon), toprak yüzeyindeki buharlaşma (evaporasyon) ve bitki yapraklarındaki terleme (transpirasyon) miktarlarının toplamı şeklinde tanımlanmaktadır. Su ihtiyacı, ideal yetiştirme koşullarındaki evapotranspirasyonla (ET) ifade edilmekte ve derinliği *mm* birimiyle

gösterilmektedir. Sulamada esas olarak toprak neminin değişimi önemli olduğu için buharlaşma ve terleme birlikte ölçülmekte veya tahmin edilmektedir. ET değeri, bitkinin cinsine ve iklim şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklık, rüzgar hızı ve güneşlenme süresi arttıkça, ET de artacaktır. Bağıl nem arttıkça ise ET azalacaktır. Sulama miktarı genellikle her ay farklı olacağı için, aylık veya mevsimlik olarak belirlenmelidir. Ancak günlük, haftalık, 10 günlük gibi kısa dönemler için de hesaplanabilmektedir. Bitkiler, ihtiyaç duydukları suyun yağışlarla karşılanamayan kısmını sulama ile topraktan almalıdır. Sulama, her an ulaşılabilir bir yeraltı su kaynağını gerektirmektedir.

Bitkiler genellikle bahar ve yazda dikilir ve büyür. Büyüme döneminde radyasyon önemli bir faktör olmaktadır (Kelley ve diğ, 2010). Radyasyon değerleri ve bitkilerin sulama suyu ihtiyaçları birbiriyle ilişkilidir. Radyasyonun düşük olduğu bölgelerde sulama ihtiyacı da düşük olmakta, yüksek olduğu yerlerde ise sulama daha fazla gerekmektedir. Bazı bölgelerde sulama sadece büyüme mevsiminde ve kurak dönemlerde gerekmektedir. Bazen de bütün yıl süren bir sulama yapılmalıdır. Sulama ihtiyaçları; bölgenin aldığı güneş ışığına, yeraltı suyuna, yağışlara, toprak şartları ve bitki tipine göre belirlenmektedir (Kelley ve diğ, 2010).

Bitki su tüketimini etkileyen faktörler kısaca şunlardır:

- a) İklim faktörleri: Radyasyon, sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı, güneşlenme süresi, yağış.
- b) Toprak faktörleri: Toprak nemi, işlenme durumu, bitki örtüsü, yeraltı su düzeyi.
- c) Bitki faktörleri: Cinsi (morfoloji, kök derinliği), gelişme devresi, büyüme mevsimi.
- d) Su faktörleri: Sulama sıklığı, su kalitesi.

Toprak tipine göre toprak altına süzülme miktarları farklı olmaktadır ($kum > alüvyon > kil$). Su tüketimi doğrudan ölçümle veya bazı iklim verilerinin tahminiyle belirlenmektedir. Genellikle ölçüm, tahmin eşitliklerinin bulunması için yapılır ve çok sık tercih edilmez. Bu nedenle iklim verilerinden yararlanarak tahmin oluşturan birçok eşitlik önerilmiştir. FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) grubunun 1971 (Lübnan) ve 1972 (Roma) toplantılarında geliştirilen bitki su ihtiyaçları hesaplamaları sıklıkla kullanılmaktadır. Yayınladıkları kılavuzlara göre bitki su ihtiyacı şu şekilde tanımlanmıştır: kısıtlama olmaksızın büyük alanlarla yetişebilen ve büyüme ortamında tam üreme potansiyeli olan sağlıklı bir bitkinin, ET

(ET_{crop}) ile kaybettiği su ihtiyacının karşılandığı su derinliğidir (Doorenbos ve Pruitt, 1977). ET_{crop} (mm/gün) değerinin hesaplanması için 3 aşamalı bir prosedür önerilmiştir. ET hesabında yaygın olarak denklem 5.3'teki ifade tanımlanmaktadır. Burada k_c bitki katsayısı ve ET_0 referans bitki su tüketimidir.

$$ET_{crop} = k_c * ET_0 \quad (5.3)$$

Birden fazla bitki içerdiğinde ise denklem 5.4 ile i .bitki için büyüme mevsimine ait su ihtiyacı hesaplanmaktadır (Ali, 2010).

$$CWR_i = ET_i = \sum_{t=0}^m (k_{ct} * ET_{0t}) \quad (5.4)$$

Bu değerler standart yetiştirme koşullarına aittir. Standart koşullarda bitkilerde hastalık yoktur, iyi gübrelenmiştir, büyük alanlarda yetiştirilebilir, toprak su koşulları optimumdur ve iklim koşullarında tam bir üreme sağlanmaktadır. Ayrıca standart olmayan toprak ve iklim koşulları için, ilave katsayılarla formüllerde düzeltmeler yapılmıştır (bkz. Allen ve diğ, 1998). Ancak bu çalışmada basitlik açısından standart koşullardaki formüller dikkate alınmıştır. İklim, bitki özellikleri, yerel koşullar ve tarımsal uygulamalar açısından bitki su tüketimine etkiler aşağıdaki bölümlerde ele alınmıştır.

a- İklimin bitki su tüketimine etkisi

İklimin etkisi referans bitki su tüketimi olan ET_0 değeriyle dikkate alınmaktadır. ET_0 değerinin hesabı için, belli koşullara sahip bir bitki alınır ve su tüketimi tahmin edilir. Bunun için ampirik eşitlikler geliştirilmiştir. Bu değer sonrasında bitki cinsi ve gelişme döneminin fonksiyonu olan bitki katsayılarıyla düzeltilmektedir. Referans olarak çayır bitkileri dikkate alındığında, ET_0 şu şekilde tanımlanmaktadır: “8-15 cm yüksekliğinde, sabit boylu, aktif olarak büyüyen, alanı tam örten, yeterli düzeyde sulanmış çayır bitkileri ile kaplı geniş bir alandaki bitki su tüketimi” (Doorenbos ve Pruitt, 1977).

ET_0 hesaplanması için geliştirilen 4 yöntem, 30 veya 10 günlük dönemlere ait ortalama günlük iklim verisini kullanmaktadır. Bu yöntemler Blaney-Criddle, Radyasyon, Penman ve Kap Buharlaşması'dır. Yöntem seçimi, mevcut iklim verisine ve istenen doğruluğa göre yapılmaktadır. Bu 4 yöntem, FAO-24 yöntemleri olarak da adlandırılmaktadır (Beyazgül ve diğ, 2000). Doğruluk açısından Penman modifikasyonu en başarılı sonuçları vermektedir (%10 hata payı). Kap buharlaşması

yöntemi ise kabın yerine bağlı olarak yaklaşık %15 hata vermektedir. Radyasyon yöntemi uç durumlarda ve yaz aylarında %20 hata verebilmektedir. Blaney-Criddle yöntemi ise bir ay veya daha uzun dönemler için uygulanmalıdır. Hata payı %25 olabilmektedir. Bu yöntemlerle ilgili detaylı bilgi ve formüller (Doorenbos ve Pruitt, 1977) raporunda mevcuttur. Ayrıca Penman FAO modifikasyonu (P-FAO), Kap Buharlaşması FAO modifikasyonu (A-FAO), Jensen-Haise (J-H), Penman-Monteith (P-M), Hargreaves (H) ve A sınıfı kap buharlaşması yönteminin Christiansen-Hargreaves modifikasyonu (A-CH), vb. yöntemler de geliştirilmiştir (Uçar ve diğ., 2005).

Blaney-Criddle yöntemi az sayıda meteorolojik veriye ihtiyaç duyduğu ve hesaplamaları kolay olduğu için sıklıkla kullanılmıştır. Penman-Monteith yöntemi ise daha fazla meteorolojik veri kullanır ve sonuçları daha gerçekçidir. Fakat veri temini zor olduğu için uygulanması daha zordur. Uluslararası Su Yönetimi Enstitüsü (IWMI) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (FAO) tarafından gerekli verilerin ve bilgisayar programlarının (Cropwat, Climwat gibi) ücretsiz olarak sağlanmasıyla Penman-Monteith yöntemi yaygınlaşmıştır (Koç ve Güner, 2005).

FAO Penman-Monteith Yöntemi

Penman-Monteith ampirik yöntemi, meteorolojik verileri (sıcaklık, nem, rüzgar hızı, güneşlenme süresi) kullanarak referans evapotranspirasyon hesabı yapmaktadır. denklem 5.5 ile ET_0 ($mm/gün$) bulunmaktadır (Abdul Karim ve diğ., 2013).

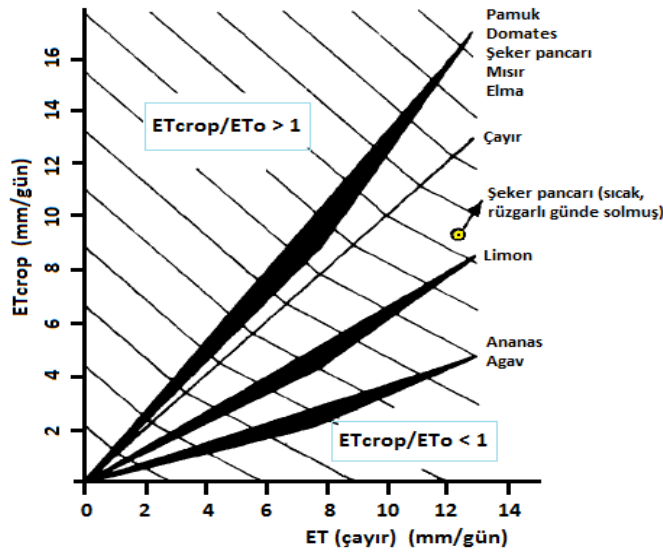
$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (5.5)$$

Burada R_n bitki yüzeyindeki net radyasyon ($MJ/m^2 gün$), G toprak sıcaklığının akış yoğunluğu ($MJ/m^2 gün$), T ve U_2 , sırasıyla, $2m$ yükseklikteki hava sıcaklığı ($^{\circ}C$) ve rüzgar hızı (m/s), e_s doyma buhar basıncı (kPa), e_a gerçek buhar basıncı (kPa), Δ buhar basıncı eğrisinin eğimi ($kPa/^{\circ}C$) ve γ psikrometrik katsayıdır ($kPa/^{\circ}C$).

b- Bitki özelliklerinin bitki su tüketimine etkisi

Bitki özelliklerinin etkisi bitki katsayısı (k_c) ile hesaba katılmaktadır. Bitkinin büyüme durumuna (ekim zamanına), büyüme mevsimine (uzunluğuna) ve geçerli hava durumu koşullarına göre değişmektedir. Genellikle büyüme mevsimleri; başlangıç, gelişim, orta-mevsim ve son mevsim şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bazı bitkilerin ET_{crop}/ET_0 oranları Şekil 5.13'teki gibi gösterilmiştir (Doorenbos ve

Pruitt, 1977). Farklar genellikle bitkinin transpirasyona direnci, boyu, sertliği gibi özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yüksek evaporasyon olan koşullarda, yani sıcak, şiddetli rüzgar ve düşük nem olduğunda, ET_0 değerleri 12-14 mm/gün ve ET_{crop} değerleri 15-17 mm/gün arasında değişebilmektedir. Referans olması açısından Doorenbos ve Pruitt (1977) farklı bitki tiplerinin yaklaşık ET_{crop} değerlerini paylaşmıştır. Çizelge 5.5'te bazı bitki türleri için mevsimsel su ihtiyaçları yaklaşık olarak listelenmiştir (Brouwer ve Heibloem, 1986).

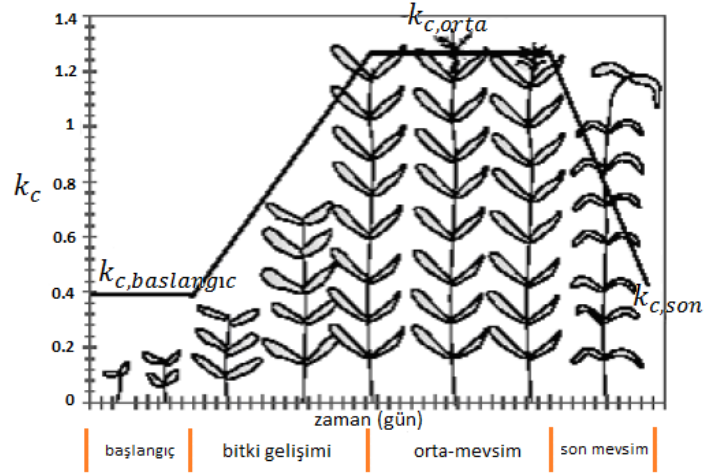


Şekil 5.13 : Çeşitli bitki tipleri için ET_{crop} / ET_0 oranları.

Çizelge 5.5 : Bitki türleri için yaklaşık mevsimsel su ihtiyaçları.

Bitki	Bitki su ihtiyacı (mm/toplam büyüme dönemi)
Fasulye	300-500
Lahana	350-500
Bezelye	350-500
Soğan	350-550
Kavun	400-600
Domates	400-800
Arpa/Yulaf/Buğday	450-650
Sorgum/Darı	450-650
Pirinç (çeltik)	450-700
Soya fasultesi	450-700
Yer fıstığı	500-700
Patates	500-700
Mısır	500-800
Şeker pancarı	550-750
Ayçiçeği	600-1000
Biber	600-900
Pamuk	700-1300
Alfalfa (kaba yonca)	800-1600
Limon	900-1200
Muz	1200-2200
Şeker kamışı	1500-2500

Örnek olarak bir bitki katsayısının farklı büyüme mevsimlerine göre eğrisi Şekil 5.14'te gösterilmiştir (Cornejo, 2003).



Şekil 5.14 : Bitki katsayısının büyüme mevsimlerine göre değerleri.

c- Yerel koşulların ve tarımsal uygulamaların bitki su tüketimine etkisi

Yerel koşullar ve tarımsal uygulamalar; iklim, uzaklık, yükseklik, alan büyüklüğü, adveksiyon, topraktaki su miktarı, tuzluluk oranı, sulama yöntemi, yetiştirme yöntemi gibi bilgileri içermektedir.

Net sulama ihtiyacının hesaplanması

Bitkinin su tüketimi ile sulama ihtiyacı farklı terimlerdir. Bitki su tüketimi $CWR = f(hava\ durumu, bitki)$ şeklinde ifade edilmektedir. Ancak sulama ihtiyacı $IWR = f(hava\ durumu, bitki, toprak, yağış, sulama\ yöntemi, su\ derinliği)$ ile birçok değişkene bağlı olmaktadır. Normalde CWR değeri IWR'den daha az olmaktadır.

Sulama ihtiyacı; bitkinin en iyi büyümesini sağlayacak su miktarının, yağış ve toprak tarafından karşılanamayan kısmıdır. Net sulama ihtiyacı, sulama yapmadan önce alanın kapasitesi ve kökteki toprak nemi arasındaki farktır. Brüt sulama ihtiyacı ise, net sulama ihtiyacına uygulamadaki ve diğer kayıplar ilave edildiğinde elde edilir.

Net sulama miktarının hesabı için kayıplar ile kazançların farkı alınır (5.6). Bitkinin su tüketimi kayıp olarak ele alınır. Kazançlar ise etkin yağış, yeraltında biriken su ve toprakta depolanan su miktarı olmaktadır. Tüm yağışlar etkin olmayabilir, yüzeydeki fazlalık, dibe süzülme ve buharlaşma sebepleriyle kayıplar yaşanabilir. Bu nedenle

bitkinin aldığı etkin yağışlar dikkate alınmalıdır. Bu değer ise evapotranspirasyon/yağış oranı yöntemiyle tahmin edilmektedir.

$$NIWR = ET_{crop} - (\text{etkin yağış} + \text{yeraltı suyu} + \text{depolanan toprak suyu}) \quad (5.6)$$

Etkin yağış için geliştirilen basit formül denklem 5.7'deki gibidir. Bu formül eğimi maksimum %4-5 olan alanlarda uygulanabilmektedir. P yağış miktarını, P_e ise etkin yağışı göstermektedir (Brouwer ve Heibloem, 1986).

$$P_e = \begin{cases} 0,8P - 25, & \text{eğer } P > 75 \text{ mm/ay} \\ 0,6P - 10, & \text{eğer } P < 75 \text{ mm/ay} \end{cases} \quad (5.7)$$

Cropwat yazılımı

Cropwat ile seçilen bir bitki ve bölgeye göre sulama ihtiyaçları belirlenmektedir. Cropwat yazılımı sayesinde yağış tahmini, toprak özellikleri, ET_{crop} değerleri otomatik olarak hesaplanabilmektedir. Ortalama k_c katsayıları da tahmin edilmektedir. FAO'nun sunduğu Cropwat programı (Smith, 1992), referans ET ve sulama ihtiyacı hesaplamalarını yapmakta, çeşitli iklim, bitki, toprak koşulları altında bitkinin su kullanımını simülasyon modeliyle ifade etmektedir. Tüm dünyaya ait iklim verileri Cropwat için geliştirilen Climwat (1994) programı aracılığıyla elde edilebilmektedir.

Bu yazılımda ilk olarak FAO Penman-Monteith yöntemiyle referans ET hesaplanır. Daha sonra bitki türüne göre katsayılar ve büyüme dönemleri bulunarak su ihtiyaçları belirlenir. Bitkinin büyüme dönemi için 10 günde bir ET değerleri listelenmektedir. Bölge seçimiyle etkin yağış ve sulama ihtiyaçları da hesaplandıktan sonra, sulama çizelgesi hazırlanır. Ayrıca günlük su dengesi de hesaplanabilmektedir. Smith (1992) Cropwat yazılımını ve uygulama örneklerini detaylı bir şekilde anlatmıştır.

Literatürden örnekler

Kelley ve diğ. (2010) farklı bitkilerin (zeytin, mısır, biber, patates, domates) su ihtiyaçlarını FAO'nun geliştirdiği Climwat veritabanı ve Cropwat yazılımı ile hesaplamıştır. Adeniran ve diğ. (2010) benzer şekilde, pirinç, mısır, domates, biber, soğan, lahana gibi bitkilerin su ihtiyaçlarını 25 yıllık veri ve Cropwat yazılımıyla hesaplamıştır. Net sulama ihtiyacı, tüm bitkilerin toplam su ihtiyaçlarının toplamıdır. Alan farklı bitki yetiştirmek için bölünebilmektedir. Cornejo (2003) ise yüksek lisans tezinde ET hesaplamalarını Cropwat yazılımıyla gerçekleştirmiştir. Cuadros ve diğ.

(2004) de Cropwat-Climwat programlarıyla sulama ihtiyaçlarını hesaplamıştır. Knežević ve diğ. (2013) kış buğdayı su dengesinin simülasyonu için Cropwat ve Isareg modellerini uygulamıştır. Net sulama ihtiyaçları bu iki yazılımla elde edilip karşılaştırılmıştır. Isareg modeli Cropwat'tan daha düşük miktarlar hesaplamıştır.

Zhang ve diğ. (2014) PV pompalama sisteminin su ihtiyaçlarını incelemiş ve optimize etmiştir. Çin'de yarı-kurak bir çayırın ölçüm değeri (18 Haziran-2 Temmuz) kullanılmış, ET ve yeraltı su seviyesi simülasyon modeline yansıtılmıştır. Ölçümler ve simülasyon arasında verilerde eşleştirme gerçekleştirilmiştir. Bu alışmada ET değeri Penman-Monteith yöntemiyle, toprak özellikleri ve yeraltı suyu simülasyonu ise Theis formülüyle hesaplanmıştır. Modelin performansı ölçüm verileriyle kıyaslanarak ve PRMSE ile Nash-Sutcliffe verimi (NSE) hata değeriyle belirlenmiştir. Sonuçlara göre model güvenilir bulunmuştur. Su ve enerji ihtiyaçları bulunduğundan sonra PV sistemin optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada ele alınan sistemde 9 seri bağı PV modülü, AC/DC dönüştürücü, su depolama tankı bulunmaktadır. Sulama alanının 0,5 ha'lık kısmı damla sulama ve 0,5 ha'lık kısmı mikro-nemle sulama kullanmaktadır. Sistem güneşli günlerde 06:00-19:00 saatleri arasında çalışmaktadır.

Beyazgül ve diğ. (2000) Gediz Havzası için bitki su ihtiyaçlarını tahmin etmek için basit bir su dengesi modeli uygulamıştır. ET_0 tahmininde kullanılan 6 yöntemi (FAO-24 modelleri, Hargreaves, Penman-Monteith) karşılaştırmıştır. Penman-Monteith yöntemini kullanan Cropwat ile elde edilen ET_0 , IRSIS (*Individual Residential Spray Irrigation System*) simülasyon programına aktararak ET_{crop} ve ET_{act} değeri hesaplanmıştır. IRSIS ile su dengesi bulunmuştur. En iyi sonuçlar incelendiğinde, sadece sıcaklık verisi kullanan Hargreaves ile daha gelişmiş olan Penman-Monteith yöntemleri benzer sonuçlar üretmiştir.

Koç ve Güner (2005) ise Tavas Ovası için su ihtiyaçlarını hesaplamıştır. Blaney-Criddle yöntemiyle FAO Penman-Monteith yöntemi karşılaştırılmıştır. Cropwat yazılımı uygulanarak bitki sulama suyu ihtiyaçları ve mevcut proje değeri belirlenmiştir. Sonuçlarda her iki yöntemde de en büyük aylık sulama suyu ihtiyacı Temmuz ayında ve birbirine yakın değeri bulunmuştur. Bu ihtiyaçlara göre, inşa edilecek kanal projelerinde değışiklik öngörülmemiştir.

Sammis ve diğ. (2012) ise sulama çizelgeleme modeli geliştirmiştir. Soğan ve kırmızı biber örneklerinde bir boyutlu ve iki boyutlu (elipsoid) modelleri test eden çalışmada, iki boyutlu modelin mevsimsel su dengesini daha iyi kurduğu gözlenmiştir. Her iki model de Penman yöntemine dayanarak ET_0 hesabı yapmıştır. Sıcaklık, nem, radyasyon, rüzgar hızı verileri modele girdi olarak kullanılmıştır. Bitki katsayısı ise 4.dereceden polinomun bulunmasıyla elde edilmiştir.

Su ihtiyaçları sistemin boyutlandırılmasını doğrudan etkilemektedir. Eğer bitkinin su ihtiyaçları ve kuyu derinliği artarsa, PV panelinin alanı da arttırılmalıdır. Eğer tarla alanında PV panelinin boyutları için yeterli yer yoksa ekili alanın küçültülmesi gerekmektedir.

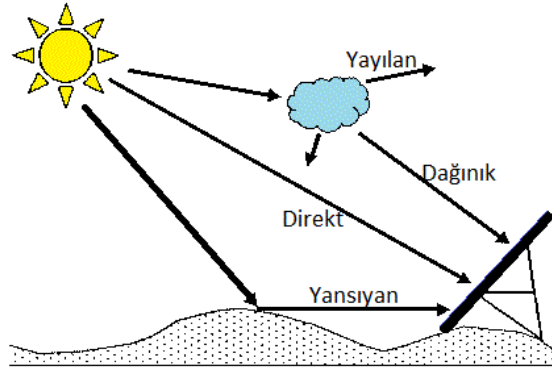
5.2.2.3 Optimal eğim açısının hesaplanması

Birçok bölge için yatay düzlemdeki güneş radyasyonu ölçümleri mevcut olmasına rağmen, eğimli yüzeyler için bu veriler bulunmamaktadır. Bu nedenle eğim açısına uygun olan radyasyon değerine dönüşüm gerekmektedir. Sistemden maksimum enerjiyi elde edebilmek için, eğim açısının optimizasyonu gerçekleştirilmelidir. Optimal eğim açısı, bölgenin enlemine ve yıl içindeki gün sayısına bağlı olarak değişmektedir.

Eğim açısı yıllık sabit, aylık veya mevsimsel değişimlerle sabit olabileceği gibi sürekli güneşi takip sistemleriyle değişken de olabilmektedir. PV dizisinin eğim açısını mevsimsel değişimlere göre ayarlamak, elektrik üretimini arttıracaktır. Güneşin bir veya iki eksenle sürekli takip edilmesi çok daha etkin sonuç verecektir. Tek eksenli takip sistemiyle enerji üretimi bazı aylarda %50'ye kadar artabilmektedir. Ortalama olarak 2 eksenli güneş takip sistemleriyle enerji üretimini %40'a kadar arttırmak mümkündür (İbrahim, 1995a). Ancak bu tür sistemlerin karmaşıklığı, uygulanabilirliğinin zor olması, kontrolü, çalışmak için enerji gerektirmeleri ve yüksek maliyetleri nedeniyle fazla tercih edilmemekte, çoğu sistem sabit ve güneşe yönlendirilmiş olarak tasarlanmaktadır. Böylece öğle saatlerinde en fazla gün ışığı alınabilmektedir. Varsayılan eğim açısı, genelde bölgenin enlemine eşit kabul edilir. Yaz ve kış aylarında eğim açısı $\pm 15^\circ$ olarak değiştirildiğinde, enerji üretimi de artacaktır. Çoğu PV sulama sistemi su ihtiyacının fazla olduğu yaz aylarına göre yönlendirilmiştir. Ancak hem yaz hem de kış için enerji üretimini maksimize etmek için, bahar (21 Mart) ve sonbahar (21 Eylül) ekinokslarında eğim

açısının düzeltilmesi önerilmektedir. Genellikle yaz için enlem-15°, kış için enlem+15° şeklinde eğim açısı hesaplanmaktadır. Eğim açısı mevsimsel olarak değiştirildiğinde, sistem tasarımında kullanılan bölgenin güneş radyasyon verileri de açığa uygun olarak güncellenmelidir (Morales, 2010). Literatürde optimal eğim açısı hesabı için birçok çalışma mevcuttur.

Optimal eğim açısı hesaplamadan önce, yatay düzlemdeki güneş radyasyonu değerlerinin eğimli yüzeydeki değerlere dönüştürülmesi üzerinde durulmuştur. Atmosfer dışındaki radyasyon Şekil 5.15'teki gibi çeşitli dağılıma, yansıma, yayılma sonucunda PV panel yüzeyine azalarak ulaşmaktadır (Url-10). Bu nedenle küresel radyasyon genellikle direkt, dağınık ve yansıyan bileşenlerinin toplamıyla ifade edilmektedir.



Şekil 5.15 : Atmosfer dışı radyasyonun dağılıma, yansıma ve yayılması.

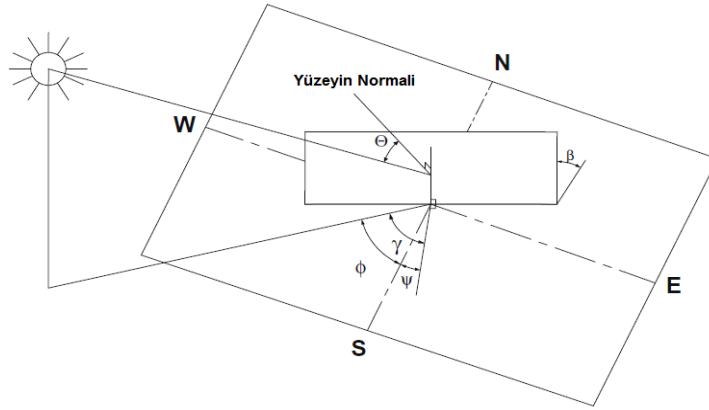
Güneş enerjisi uygulamalarında kullanılan bazı temel açılar Şekil 5.16'da gösterilmiştir (Skeiker, 2009). β , panelin yüzeyle olan eğim açısıdır. φ enlem açısı ($-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$, kuzeyde pozitif), δ deklinasyon açısı ($-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$, güneş ve dünya merkezlerini birleştiren çizginin ekvatorial yüzeyle yaptığı açı), γ yüzey azimut açısı (yatay düzlemde yeryüzünün herhangi bir noktasıyla güney yönü arasındaki açı), θ güneş ışınlarının eğim açısı (direkt radyasyon ile yüzeyin normali arasında kalan geliş açısı), ω ise saat açısı (güneş doğuş veya batış saati açısı) olarak tanımlanmaktadır. Deklinasyon açısı denklem 5.8 ile ifade edilmektedir. Burada n yıl içindeki gün sayısıdır ($n = 1, 2, \dots, 365$).

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + n) \right] \quad (5.8)$$

Yerel saat açısı (ω_s) ise denklem 5.9 ile hesaplanmaktadır.

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (5.9)$$

Ayrıca 1 saatte 15° değiştiği bilinerek, maksimum güneşlenme süresi (gün uzunluğu) saat cinsinden bulunabilmektedir: $\text{güneşlenme süresi} = \frac{2}{15} \omega_s$ (Kalogirou, 2014).



Şekil 5.16 : Güneş enerjisi uygulamalarında temel açılar.

β eğim açısına sahip bir yüzeye düşen toplam günlük radyasyon miktarı H_T , denklem 5.10 ile ifade edilmektedir.

$$H_T = H_{bT} + H_{dT} + H_{rT} \quad (5.10)$$

Eğimli yüzeydeki H_{bT} direkt radyasyon (5.11), H_{dT} dağınık radyasyon (5.12) ve H_{rT} yansıyan radyasyon (5.13) bileşenleri için geliştirilen formüller aşağıda verilmiştir. Burada H_b yatay yüzeye direkt ışın olarak gelen, H_d yatay yüzeyde emilen radyasyon miktarlarıdır. H yatay düzleme gelen toplam küresel radyasyondur ve H_b ile H_d toplamıdır.

$$H_{bT} = H_b R_b \quad (5.11)$$

$$H_{dT} = H_d R_d \quad (5.12)$$

$$H_{rT} = H R_r = (H_b + H_d) R_r \quad (5.13)$$

R_b direkt ışın radyasyonunun etki faktörüdür ve denklem 5.14 ile ifade edilmektedir. Burada kuzey kutbu için güneye bakan bir yüzey ($\gamma = 0$) düşünülmüştür. Güney kutbu için R_b ifadesinde $(\varphi + \beta)$ açısı yer almaktadır. Ayrıca $\gamma < 0$ (doğu yön) ve $\gamma > 0$ (batı yön) olduğu durumlar için formüller geliştirilmiştir (Kaçan ve Ülgen, 2012). Denklemden yer alan θ_z güneş ışınlarının etki açısı veya zenit açısıdır (direkt ışınlar ile yatay düzlemin normali arasındaki açıdır).

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} = \frac{\sin(\varphi - \beta) \sin \delta + \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega_s}{\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega_s} \quad (5.14)$$

R_d dağınık ışın radyasyonunun etki faktörüdür. Literatürde bu faktörün tahmini için birçok model geliştirilmiştir. Bu modeller izotropik ve anizotropik olmak üzere ikiye ayrılır (detay için bkz. (Ahmad ve Tiwari, 2009)). Bu çalışmada izotropik varsayım ile, sıklıkla kullanılan Liu ve Jordan (1961) modeli dikkate alınmıştır (5.15).

$$R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (5.15)$$

R_r ise yansıyan ışın radyasyonunun etki faktörüdür ve izotropik yansıma kabulüyle denklem 5.16 ile ifade edilmektedir. Burada ρ yerin yansıtıcılığıdır (albedo). Genellikle 0,2 – 0,7 arasında değer almaktadır. Örneğin kuru çimen için 0,2, beton için 0,3, kar için 0,75, su yüzeyi için 0,07, çöl kumu için 0,4 ortalama yansıtıcılık mevcuttur (İbrahim, 2006). Fakat çoğu çalışmada $\rho = 0,2$ varsayıldığı için bu çalışmada da aynı değer ele alınmıştır.

$$R_r = \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (5.16)$$

Dolayısıyla toplam günlük radyasyon (H_T) ifadesi, tüm denklemlerin toplamından oluşmaktadır ve hesaplanması için H , H_d ve ρ değerlerinin ölçümü veya tahmini yeterli olmaktadır. Ayrıca eğimli yüzeydeki günlük radyasyonun aylık ortalama değeri denklem 5.17 ile ifade edilmektedir.

$$\bar{H}_T = \bar{H} \left(1 - \frac{H_d}{H} \right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho \bar{H} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (5.17)$$

Benzer şekilde kuzey kutbunda güneşe bakan bir yüzey için ($\gamma = 0$), $\bar{R}_b$ faktörü denklem 5.18 ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_{sT} + (\pi/180) \omega_{sT} \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin \varphi \sin \delta} \quad (5.18)$$

Bu denklemde yer alan ω_{sT} , eğimli yüzeydeki güneş batış saati açısıdır ve 5.19 ifadesiyle elde edilmektedir.

$$\omega_{sT} = \min \left\{ \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta), \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \tan \delta) \right\} \quad (5.19)$$

5.17 denkleminde yatay düzleme gelen (aylık ortalama günlük) toplam küresel radyasyon ($\bar{H}$) ve dağınık radyasyon ($\bar{H}_d$) değerlerinin bilinmesi gerekir. Fakat çoğunlukla dağınık radyasyon ölçümleri bulunmamaktadır. Bu nedenle toplam küresel radyasyon ölçümleri ve atmosfer dışı yatay radyasyon ($\bar{H}_0$) değerleri kullanılarak, açıklık indeksi ($\bar{K}_T$) tahmini yapılmaktadır (5.20).

$$\bar{K}_T = \bar{H}/\bar{H}_0 \quad (5.20)$$

Atmosfer dışı küresel radyasyon için denklem 5.21 hesaplanmaktadır (Kaçan ve Ülgen, 2012). Bu ortalama değer, güneş doğuşundan batışına kadar ki süreler için integral alınarak elde edilmiştir. G_{sc} güneş sabiti olup, değeri 1367 W/m^2 varsayılmaktadır. $\bar{H}_0$ aylık değer olduğu için ayın ortasındaki güne göre hesaplanmaktadır.

$$\bar{H}_0 = \frac{24}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] [\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin \varphi \sin \delta] \quad (5.21)$$

Klein (1977) her ayın 16.günü kullanınca en az hatayla $\bar{H}_0$ hesaplanacağını dile getirmiş ve aylık olarak önerilen gün sayılarını listelemiştir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6 : $\bar{H}_0$ hesabında her ay için önerilen gün sayıları.

Ay	Gün sayısı (n)	Tarih
Ocak	17	17 Ocak
Şubat	47	16 Şubat
Mart	75	16 Mart
Nisan	105	15 Nisan
Mayıs	135	15 Mayıs
Haziran	162	11 Haziran
Temmuz	198	17 Temmuz
Ağustos	228	16 Ağustos
Eylül	258	15 Eylül
Ekim	288	15 Ekim
Kasım	318	14 Kasım
Aralık	344	10 Aralık

Aylık ortalama açıklık indeksleri hesaplandıktan sonra, bu değerler kullanılarak $\bar{H}$ ve $\bar{H}_d$ arasında doğrusal veya doğrusal olmayan ilişki denklemleri tahmin edilmektedir. Küresel ve dağınık radyasyonlar arasındaki korelasyon birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Literatürde Page (1961) (5.22) (özellikle Akdeniz ülkelerinde başarılı doğrusal model), Liu ve Jordan (1960) (5.23), Erbs ve diğ. (1982) (5.24), Orgill ve Hollands (1977), Wenxian (1988) gibi çalışmalar saatlik, günlük ve aylık ortalama dağınık radyasyon için korelasyon analizleri gerçekleştirmiştir. Birçok bölge verisiyle yapılan analizler sonucunda, dağınık radyasyonun küresel radyasyona oranı için açıklık indeksine dayanan modeller geliştirilmiştir. Bu çalışmada aylık veriler dikkate alındığı için, sadece aylık korelasyon formüllerinden birkaçı aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1 - 1,13\bar{K}_T \quad (5.22)$$

$$\frac{H_d}{H} = 1,39 - 4,027\bar{K}_T + 5,531\bar{K}_T^2 - 3,108\bar{K}_T^3 \quad (5.23)$$

$$0,3 \leq \bar{K}_T \leq 0,8 \text{ için } \frac{H_d}{H} = 1,317 - 3,023\bar{K}_T + 3,372\bar{K}_T^2 - 1,769\bar{K}_T^3 \quad (5.24)$$

Erbs ve diğ. (1982) ek olarak, mevsimsel sınıflandırıldığı ω_s değerlerine göre ($\omega_s \leq 1,4208$ veya $\omega_s > 1,4208$) farklı korelasyon formülleri de geliştirmiştir. Ayrıca birçok formülü değerlendiren ve karşılaştıran çalışmalar da mevcuttur (Tapakis ve diğ, 2014; Notton ve diğ, 2006). Bu çalışmada basitlik ve doğruluk açısından, sıklıkla kullanılan Liu ve Jordan (1960) doğrusal olmayan formülü uygulanmıştır (5.23). Birçok bilinen güneş enerjisi yazılımı da (PVSyst, PVSol, RETScreen, TRNSYS, vb.) sadece toplam küresel radyasyon ölçümleri olduğunda, bu tipte bir formül kullanmaktadır (Tapakis ve diğ, 2014).

Literatürdeki optimal eğim açısı çalışmaları

Verilen formüller sayesinde eğimli yüzeydeki aylık ortalama günlük toplam radyasyon ($\bar{H}_T$) değerleri, herhangi β eğim açısı için hesaplanabilmektedir. Optimal eğim açısı çalışmalarında amaç, maksimum radyasyon değerini ve dolayısıyla güneş enerjisini elde edecek şekilde PV dizisinin yerleştirilmesini sağlamaktır.

Optimal eğim açısını etkileyen faktörler: tek başına veya şebekeye bağlı sistem olması, radyasyon alımının maksimizasyonu, bölgenin iklim şartları (kar, toz fırtınası, kirli hava dahil) olmaktadır. Kuzey kutbunda PV panellerin güneye bakması ($\gamma = 0$) en iyi yönlendirir. Deneysel olarak, Kaçan ve Ülgen (2012) İzmir verilerine göre optimal yüzey azimut açısını tüm aylar için 0° olarak bulmuştur. Optimal eğim açısı ise enleme ve yılın gününe göre değişmektedir. Kış aylarında eğim açısı büyükken (genelde enlem $+15^\circ$), yaz aylarında küçük (enlem -15°) olmaktadır. Fakat enlem $\pm 15^\circ$ dışında, (enlem $+15^\circ$) $\pm 15^\circ$ veya enlem $\pm 8^\circ$ uygulayan çalışmalar da vardır (Kacira ve diğ, 2004). Pratikte genellikle paneller güneye bakmakta ve yıllık ortalama enerji üretimini maksimize edecek şekilde sabit bir açı uygulanmaktadır. Literatürde ise optimal eğim açısının hesabı için birçok farklı çalışma gerçekleştirilmiştir.

İbrahim (1995a) Kıbrıs için optimal eğim açısını 0° - 90° arasında değiştirerek aylık, dört mevsimlik ve yıllık ortalama olarak hesaplamış, enerji kayıplarını incelemiştir. Buna göre aylık yerine mevsimlik açı olduğunda %1'lik kayıp, yıllık açı olduğunda ise %2,5'luk kayıp gerçekleşmiştir. İbrahim (1995b) ise enlem -10° , enlem ve

enlem+10° açılarını test ederek, en uygun eğim açısının enleme eşit olduğunu dile getirmiştir. Benghanem (2011) çalışmasında, yıllık sabit eğim açısı ($\beta = \text{enlem}$) kullanıldığında, aylık açı değişimine kıyasla %8'lik enerji kaybı gözlenmiştir. Bu çalışmada dağınık radyasyon parametresi için literatürde geliştirilen izotropik ve anizotropik modeller incelenmiştir.

Skeiker (2009) en az sayıda parametre gerektiren ve herhangi gün, bölge, açı için geçerli olan analitik bir prosedür geliştirilmiştir. Suriye bölgesi için optimal eğim açısı ve yönlendirmeyi (yüzey azimut açısı, $\gamma \neq 0$) belirlemek için matematiksel model uygulayarak, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık optimal açı değişimlerini incelemiş, aylık değişimlerde sabit panellere göre %30'dan fazla, mevsimsel değişimlerde %10 iyileştirme elde edilebileceğini göstermiştir.

Bakirci (2012) Türkiye'de 8 il (Adana, Ankara, Diyarbakır, Erzurum, İstanbul, İzmir, Samsun, Trabzon) için optimal eğim açılarını kısıtlı optimizasyon modeli kullanarak hesaplamıştır. 0° ve 90° arasında 1°'lik adımlarla değişen açılar için radyasyon değerleri bulunmuştur. Aylık, mevsimlik, yıllık optimal eğim açıları ile enlem ve enlem $\pm 15^\circ$ olan açılar sonucunda elde edilen radyasyon değerleri grafiklerle gösterilmiştir. Türkiye için geliştirilen deklinasyon açısına bağlı optimal eğim açısı korelasyon denklemleri (3 tane) test edilmiş, istatistiksel hataları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Matematiksel olarak optimizasyon problemi ifade edilmiştir. Buna göre eğim açısı $0 \leq s \leq 90$ kısıtını içeren modelde, amaç fonksiyonu eğimli toplam radyasyon değerinin maksimizasyonudur. MATLAB'ın "*fminbnd*" fonksiyonu kullanılarak altın kesit arama ve parabolik interpolasyona dayalı optimizasyon sağlanmıştır. Sonuçlara göre her il için optimal, mevsimlik ve yıllık ortalama açı sıralamasıyla en yüksek radyasyon değerleri elde edilmiştir. Türkiye'de her yıl için eğim açısı 0°-65° arasında değişmiştir. Çoğu bölgede Haziran ve Temmuz ayları için 0° olan eğim, Aralık ayı için en büyük değerine ulaşmıştır.

Kacira ve diğ. (2004) Şanlıurfa için optimal eğim açısı ve yönlendirme belirlemek için matematiksel bir model uygulamıştır. Sabit PV paneller ile iki eksenli güneşi takip eden sistem sonuçları karşılaştırılmıştır. Optimal eğim açılarının aylık değişimi, mevsimsel değişimden daha başarılı bulunmuştur. Ayrıca güneşi takip sistemiyle daha fazla enerji elde edilebildiği gösterilmiştir.

Handoyo ve diğ. (2013) su veya hava ısıtma amaçlı kullanılan güneş enerjisi sistemleri için optimal eğim açısı hesabında, güneş ışınlarının geliş açısının kosinüsünü maksimize etmiştir. Maksimize edilen $\cos \theta$ sayesinde, yüzeye gelen güneş radyasyonunun da maksimum olacağı ifade edilmiştir. Dolayısıyla eğim açısına göre $\cos \theta$ 'nın 1.türevi alınmıştır.

Güven ve Şenol (2005), diğer çalışmalardan farklı olarak, optimal verim elde edebilmek için eğim açısı hesabında aşağıdaki kuralları uygulamıştır:

- Yıllık ise $\beta = 0,9 * enlem$
- Kış mevsiminde 7 aylık ise $\beta = enlem + 15^\circ$
- Kış mevsiminde en soğuk 3 ay içinse $\beta = enlem + 25^\circ$
- Yaz mevsimiye $\beta = enlem - 25^\circ$

Chang (2010) ise sezgisel olarak, PSO ve doğrusal olmayan-zamanla değişken evrimsel yöntemi (PSO-NTVE) ile enerji üretimini maksimize edecek şekilde optimizasyon modeli kurarak optimal eğim açısını Tayvan için belirlemiştir. Yadav ve Chandel (2013) ise optimal eğim açısını belirleyen birçok farklı çalışmayı kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Geliştirilen formüller, enlem ilişkileri, sezgisel yaklaşımların kullanımı, çeşitli korelasyon eşitlikleri ve bölgelere göre hesaplanan optimal açılar özetlenmiştir.

Bouzidi (2012) eğim açısının, PV su pompalama sistemlerine etkisini ve önemini araştırmıştır. Aylık, üç aylık (mevsimsel) ve yıllık belirlenen optimal eğim açılarına göre pompalanan su miktarlarını hesaplamıştır. Yıllık açı, enleme eşit olarak düşünülmüştür. Cezayir'e ait sonuçlara göre aylık değişim en fazla suyu pompalamıştır.

Geliştirilen optimal eğim açısı algoritması

Eğim açısını enleme eşit veya $enlem \pm 15^\circ$ varsayan çalışmaların yanı sıra, optimizasyon süreci çoğunlukla bir arama algoritmasıyla gerçekleştirilmiştir (İbrahim, 1995a). Bu tez çalışmasında da benzer şekilde algoritma geliştirilmiş ve MATLAB aracılığıyla kodlanmıştır. En büyük eğik radyasyon değerleri ve güneş enerjisi elde edilecek şekilde optimal eğim açısı araştırılmıştır. İzotropik yansıma ve güneşe yönlendirme ($\gamma = 0$) düşünülerek, aylık ortalama eğik radyasyon değerleri β eğim açısı için hesaplanmıştır. $\beta = 0^\circ$ dan 90° ye kadar 1° er arttırılarak, maksimum eğik radyasyonu üreten optimal eğim açısı kaydedilmiştir. Aşağıda geliştirilen

algoritmada aylık, mevsimlik ve yıllık olmak üzere optimal eğim açıları hesaplanmıştır.

```

START
  Record  $\phi$ ,  $G_{sc}$ ,  $\rho$ ,  $\bar{H}$  dataset for the chosen site
  FOR  $n = 17, 47, 75, 105, 135, 162, 198, 228, 258, 288, 318, 344$ 
    Calculate  $\delta$ ,  $\omega_s$ ,  $\bar{H}_0$ 
  END
  FOR  $i = 1$  TO  $size(\bar{H})$ 
    Calculate  $\bar{K}_T$ ,  $\bar{H}_d$ 
  END
  FOR all monthly data ( $i = 1$  TO  $size(\bar{H})$ )
    FOR  $\beta_i = 0$  TO  $90^\circ$ 
      Calculate  $\omega_{sT}$ ,  $\bar{R}_b$ ,  $\bar{R}_d$ ,  $\bar{R}_r$ 
      Calculate  $\bar{H}_{T,i}$ 
    END
    Record monthly  $\max(\bar{H}_{T,i})$  and related  $\beta_i$ 
  END
  FOR all seasonal data (season 1: January to March)
    FOR  $\beta_{s1} = 0$  TO  $90^\circ$ 
      Calculate  $\omega_{sT}$ ,  $\bar{R}_b$ ,  $\bar{R}_d$ ,  $\bar{R}_r$ 
      Calculate  $\bar{H}_T$ 
    END
    Record  $\max(\bar{H}_{T,s1})$  and related  $\beta_{s1}$ 
  END
  FOR all seasonal data (season 2: April to June)
    FOR  $\beta_{s2} = 0$  TO  $90^\circ$ 
      Calculate  $\omega_{sT}$ ,  $\bar{R}_b$ ,  $\bar{R}_d$ ,  $\bar{R}_r$ 
      Calculate  $\bar{H}_T$ 
    END
    Record  $\max(\bar{H}_{T,s2})$  and related  $\beta_{s2}$ 
  END
  FOR all seasonal data (season 3: July to September)
    FOR  $\beta_{s3} = 0$  TO  $90^\circ$ 
      Calculate  $\omega_{sT}$ ,  $\bar{R}_b$ ,  $\bar{R}_d$ ,  $\bar{R}_r$ 
      Calculate  $\bar{H}_T$ 
    END
    Record  $\max(\bar{H}_{T,s3})$  and related  $\beta_{s3}$ 
  END
  FOR all seasonal data (season 4: October to December)
    FOR  $\beta_{s4} = 0$  TO  $90^\circ$ 
      Calculate  $\omega_{sT}$ ,  $\bar{R}_b$ ,  $\bar{R}_d$ ,  $\bar{R}_r$ 
      Calculate  $\bar{H}_T$ 
    END
    Record  $\max(\bar{H}_{T,s4})$  and related  $\beta_{s4}$ 
  END
  FOR all the dataset
    FOR  $\beta_{fixed} = 0$  TO  $90^\circ$ 
      Calculate  $\omega_{sT}$ ,  $\bar{R}_b$ ,  $\bar{R}_d$ ,  $\bar{R}_r$ 
      Calculate  $\bar{H}_T$ 
    END
    Record  $\max(\bar{H}_{T,fixed})$  and related  $\beta_{fixed}$ 
  END
END

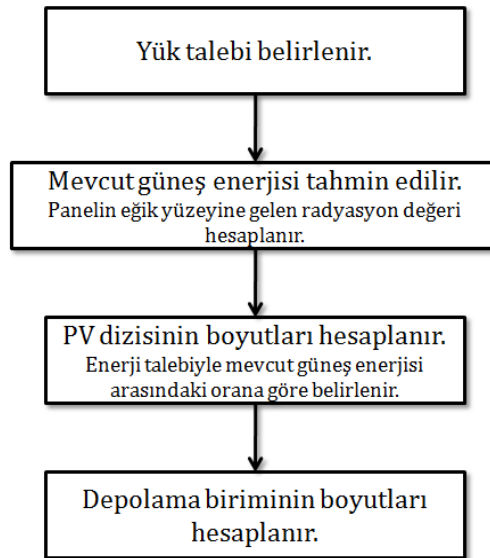
```

5.2.3 Optimal boyutlandırma yöntemleri

Boyutlandırma, PV sistem tasarımında önemli bir kısmı oluşturur. Tek başına PV sistemleri elektrik şebekesine erişim olmayan uzak bölgelerde sıklıkla kullanılmaktadır. Taşıma maliyetlerinin olmadığı PV sistemlerin, istenilen düzeyde yük talebini karşılaması için doğru tasarlanması çok önemlidir. Özellikle ilk yatırım maliyetleri yüksek olduğu için, kurulumdan önce sistem boyutlarının optimal şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Optimal boyutlandırma ile su ve güneş enerjisi kaynakları en iyi şekilde kullanılırken çevreyi korumak da hedeflenmektedir (Cuadros ve diğ, 2004).

Birçok çalışma PV sistemlerin optimizasyonu için geliştirilmiştir. Amaç PV modül sayısını, pil depolama kapasitesini, invertör kapasitesini, hibrid sistem ise rüzgar türbini ve dizel jeneratör kapasitelerini optimal olarak belirlemektir. Genelde özel bir alan seçilerek güneş enerjisi, ortam sıcaklığı ve rüzgar (PV-rüzgar hibrid sistemi ise) zaman serileri elde edilir. Panellerin optimum eğim açısı hesaplandıktan sonra, sistemin yapısına göre (tek başına, şebekeye bağlı veya hibrid) enerji kaynaklarının optimum kapasiteleri belirlenmektedir (Khatib ve diğ, 2013).

Bir PV sistemde optimal boyutlandırmanın aşamaları genel hatlarıyla Şekil 5.17’de gösterilmiştir (Rekioua ve Matagne, 2012).



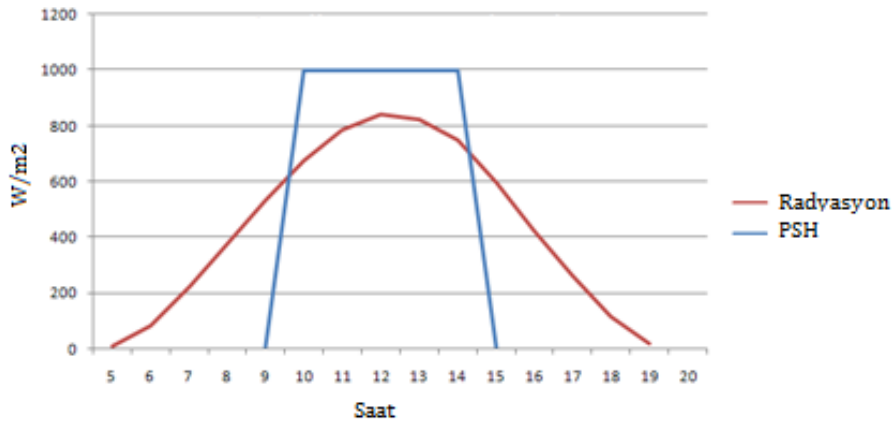
Şekil 5.17 : PV sistemde optimal boyutlandırma aşamaları.

PV sistemlerin boyutu ve performansı çoğunlukla güneş enerjisi, rüzgar hızı, ortam sıcaklığı, bağıl nem gibi meteorolojik parametrelere bağlıdır. Dolayısıyla sistemin

optimizasyonu için meteorolojik değişkenlerin tahmini önemli olmaktadır. PV modüllerinin sıcaklığı performansı oldukça etkilemektedir. PV hücreleri koyu renkte olduğu için kesişme noktalarının sıcaklığı çevre sıcaklığından yüksektir. Bu kesişme noktalarının sıcaklığı gücü etkiler ve sıcaklık düştükçe PV'nin gücü artmaktadır. Sıcaklık arttıkça voltaj doğrusal olarak azalmakta, akım ise artmaktadır. Dolayısıyla gelecek yıllar için güneş radyasyon tahminleri, güneş enerjisi potansiyelini hesaplamak için yeterli olmayacaktır. Sıcaklık verilerinin de tahmini yapılmalıdır. Sonrasında güneş panelinin teknik verileri de kullanılarak enerji hesaplaması yapılmalıdır. Bunun için aşağıdaki adımlar izlenebilmektedir.

1. Günlük ortalama enerji kazancı PSH'a çevrilir:

Öncelikle günlük Wh/m^2 olan radyasyon değerlerinden PSH (pik veya zirve güneşlenme saatleri) elde edilecektir. PSH, Şekil 5.18'de görüldüğü gibi ortalama 1000 W/m^2 'ye denk olan güneşlenme saatini ifade etmektedir (Url-11). Örneğin; PSH 6 ise 6 saat boyunca 1000 W/m^2 radyasyon olduğu durumla, gün boyunca elde edilen toplam enerji eşit olacaktır.



Şekil 5.18 : Güneşli bir güne ait radyasyon ve PSH değerleri.

2. Panel (pil) sıcaklığı hesaplanır:

Üretici firmalar tarafından standart çalışma koşulları (STC) için 1000 W/m^2 radyasyon ve 25°C pil sıcaklığı kabul edilmektedir. Güneş pilinin teknik verilerinde standart maksimum güç (P_{maks}), güç toleransı, gücün sıcaklık katsayısı, panelin normal çalışma sıcaklığı (NOCT) parametreleri verilmektedir. Pil sıcaklığı hesabı için kesişme noktası sıcaklığı $T_{hücre} = T_{hava} + (NOCT - 25) * G/800$ formülüyle hesaplanmaktadır. Bu formülde T_{hava} tahmin edilen hava sıcaklığı, G ise W/m^2

cinsinden güneş radyasyonudur. Tahmin edilecek radyasyon verileri Wh/m² olduğu için günlük güneşlenme süresine bölünerek W/m² cinsinden ifade edilebilecektir.

3. Panelin çıkış gücü hesaplanır:

P_{maks} hesabı için panel verisindeki maksimum güç ile güç toleransı çarpılır. Böylece üreticinin toleransı P_{maks} değerinden düşülür. Ardından gücün sıcaklık katsayısı kadar kayıp olacaktır. Bu % kayıp için $(T_{hücre} - 25) * (sıcaklık\ katsayısı/100)$ hesabı yapılır. Bu kayıp da P_{maks} değerinden düşülür. Ayrıca toz ve kir nedeniyle %5'lik kayıplar olabilecektir. Son hesaplanan P_{maks} değerinden %5 düşüldükten sonra her PSH için panelden elde edilebilecek güç ortaya çıkacaktır.

4. Beklenen enerji üretimi hesaplanır:

$(P_{maks} * PSH)$ hesabı yapılarak günlük enerji üretimi (Wh) tahmin edilebilir. Ardından aylık hesap için gün sayısı ile çarpılır.

Optimal boyutlandırmanın zorlukları aşağıda listelenmiştir (Khatib ve diğ, 2013). Bu hususlara dikkat ederek optimal boyutlandırma gerçekleştirilmelidir.

- Hava durumu verisinin (güneş enerjisi, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, vb.) bulunabilirliği ve yoksa tahmin edilmesi
- Yük taleplerinin elde edilmesi veya tahmin edilmesi (yük profilinin tahmin edilmesi ayrı bir çalışma alanıdır.)
- Modellerin doğruluğu için tüm değişkenlerin ve kayıpların dikkate alınması
- Bileşenlerin özelliklerindeki çeşitlilik
- Boyutlandırma yönteminin basitliği ve uygulanabilirliği
- Bölgeden bağımsız genel bir optimizasyon modeli bulunması

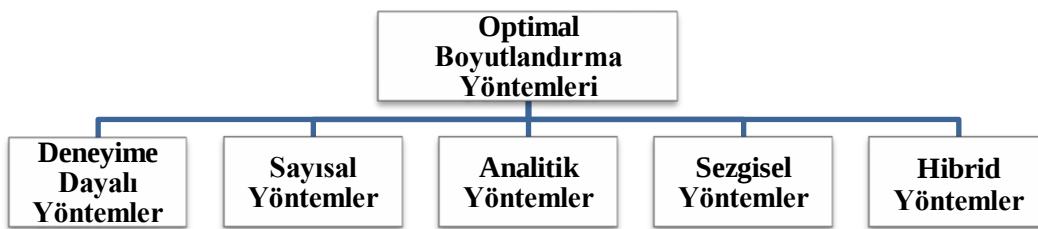
5.2.3.1 Boyutlandırma yöntemlerinin sınıflandırılması

Literatürde PV sistemlerinde optimal boyutlandırma için çeşitli analitik, sayısal, sezgisel ve hibrid yöntemler geliştirilmiştir. Optimal boyutlandırma yöntemlerinde olası bileşen boyut değerleri arasından en iyilerinin seçilmesi sağlanmaktadır. Sistem bileşenlerinin doğrusal olmayan yapısı, bazı yenilenebilir kaynakların stokastik varlığı ve ayrıca kısıt ve değişken sayıları nedeniyle problemin karmaşıklığı artmaktadır (Luna-Rubio ve diğ, 2012).

PV sisteminin ekonomik olarak uygulanabilir ve teknik olarak güvenilir olması için, tasarım süreci büyük oranda bu optimizasyon aşamasına bağlıdır. Güneş pompasının uygulanabilirliğini ekonomik olarak değerlendirmek ve gereken sistem büyüklüğünü önceden belirlemek tavsiye edilmektedir. Bunun için aylık hidrolik enerji ihtiyacı ve mevcut güneş enerjisi bilinmesi gerekmektedir. Güneş pompasını uygulamak için iki seçenek vardır: tüm su ihtiyaçlarını karşılayan boyutta tek başına bir sistem veya temel su ihtiyacını karşılayan yakıt tasarrufu sağlayan güneş pompası ile pik taleplerde kullanılan alternatif sistem. Tasarım ayı seçildikten sonra her iki durumda boyutlandırma çalışması benzerdir. Su talebinin en yüksek olduğu ve güneş enerjisinin mevcut olduğu ay belirlenir. Bu seçilen ay için, sisteme talepleri karşılamak için en ağır şekilde yüklenilecektir. Tek başına sistemde tasarım ayı, her ay için hidrolik enerji ihtiyacının mevcut güneş enerjisine oranıyla bulunmaktadır. Oranın en yüksek olduğu ay seçilmelidir. Yakıt tasarrufu sağlayan sistemde ise, temel ihtiyaçlar karşılanmalıdır. Örneğin tüm yılın su ihtiyacının ortalaması dikkate alınabilir. Daha sonra temel hidrolik enerji ihtiyacı ile mevcut güneş enerjisi oranları her ay için hesaplanır ve tekrar en yüksek orana sahip olan ay seçilir (Kenna ve Gillett, 1985).

En basit boyutlandırma yöntemleri; hava durumu koşullarının ortalamasını alan veya en kötü senaryoya göre hesap yapan yöntemlerdir. Ancak ortalama her zaman sabit olamayacağı ve en kötü senaryo düşük gerçekleşme olasılığına sahip olduğu için bu tür yöntemlerde sistem boyutu fazla belirlenmektedir. Bu nedenle, genellikle uzun yıllara ait hava durumu veya yük profili verileri ile sistem performansı incelenmekte, hesaplama karmaşıklığı artmaktadır (Luna-Rubio ve diğ, 2012).

Çok amaçlı fonksiyonlarla, sistem bileşenlerine ait doğrusal olmayan yapılarla ve uzun zaman serileriyle işlem yapabilmek için çeşitli matematiksel yöntemler geliştirilmiştir. Literatürde yer alan optimal boyutlandırma yöntemleri Şekil 5.19'daki gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 5.19 : Optimal boyutlandırma yöntemlerinin sınıflandırılması.

a- Deneyime dayalı yöntemler

Deneyime dayalı yöntemler; “en kötü ay” (en düşük ortalama güneş enerjisinin olduğu ay) veya aylık-yıllık ortalama güneş enerjisi değerlerine göre hesap yapmaktadır. Optimal sistem boyutlandırma yapabilmek amacıyla bir tasarım ayı seçilir. Bu ay, su talebinin en yüksek olduğu ve güneş enerjisinin mevcut olduğu bir ay olarak belirlenir. Sisteme talepleri karşılamak için en ağır şekilde yüklenilecektir. Bu hesaplamaların sonucunda az veya fazla boyutlandırma yapılabilen, düşük güvenilirlik ve yüksek maliyet oluşabilmektedir. Bu yöntemde basit matematiksel denklemlerle sistem boyutu hesaplanmaktadır. Gereken PV modülleri ile pil kapasiteleri sırasıyla denklem 5.25 ve 5.26 ile bulunabilmektedir (Khatib ve diğ., 2013).

$$P_{PV} = \frac{E_L}{\eta_S * \eta_{inv} * PSH} * S_f \quad (5.25)$$

Burada E_L günlük enerji tüketimi, PSH pik güneşlenme saatleri η_S ve η_{inv} bileşen verimleri, S_f ise sistemdeki çeşitli kayıpları gösteren güvenlik faktörü olmaktadır.

$$C_{Wh} = \frac{E_L * D_{autonomous}}{V_B * DOD * \eta_B} \quad (5.26)$$

V_B ve η_B pil bloğunun voltajı ile verimi, DOD ise izin verilen deşarj derinliğidir. Ancak sistemin güvenilirliği tanımlanmamaktadır. $D_{autonomous}$ otonomi günlerinin sayısıdır. Otonomi, herhangi enerji üretimi olmadan sistemin çalışması demektir.

Bu yöntemlere örnek olarak Rekioua ve Matagne (2012), en kötü ay senaryosuna göre basit boyutlandırma denklemi tanımlamıştır (5.27). PV dizisinin alanı (A_{PV}), yük talebiyle ($E_{L,m}$) PV güç üretimi ($E_{PV,m}$) oranının en büyük olduğu ay (m) için hesaplanmıştır. Ayrıca pil boyutlandırma, seri ve paralel bağlanacak modül sayıları için denklemler geliştirilmiştir. Protogeropoulos ve diğ. (1997) ise 1.senaryoda aylık sistem performanslarının yıllık ortalaması ve 2.senaryoda en kötü ayın değerleri ile otonom PV-rüzgar hibrid sistemini boyutlandırmıştır. Sistem performansı için enerjinin yüke oranı (ELR) ve pilin yüke oranı (BLR) parametreleri kullanılmıştır.

$$A_{PV} = \max_m \frac{E_{L,m}}{E_{PV,m}} \quad (m = 1, 2, \dots, 12) \quad (5.27)$$

Saïdou ve diğ. (2013) ise basit bir yöntemle PV sulama sisteminin üretmesi gereken enerjiyi hesaplamıştır (5.28). Su ihtiyacını karşılamak için gerekli hidrolik enerji, mevcut güneş enerjisi, kayıplar (%25 varsayılmış), enleme göre PV dizisinin eğim

açısı, boyutlandırma ayı (en kötü ay) ve o aydaki ortalama güneşlenme süresi dikkate alınarak Nijerya’da matematiksel bir boyutlandırma gerçekleştirmiştir.

$$W_{PV} = \frac{E_H}{Radyasyon * (1 - kayıp)} \quad (5.28)$$

Ayrıca ortalama günlük su ihtiyacını (yükü) hidrolik enerji cinsinden 5.29 ile ifade etmiştir. Burada g yerçekimi sabiti ($9,81 \text{ m/s}^2$), ρ_a su yoğunluğu (1000 kg/m^3), Q_a günlük su ihtiyacı ($\text{m}^3/\text{gün}$), TH toplam yükseklik (m), η_p pompa sisteminin verimidir. Tank kapasitesini günlük su ihtiyacı ve sistemin otonomisi belirlemektedir.

$$E_H = \frac{g * \rho_a * Q_a * TH}{\eta_p * 3600} = \frac{C_H * Q_a * TH}{\eta_p} \quad (5.29)$$

b- Sayısal yöntemler

Sayısal yöntemlerde sistem simülasyonu kullanılır ve her zaman periyodu için, enerji dengesi ile pilin yük durumu hesaplanır. Bu tür yöntemlerde daha doğru sonuçlar elde etmekle beraber sistemin güvenilirliği de sayısallaştırılmıştır. Sistem güvenilirliği uzun zaman periyodu için PV sistemin karşıladığı yük yüzdesi şeklinde tanımlanmıştır. Sistemin enerji üretimi ile ekonomik maliyeti optimize edilmektedir. Bu yöntemler deterministik ve stokastik (olasılıklı) diye ikiye ayrılabilir.

Stokastik yöntemlerde, saatlik güneş radyasyonu ve yük talebindeki belirsizlik simülasyona dahil edilir. Ancak deterministik yöntemlerde günlük ortalama güneş enerjisi ve yük talebi değerleri kullanılır çünkü saatlik veri setlerinin ölçülmesi zordur (Khatib ve diğ, 2013).

Sayısal yöntemlerin kötü tarafı; uzun hesaplama süresi ve radyasyon zaman serilerinin gerektirmesidir. Geçmiş veriler olmadığında da sentetik veri tahminleri yapılmalıdır. Ancak sonuçların doğruluğu nedeniyle ve istenirse ilave bileşen modelleri incelenebildiği için tercih edilmektedir (Casares ve diğ, 2014).

Bu yöntemlerde en çok kullanılan parametre yük kaybı olasılığıdır (LLP veya LOLP). Dikkate alınabilen diğer olasılık parametreleri şunlardır: LOE, LOPP, LPSP, LOLH, vb. Bu parametreler LLP ile benzer şekilde hesaplanmaktadır (bkz. Bölüm 5.2.3.2). Toplam yaşam döngüsü maliyeti de matematiksel ifade edilerek, istenen güvenilirlik düzeyinde, minimizasyon sağlanır. Burada çoğunlukla bir simülasyon programı ile belirli bir LLP ve yük talebi düzeyinde olası PV sistem boyutları

hesaplanır. Olası boyutlar arasından optimum seçim için minimum maliyet değeri bulunur.

Bu yöntemlerde ayrıca LLP eğrileri çizilmesi için sırasıyla PV dizisi ve pil deposu için boyutlandırma faktörleri olan C_A ve C_S hesaplamaları da sıklıkla yapılmaktadır (Khatib ve diğ, 2013). Genellikle bir veya iki sistem performans değerini dikkate alarak bileşenlerin optimal boyutlandırması yapılır (Luna-Rubio ve diğ, 2012). Her (C_A, C_S) çifti için LLP değerleri simülasyonla elde edilir.

Literatürdeki çalışmalarda, tipik meteorolojik yıl (TMY) verileri kullanılarak sistem performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanan ve konvolüsyon tekniğine göre uzun dönemli performansı inceleyen de olmuştur (Luna-Rubio ve diğ, 2012). Başka bir çalışmada, tekno-ekonomik değerlendirme sonucunda ilave bir enerji kaynağına ihtiyaç olduğu gösterilmiştir. Bu sayede boyutları arttırmadan, maliyetler düşürülebilecek ve sistem güvenilirliği arttırılabilecektir. Simülasyon araçları sıklıkla kullanıldığı için, Connolly ve diğ. (2010) çalışmasında birçok simülasyon yazılımını analiz etmiş ve karşılaştırmıştır. En sık kullanılan yazılım HOMER'dir (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) (Luna-Rubio ve diğ, 2012). Onun dışında EnergyPlus, RETScreen International, DER-CAM, HYRBIDS, Hybrid2, HOGA, FACES, MESSAGE gibi yazılım araçları geliştirilmiştir (Fabrizio, 2008). Yazılım araçları boyutlandırma için uygulandığı gibi performans ölçümü için de kullanılmaktadır.

Deterministik yöntemlere örnek olarak Zhang ve diğ. (2012) hibrid (PV/rüzgar/pil/dizel veya PV/rüzgar/dizel) sistemler için DIRECT (DIviding RECTangles) algoritmasına dayanan bir optimal boyutlandırma geliştirmiştir. Bu algoritmayla elektrik ihtiyaçları ve sistemin güvenliği sağlanırken minimum toplam yatırım maliyeti elde edilebilmiştir. DIRECT algoritması, amaç fonksiyonu maliyet minimizasyonu olan çok değişkenli kısıtlı optimizasyon problemini çözmektedir. Belfkira ve diğ. (2011) de deterministik olarak DIRECT algoritmasını uygulayarak PV-rüzgar-dizel hibrid sisteminde optimal boyutlandırma gerçekleştirmiştir. Enerji talebinin karşılanmasında sorun yaşamamak ve minimum maliyeti elde etmek amacıyla, tek başına PV-rüzgar-dizel hibrid sisteminin bileşenlerinde boyutlar belirlenmiştir. Ayrıca maliyet açısından pil içeren ve içermeyen sistem karşılaştırması yapılmıştır. Al Riza ve Gilani (2014) ise farklı olarak, tek başına PV sistemini ev ihtiyaçlarını dikkate alarak boyutlandırmak için pik güneşlenme saati

(PSH) yöntemi olarak adlandırdığı deterministik bir yaklaşım geliştirmiştir. PV panel ve pil kapasiteleri belirlenmiş, sonuçlar TRNSYS yazılımı kullanan simülasyon modeliyle değerlendirilmiştir. Bu çalışmada deterministik yöntem basitlik ve kolay hesaplama açısından tercih edilmiştir. Yük profilleri ve bileşen özellikleri sabit varsayılmıştır. Sistem boyutu enerji dengesine göre belirlenmiştir. PV ile üretilen ve pilde depolanan enerjinin, talebi tamamen karşıladığı düşünülmüştür. Simülasyonda kullanılacak radyasyon verileri, en kötü mevsimsel PSH değerleri olarak seçilmiştir. Talep bilgisi için Malezya’da tipik bir evin ihtiyaçları hesaplanmıştır. Sonuçta $LPSP = 0,02$ elde edilmiştir.

Stokastik yöntemlere örnek olarak Arun ve diğ. (2009), PV-pil sisteminin optimal boyutlandırması için radyasyonun belirsizliğini modele dahil etmiştir. Tasarım uzayı yaklaşımıyla radyasyon zaman serileri ele alınmış, daha sonra şans kısıtlı programlama kullanılmıştır. Yöntem, Monte Carlo simülasyonu ile birlikte uygulanmıştır. Sonuçta istenen güvenilirlik (LOLP) düzeyi için minimum maliyeti veren sistem bulunmuştur. Ayrıca deterministik yaklaşımla da karşılaştırılmıştır. Kaplani ve Kaplanis (2012) ise tek başına PV sistemler için dinamik bir stokastik simülasyon modeli geliştirerek optimal boyutlandırma gerçekleştirmiştir. Öncelikle güneş radyasyonu verisi, istatistiksel olarak olasılık dağılım fonksiyonlarıyla ele alınmıştır. En kötü ay Aralık olarak seçilmiş, PV gücü ve pil kapasitesi, yük profili (kritik ve kritik olmayan) hesaplamaları yapılmıştır. Sistem boyutlandırma Aralık ayına göre yapıldıktan sonra, diğer aylardaki performansı analiz edilmiştir. Hamidat ve Benyoucef (2009), depolama tankı içeren PV sulama sistemini boyutlandırmak için LLP’ye dayanan sistematik bir prosedür geliştirmişlerdir. Sonuçlara göre PV sulama sisteminin performansı, toplam pompalama yüksekliği ile PV dizisinin çıktısına bağlı bulunmuştur. Bu çalışmada elektriksel gücü (P_a) doğrudan su akış hızına (Q) bağlayan 3.dereceden denklem kurulmuş ve her toplam yükseklik için tahmin edilmiştir. Burada anlık olarak akış hızının hesaplanması için Newton-Raphson yöntemi uygulanmıştır.

Bir başka çalışmada (Mellit ve diğ, 2008) ise tahmin edilen açıklık indeksi ve radyasyon verisi PV sisteminin boyutlandırılmasında kullanılmıştır. Cezayir’de dört test bölgesi için 10 yıllık radyasyon verisi sentetik olarak üretilmiş, tek başına PV sisteminde uygulanmıştır. Bu sistem; PV jeneratör, şarj kontrolörü, pil ve invertörden (DC/AC çevirici) oluşmaktadır. Çeşitli LLP eğrileri oluşturularak maliyet

minimizasyonu sağlayan çözüm hesaplanmıştır. LLP hesaplamalarında Egido ve Lorenzo (1992)'de yer alan matematiksel yöntemler kullanılmıştır.

Egido ve Lorenzo (1992) tarafından geliştirilen sayısal yönteme dayanarak, gerçek veri ve tahmin verisi için boyutlandırma ve maliyet eğrileri oluşturulmuştur. İlk maliyet hesaplanırken PV modüllerin maliyeti, pil maliyetleri, çevirici maliyeti ve piller ile PV modüllerin yıllık bakım maliyeti toplanmıştır. Kuzey bölgelerin maliyeti güney bölgelere göre daha yüksek çıkmıştır (güney bölgede yüksek radyasyon potansiyeli bulunur). YSA-GA yaklaşımı geliştirilerek, PV jeneratörü alanının (A_{PV}) (dizi alanı: m^2) ve depolama pillerinin (C_U) (kullanılabilir kapasite: kWh) optimal boyutlandırması, verilen tüketimi (L) karşılayacak ve maliyeti minimize edecek şekilde dört bölgede gerçekleştirilmiştir. Burada bölge ve yük özellikleri belirtildikten sonra, aynı LLP değerine ait farklı boyut kombinasyonları üretilir ve minimum maliyet ile LLP amaçlanarak PV sisteminin boyutuna karar verilir.

c- Analitik yöntemler

Analitik yöntemlerde güvenilirlik fonksiyonu ile sistem boyutunun matematiksel denklemleri tanımlanır. Sistem boyutlandırma parametreleriyle güvenilirlik indekslerinin analitik ilişkileri dikkate alınır. Hesaplamaları kolay bir yöntem olmasına karşılık, denklemlerdeki katsayıların ve lokasyona bağlı faktörlerin bulunması zorluğu vardır (Khatib ve diğ, 2013).

Fonksiyonel olarak hesaplama modelleri kullanılır. Sistem performansı olası sistem boyutlarına göre ölçülebilir. En iyi konfigürasyon bir veya birden fazla indeks ile belirlenebilir (Luna-Rubio ve diğ, 2012). Burada farklı konfigürasyonların grafiği izo-güvenilirlik eğrileri ($LLP = f(C_A, C_S)$) ile çizilerek grafiksel boyutlandırma yapılmaktadır (Casares ve diğ, 2014).

Iqbal ve diğ. (2014) yenilenebilir enerji sistemlerinde analitik olarak optimizasyon yapan çalışmaları gruplamıştır. Buna göre doğrusal ve doğrusal olmayan modellerin altında sürekli, tamsayı ve karmaşık tamsayı modeller mevcuttur.

Literatürde kullanılan optimizasyon tekniklerinden bazıları şunlardır: doğrusal programlama, kısıtlı doğrusal olmayan programlama, genetik algoritmalar, çok amaçlı optimizasyon yöntemleri. Örneğin Singh (2013) yüksek lisans tezinde doğrusal programlama ve Simpleks yöntemi kullanarak PV sistem (PV dizisi ve pil) optimal boyutlandırma problemini çözmüştür. Bunun için güç tedarik kaybı (LPS)

minimize edilerek kısıtlı optimizasyon modeli ifade edilmiştir. Yalnızca günlük olarak gerekli olan PV ve pil boyutları hesaplanmıştır. Kaushika ve diğ. (2005) de benzer şekilde doğrusal programlama ile LPS minimizasyonu sağlamıştır. Burada aylık olarak gerekli boyutlar hesaplanmıştır. Chen ve diğ. (2012) ise mikro-şebekelerde (PV, rüzgar, mikro-türbin ve yakıt hücreleri) enerji depolamayı boyutlandırmak için karmaşık tamsayılı programlama ve çözümü için AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) kullanmışlardır. Hem tek başına hem de şebekeye bağlı sistemler için maliyet-etkin boyutlandırma yapılmıştır.

Tazvinga ve diğ. (2013) PV-dizel-pil hibrid sistemi için optimal çizelgeleme sağlamak amacıyla doğrusal olmayan programlama kullanmıştır. Hibrid sistemlerde elektrik üretiminin yapılacağı kaynağı ve zamanını belirlemek önemlidir. Bu çalışmada da amaç, yakıt maliyetini minimize eden ve talep ile çalışma limitlerini karşılayan elektrik üretimini sağlamaktır. Bunun için MATLAB içinde bulunan “*quadprog*” fonksiyonu uygulanmış ve kuadratik amaç fonksiyonu oluşturulmuştur.

Başka bir çalışma dinamik programlama uygulamıştır. Glasnovic ve Margeta (2007b) PV sulama sisteminin tüm etmenlerini (su girişi, yerel iklim, toprak, bitki, sulama yöntemi) dikkate alan bir sistematik yaklaşımla boyutlandırma gerçekleştirmiştir. Böylece PV dizisinin nominal gücü optimize edilmiş, kaliteli çözümler elde edilmiştir. Hırvatistan’da iki bölgeye ait verilerle, dinamik programlamaya dayanan yöntem test edilmiştir. Ele aldıkları sulama sisteminde PV dizisi, pompalama ünitesi (motor ve pompa) ve elektronik kontrol ünitesi bulunmaktadır. Pompalama için gereken enerji, tarım uzmanlarının hesapladığı su ihtiyaçlarından, suyun toplam kaldırma yüksekliğinden, aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerlerinden hesaplanan hidrolik enerji ile belirlenmektedir. Klasik yöntemle, E_H (kWh/gün) hidrolik enerji ve E_S (kWh/gün) güneş enerjisi olmak üzere kritik ay (E_H/E_S oranının maksimum olduğu ay) için yapılan boyutlandırmanın iki dezavantajı bulunmaktadır. Bunlardan ilki sistematik kalitenin eksikliğidir. Su ihtiyacını belirleyen uzman, PV sistem tasarımcısından bağımsız hesap yapmaktadır. Sonuçta mevcut güneş enerjisinin su ihtiyacına etkileri gözden kaçırılmaktadır. İkincisi ise statik kalitedir. Sadece kritik ayı gözlemleyerek, diğer aylardaki su ihtiyaçlarını incelemek mümkün değildir. Ayrıca suyun statik seviyesi aydan aya değişkenlik gösterebilecektir. Su girişinin toplam yüksekliği de pompalanan su miktarına bağlı olarak değişebilecektir. Su olmayan kuru dönemler olasılığı da ihmal

edilmektedir. Dolayısıyla her parametre statik olarak incelenmekte, kritik değerlerde oluşabilecek değişimler ele alınmamaktadır. Bu nedenlerle boyutlandırma sonucunda maliyeti yüksek bir sistem belirlenmektedir. Glasnovic ve Margeta (2007b) önerdikleri sistematik yaklaşımda bu dezavantajları kaldırmayı hedeflemiştir. Amaç fonksiyonunu hidrolik (çıktı) enerji ile güneş (girdi) enerjisi oranını optimize edecek şekilde kurmuşlardır. Maksimum PV nominal elektrik üretiminin (P_{el}) minimizasyonunu denklem 5.30 şeklinde adımlara bölmüş ve dinamik programlama uygulamışlardır.

$$f_{(i)}(W_{(i)}) = \min\{\max_{Q_{d(i)}}[P_{el(i)}(Q_{d(i)}), f_{(i-1)}(W_{(i-1)})]\} \quad (5.30)$$

Burada amaç fonksiyonunda bulunan $W_{(i)}$ i . zamandaki ($i = 1, 2, \dots, N$) toprak nem değeri (mm), $Q_{d(i)}$ ise i . zamandaki PV sisteminden üretilen ortalama günlük su miktarıdır ($m^3/gün$). Bu çalışmada toprak bir su deposu olarak düşünülerek su denge denklemi ifade edilmiş, yağış, evapotranspirasyon, süzme değerleri denkleme ilave edilmiştir. Modelin kısıtları olarak alan kapasitesi, yağmurun evapotranspirasyondan az olamayacağı, günlük su ihtiyacı ve borularda senkronize akış dikkate alınmıştır. Çözüm MATLAB programıyla gerçekleştirilmiş, klasik yöntemle göre daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

Dinamik programlama uygulayan bir diğer çalışmada Glasnovic ve Margeta (2007a), ilave olarak gerçek evapotranspirasyonu hesaplarına dahil etmiştir. Potansiyel evapotranspirasyon (ET_0) bitkilerin optimal yetiştirme koşullarında kullanacağı su miktarıdır. Gerçek evapotranspirasyon (ET_r) ise alan birimi başına bitkinin kullandığı gerçek su miktarıdır. Bölgenin iklim şartları bilindiğinde gerçek su ihtiyaçlarını belirlemek bir bitki katsayısı (K_c) ile mümkün olmaktadır. $ET_{r(i)}$, $K_{c(i)}$ ile $ET_{0(i)}$ değerlerinin çarpımı şeklinde hesaplanabilmektedir. Ayrıca radyasyon ve sıcaklık değerleri kullanılarak geliştirilen Turc formülü uygulanmıştır (5.31). $E_{S(i)}$ yatay düzlemdeki küresel radyasyondur ($kWh/m^2 gün$).

$$ET_{r(i)} = 0,13 * (86,4 * E_{S(i)} + 50) * \frac{T_{a(i)}}{T_{a(i)} + 15} \quad (5.31)$$

Hamidat ve Benyoucef (2008) iki matematiksel model geliştirerek PV sulama sisteminde boyutlandırma yapmıştır. Bu modeller, elektriksel gücü doğrudan pompanın su akış hızına ve toplam yüksekliğe ilişkilendirmiştir. İlk model toplam yüksekliğe göre akış hızını hesaplamış, ikinci model ise herhangi yükseklik için akış

hızı hesabını genelleştirmiştir. Farklı tipteki motor-pompa (santrifüj ve pozitif deplasmanlı pompa) kullanımlarının deneysel sonuçlarına dayanarak analiz yapılmıştır.

Kaye (1994) hiyerarşik optimizasyon problemiyle maliyetlerin minimizasyonunu sağlamıştır. Buna göre PV sistem bileşenlerinin boyutları hesaplanmıştır. PV dizisi ve pilin analitik ifadeleri modele eklenmiştir. Maliyet modeli ve Kuhn-Tucker çarpanları kullanılarak boyutlandırma gerçekleştirilmiştir.

Arab ve diğ. (2005) analitik ve grafiksel yöntemlerle PV su pompalama sisteminde boyutlandırma gerçekleştirmiştir. PV dizisinin boyutunun yanı sıra, motor, pompa, borular için de boyutlandırma yapılmıştır. Zanesco ve diğ. (2004) boyutlandırma için iki analitik yöntem önererek, istenen LLP seviyelerine göre oluşturulan izo-güvenilirlik eğrilerini tahmin etmiştir. Boyut parametreleri arasında üstel ve logaritmik bir denklem yazarak, katsayılarını 144 bölge verisiyle hesaplamıştır. İlk yöntemde enleme göre, ikinci yöntemde enlem ve açıklık indekslerine göre katsayıları tahmin etmiştir. Ayrıca LLP ve enlem bilgilerine göre her iki yöntemle eğim açısını da optimize etmiştir.

Ould-Amrouche ve diğ. (2010) ise matematiksel model geliştirerek pozitif deplasmanlı pompalar ve onların CO₂ azaltma potansiyelini incelemiştir. Deneysel sonuçlar, geliştirilen analitik modeli doğrulamıştır. PV sisteminin, dizel yakıtlı sistemlerden daha az salınım yaparak çevreyi koruduğu dile getirilmiştir.

d- Sezgisel yöntemler

Literatürde çoğunlukla simülasyona dayalı sayısal yöntemler ve bunların içinde deterministik olanlar tercih edilmiştir çünkü stokastik yöntemler daha doğru olsa da belirsizlikler hesaplama zorluğu getirmektedir. Ancak sayısal yöntemlerin uzun zaman serileri bulunmasını gerektirmeleri bir dezavantaj sayılabilir. Deneyime dayalı yöntemler sayısal yöntemlerden daha az doğru sonuç üretir. Analitik yöntemler ise sayısal yöntemlere göre daha karmaşıktır. Bu nedenle sezgisel (iteratif) yöntemler (örneğin; yapay zeka teknikleri, yapay sinir ağları) analitik yöntemleri kolaylaştırdığı için tercih edilebilmektedir (Khatib ve diğ, 2013). Analitik yöntemlerdeki karmaşık denklemler ve varsayımlar, yapay zeka teknikleriyle giderilmiştir (Gopal ve diğ, 2013).

Bu yöntemlerde iteratif olarak, en iyi konfigürasyon bulunana kadar tekrar eden bir süreç bulunmaktadır. Toplam yaşam döngüsü maliyeti minimize edilirken, sistem güvenilirliğini sağlayan sayısal bir algoritma Ashok (2007) tarafından geliştirilmiştir. Burada Quasi-Newton yöntemiyle optimizasyon problemi çözülmüştür. Dursun ve Özden (2014) ise optimal sulama sistemi tasarımı için yapay sinir ağları (YSA) kullanarak toprak nem değerlerini tahmin etmişlerdir. Böylece gereksiz sulamanın önüne geçilerek pompalanacak gücü, su talebini ve tüm ilgili maliyetleri azaltmışlardır.

Genetik algoritmalar (GA) stokastik arama yapan başarılı bir optimizasyon yöntemidir. Örneğin Koutroulis ve diğ. (2006) optimal konfigürasyon için istenen LPSP değerini, minimum yıllık sistem maliyeti (ACS) ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCE) ile birlikte değerlendirmiştir. Ismail ve diğ. (2014) benzer şekilde GA yöntemini kullanarak şebekeden bağımsız uzak bir hibrid sistemde (PV/pil/mikrotürbin) optimal tasarım gerçekleştirmiştir. İstenen LLP değeri için minimum enerji üretim maliyetine (COE) sahip sistem tasarımı bulunmuştur. Çalışmada ayrıca zararlı gazların (CO_2 , NO_x , SO_x) salınımı da incelenmiş, minimizasyon problemine dahil edilmiştir.

Ayrıca parçacık sürü optimizasyonu (PSO) hibrid sistemlerin boyutlandırılmasında sıklıkla kullanılan bir diğer optimizasyon yöntemidir. Örneğin Sharafi ve Elmekkawy (2014) hibrid sistemlerin optimal tasarımı için PSO-simülasyon tabanlı yaklaşımı uygulamış ve maliyeti, karşılanmayan talebi (LLP) ve yakıt emisyonunu (CO_2) aynı anda minimize etmiştir. Çalışmada uygulama yapılan hibrid sistemde PV paneller, rüzgar türbini, dizel jeneratör, piller, yakıt hücresi, elektrolizör, hidrojen tank bulunmaktadır. Çok amaçlı optimizasyon problemi olduğu için ϵ -kısıtlı yöntemi denilen basit bir teknik uygulanmıştır. Bu teknikte bir amaç optimize edilirken diğer amaçlar hedef limitlerine (ϵ_i) sahip kısıtlar olarak modellenmektedir. Stoppato ve diğ. (2014) bileşenlerin boyutlandırılması ve sistemin yönetimi için PSO uygulamış, en iyi ekonomik performansı veya talebin en iyi karşılanmasını sağlamıştır.

Ekren ve Ekren (2009) ise ARENA 12.0 yazılımı aracı olan OptQuest ile iteratif sezgisel bir yöntem uygulamıştır. Burada tabu arama, sinir ağları ve dağınık arama gibi meta-sezgiseller birleştirilmiştir. Mellit (2007a) ise yapay sinir ağları (YSA) ve GA tabanlı optimal boyutlandırma yöntemlerini incelemiş, izo-güvenilirlik eğrilerini oluşturmuştur. Minimum maliyeti veren optimal (C_A, C_S) kombinasyonu GA ile

belirlendikten sonra, bölgenin özelliklerine göre YSA ile PV modül sayısı ve pil kapasitesi bulunmuştur. Mellit ve Benghanem (2007) benzer şekilde, YSA ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) kullanarak optimal boyutlandırma geliştirmiştir. Javadi ve diğ. (2011) tek başına PV-rüzgar sistemi için optimal tasarım ve ekonomik değerlendirmeyi yapay arı kolonisi (ABC) algoritmasıyla gerçekleştirmiştir. Amaç fonksiyonunu net şimdiki değere göre oluşturmuş, sonuçları PSO ile karşılaştırmıştır. Sulaiman ve diğ. (2012) ise evrimsel programlama ile optimal boyutlandırma geliştirmiş, şebekeye bağlı PV sistemlerde uygulamıştır.

Kaabeche ve diğ. (2011) şebekeden bağımsız hibrid PV-rüzgar sisteminde optimal boyutlandırma için iteratif teknik geliştirmiş, DPSP (güç tedarik eksikliği olasılığı) ve LUEC (seviyelendirilmiş birim elektrik maliyeti) parametrelerini kullanmıştır. Böylece Cezayir’de örnek bir ev ihtiyacını karşılayan ve tekno-ekonomik açıdan en iyi tasarıma sahip bir enerji sistemi uygulanmıştır.

Ekren ve Ekren (2010) ise benzetimli tavlama yöntemini PV-rüzgar hibrid sisteminde uygulayarak optimal boyutlandırma gerçekleştirmiştir. Stokastik gradyan tabanlı arama içeren yöntemle, maliyet minimizasyonu sağlayan PV boyutu, rüzgar türbin alanı ve pil kapasitesi belirlenmiştir. Sonuçlar RSM (Response Surface Methodology) yöntemine göre daha başarılı bulunmuştur. Bu çalışmada güneş radyasyonu ve yük profilleri dağılım fonksiyonları aracılığıyla modellenmiştir. Ayrıca LLP analizi ve otonomi gün sayısı hesabı da yapılmıştır.

Maleki ve Askarzadeh (2014) tek başına hibrid sistemde optimal boyutlandırma için kesikli harmonik arama tekniğini uygulamıştır. Uygulaması kolay olduğu ve yerel optimale takılmadığı için harmonik arama tercih edilmiştir. PV-rüzgar-dizel-pil içeren hibrid sistemde, PV panel, rüzgar türbini ve pil sayıları maliyet-etkin olarak optimize edilmiştir. Sonuçlar kesikli benzetimli tavlama yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Buna göre harmonik arama daha başarılı sonuç üretmiştir. Ayrıca rüzgar-dizel-pil hibrid sistemi en iyi kombinasyonu oluşturmuştur.

Fıratoğlu ve Yeşilata (2004) ise iteratif olarak boyutlandırma için çok aşamalı optimizasyon tekniği uygulayarak Türkiye Şanlıurfa’da direkt-bağlı PV pompalama sistemini (DB-PVPS) ele almışlardır. Üç aşamalı olarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. İlk olarak optimal eğim açısı aylık olarak doğrusal arama yöntemiyle bulunmuştur. İkinci aşamada etkin güneş radyasyonunun aralığı

“kullanılabilirlik” yöntemiyle optimize edilmiştir. Doğrusal olmayan radyasyon eğrisinin yalnızca zirve yapan noktaları dikkate alınmış, hesaplama kolaylığı sağlanmıştır. Üçüncü aşamada ise optimal panel sayısı ve elektriksel konfigürasyonları, doğrusal olmayan arama yöntemiyle monoton fonksiyon olan istatistiksel parametreye dayanarak hesaplanmıştır. 43 farklı PV dizisi konfigürasyonu test edilmiş, her ay için optimal seri-paralel bağlı panel sayıları belirlenmiştir.

e- Hibrid yöntemler

Çok amaçlı optimizasyon problemini çözebilmek için birden çok sezgisel yöntemin (GA, sinir ağları, tabu arama, vb.) birleşmesi sonucu hibrid yöntemler geliştirilmiştir. Bu şekilde iki ve hatta üç amaç fonksiyonu oluşturularak optimal boyutlandırma çözülmüştür. Amaç fonksiyonlarından biri sistem maliyetinin minimizasyonu, ikincisi zararlı gazların salınımının minimizasyonu olarak oluşturulmuştur. Başka örnekte ise teknik, ekonomik ve çevresel açıdan üç amaç fonksiyonu geliştirilmiştir. Sezgisel yöntemlerin sonucunda baskın olmayan Pareto çözüm kümesi elde edilmiştir. Yapay sinir ağları da sıklıkla uygulanmıştır. LOLP (yük kaybı olasılığı) eğrilerini oluşturmak için analitik yöntemle yapay sinir ağları birleştirilmiştir. Bu yöntemler sayesinde deterministik amaç fonksiyonu ile olasılıklı amaç fonksiyonları da birleştirilebilmiştir (Luna-Rubio ve diğ, 2012).

Sezgiseller sistem bileşenlerinin doğrusal olmayan yapısı ve güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerjilerin stokastik durumları ile başarılı bir şekilde işlem yapabildiği için çok amaçlı optimal boyutlandırma problemlerinde kullanılmaktadır. Hibrid yöntemler ise yöntemleri birleştirerek geliştirdiği ve esnek, dinamik bir boyutlandırma sürecini desteklediği için en güçlü boyutlandırma yöntemleri olarak dile getirilmiştir (Luna-Rubio ve diğ, 2012).

5.2.3.2 Boyutlandırmada tek amaçlı optimizasyon

Literatürde tek amaçlı olarak optimal boyutlandırma gerçekleştiren çalışmalar mevcuttur. Araştırmalara göre enerji dengesine, güvenilirliğe ve maliyete göre boyutlandırma yapılabilmektedir. Bu bölümde, tek amaçlı optimizasyon yapan çalışmalar gruplanarak incelenmiştir. Tek amaçlı optimizasyonda hedeflenen bir amacın, maksimum veya minimum olmasını sağlayan değerler araştırılır ve bunun

için matematiksel programlama yöntemleri geliştirilmiştir (Mahmudov, 2011). Burada, PV sisteminde optimal boyutları belirleyen çalışmalar incelenmiştir.

a- Enerji dengesine göre boyutlandırma

Günlük enerji dengesi; günlük yük talebi ve PV dizisi tarafından günlük enerji üretimi arasındaki dengedir. Bu dengenin girdisi olan güneş enerjisi üretimi, temel olarak bölgeye ait güneş radyasyon değerlerine bağlıdır ve pik güneşlenme saati (PSH) kavramıyla ele alınır. PSH, gün içinde radyasyon 1 kW/m^2 olduğundaki toplam saatleri ifade etmektedir. Uygulama tipine göre, PSH değerinin tüm yıla veya yılın belli bir bölümüne ait ortalaması kullanılabilmektedir. Varsayılan PSH değeri sistemin kritik dönemine denk gelmelidir. Bu kritik dönem, en düşük güneş radyasyonu veya en yüksek yük talebi olan ay olabilmektedir. Benzer varsayım PV panellerinin eğiminin belirlenmesi aşamasında da yapılmaktadır. Eğer yıl içinde güneş radyasyonu büyük değişiklikler göstermiyorsa, PSH değerinin yıllık ortalaması alınabilmekte ve pil (veya su tankı) mevsimsel depolama şeklinde kısmi kullanılabilmektedir (Silvestre, 2003).

İkinci önemli parametre tipik günlük yük talebidir. Bir günde tüketilen toplam enerji miktarı L ile gösterilirse, enerji tedariki ve PV'nin gereken nominal gücü arasındaki günlük denge 5.32 denklemiyle ifade edilmektedir (Silvestre, 2003).

$$P_0 = L/PSH \quad (5.32)$$

PV modüllerinin toplam sayısı N ise 5.33 denklemiyle hesaplanmaktadır. Burada P_{mod} standart test koşulları (STC) altında bir modül tarafından üretilen gücü ifade etmektedir. STC koşullarında; güneş radyasyonu 1000 W/m^2 , bağıl hava kütlesi $AM1.5$ ve sıcaklık 25°C varsayılmaktadır. Buradaki P_{mod} değeri, MPPT olduğunda P_{max} ve MPPT olmadığında P_{eff} şeklinde gösterilmektedir (Silvestre, 2003).

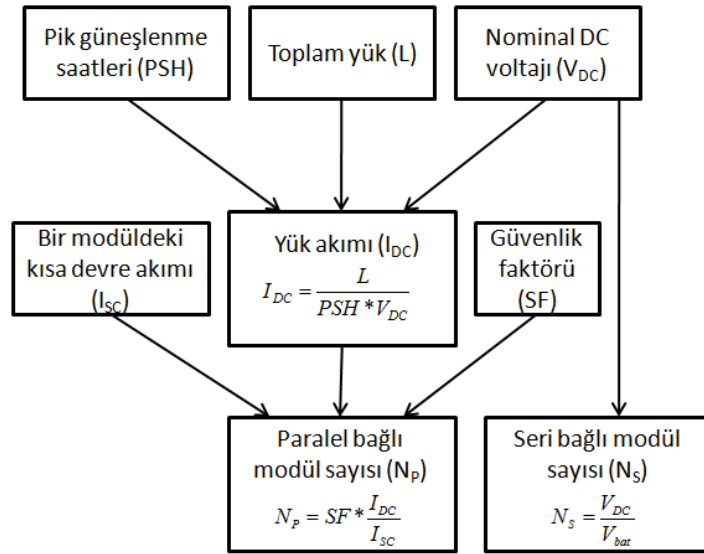
$$N = P_0/P_{mod} \quad (5.33)$$

Kullanılacak DC voltajı belirlendikten sonra, PV dizisinin konfigürasyonu yapılabilen, modül sayısına bağlı olarak seri ve paralel bağlanacak modül sayıları Şekil 5.20'deki gibi hesaplanabilmektedir (Silvestre, 2003). Bu durum MPPT olmayan sistemler için geçerlidir çünkü nominal pil voltajı V_{bat} genellikle 12V 'a ayarlanmıştır. Güvenlik (boyutlandırma) faktörü SF , örneğin modüllerde kir birikmesinden dolayı oluşan kayıpları ilave etmek veya sistem performansını

arttırmak için kullanılmaktadır (güvenilirliğe göre boyutlandırmada anlatılan C_A değeriyle benzer bir role sahiptir) (Silvestre, 2003).

Pilin boyutlandırılması için kritik parametre, otonomi günlerinin sayısıdır (C_S). C_S değeri pilin kapasitesine (C_n) bağlı olmaktadır (5.34). Burada DOD_{max} pilin izin verilen maksimum deşarj derinliğidir. C_n birimi ise enerji birimi olarak pil kapasitesi Ah ile voltaj çarpımıdır (Silvestre, 2003).

$$C_n = (C_S * L) / DOD_{max} \quad (5.34)$$



Şekil 5.20 : Enerji dengesine dayalı boyutlandırma süreci.

Uygun olduğu durumlarda, pil kapasitesine mevsimsel depolama ilave edilebilmektedir. Enerji dengesi yönteminde otonomi günlerinin sayısı, teorik bir ifade yerine deneyime bağlı olarak belirlenmektedir. Örnek olarak BP Solar firması Çizelge 5.7'deki değerleri önermiştir. Pil boyutu için daha hassas bir yöntem, güvenilirliğe dayalı boyutlandırma yönteminde ele alınmıştır. Pil boyutunun belirlenmesiyle sistemin boyutlandırması tamamlanmıştır. Bundan sonra bir yazılım aracıyla sistemin performansı detaylı olarak incelenebilmektedir (Silvestre, 2003).

Çizelge 5.7 : Enleme göre otonomi günlerinin sayısı.

Enlem	Otonomi günleri
0 - 30°	5 - 6
30 - 50°	10 - 12
50 - 60°	15

b- Güvenilirliğe göre boyutlandırma

Enerji tedarik güvenilirliğini sayısallaştırabilmek için kullanılan parametrelerden biri yük kaybı olasılığıdır (LLP). Bu parametre, sistemin çalışma süresi boyunca tahmin edilen enerji eksiği ile enerji talebi oranı şeklinde hesaplanmaktadır (5.35). LLP tabanlı bir boyutlandırma eğrisi oluşturmak için PV sisteminin belirli bir zaman aralığında çalışmasını modellemek gerekmektedir. Güneş radyasyon verisi doğrudan gözlemle elde edilemediğinde sentetik olarak güvenilir bir algoritmayla üretilmelidir. LLP değerleri ile istenen güvenilirlik arasındaki ilişki doğrudan görülememektedir fakat çoğu standart uygulamada varlığı kabul edilmektedir.

$$LLP = \frac{\int_t \text{enerji eksiği}}{\int_t \text{enerji talebi}} \quad (5.35)$$

Güneş radyasyonunun rastsal yapısı nedeniyle, LLP değeri her zaman sıfırdan büyüktür (Lorenzo ve Narvarte, 2000). Benzer kavram olarak enerji eksiği (DE), enerji kaybı (LOE), yük kapsama oranı (LCR), güneş fraksiyonu ($SF=1-LLP$), sistem performans seviyesi (SPL), yük saatleri kaybı (LOLH), güç kaybı olasılığı (LOPP) veya güç tedarik kaybı olasılığı (LPSP) kullanılmaktadır. Çeşitli uygulamalar için istenen LLP değerleri Çizelge 5.8’de gösterilmiştir (Silvestre, 2003). Labeo ve Lorenzo (2004) ise telekomünikasyon uygulamaları için $LLP \leq 10^{-3}$, evsel uygulamalar için $LLP \leq 10^{-1}$ yeterli olacağını ifade etmiştir.

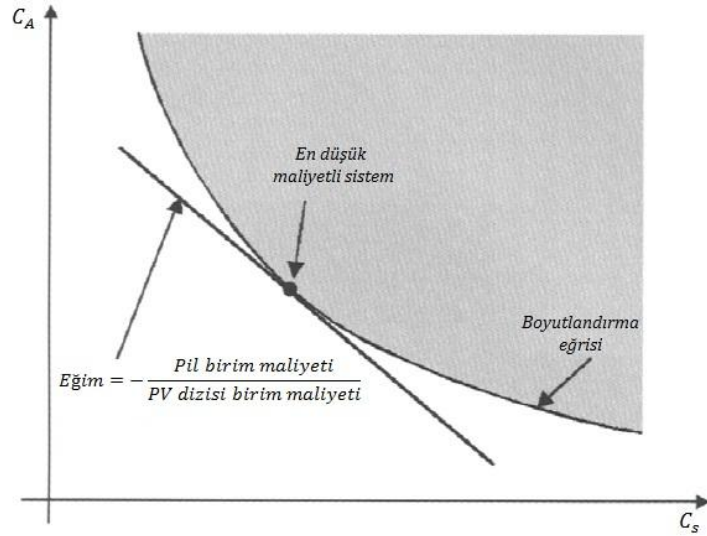
Çizelge 5.8 : Uygulama türlerine göre istenen LLP değerleri.

Uygulama	LLP
Aydınlatma (ev)	10^{-2}
Cihaz (ev)	10^{-1}
Telekomünikasyon	10^{-4}

Bu tür boyutlandırma yöntemleri sıklıkla yüksek güvenilirlik istenen uygulamalarda kullanılmaktadır. İstatistiksel açıdan anlamlı olması için, güneş radyasyonunun uzun zaman serileri gerekmektedir. Bu zaman serileri genellikle sentetik veri şeklinde elde edilebilmektedir. Daha pratik bir yöntem olarak, sistemin modellenmesi ile enerji kesintisini yaratmayacak konfigürasyonların belirlenmesidir, ancak sonuçlar benzer olacaktır. Güvenilirliğe dayalı boyutlandırma yöntemlerinde grafiksel analiz yapılmaktadır. PV dizisi tarafından üretilen günlük enerji (birimsiz olarak) 5.36 denklemiyle ifade edilmektedir. Burada P_0 dizinin nominal gücü ve PSH düzlemdeki günlük radyasyonu (genellikle en kötü ay değeri) göstermektedir (Silvestre, 2003).

$$C_A = (P_0 * PSH)/L \quad (5.36)$$

Dizi boyutu C_A ve otonomi günleri sayısı C_s , kartezyen koordinatlar seçilerek gerekli olan sistem konfigürasyonları $C_s - C_A$ grafiğinde çizilmektedir (Şekil 5.21). Boyutlandırma eğrisi (veya izo-güvenilirlik eğrisi) ile verilen güvenilirlik değeri için olası tüm sistem konfigürasyonları gösterilmektedir. Daha yüksek güvenilirliğe sahip konfigürasyonlar ise eğrinin üst tarafındaki (gri) bölgede bulunmaktadır. Farklı bir güvenilirlik değeri için farklı bir boyutlandırma eğrisi çizilmektedir (Silvestre, 2003).



Şekil 5.21 : Örnek bir boyutlandırma eğrisi (en düşük maliyetli sistem gösterimi).

Grafiksel yöntemin avantajı, en düşük maliyetli sistemin tanjant ile kesişim noktasından belirlenebilmesidir. Buradaki maliyetler sadece sermaye maliyetini yansıtmakta ve sistemin ilk kurulum aşamasındaki parçaları içermektedir. Sonradan yapılan yerleşimler veya yenilikler gösterilememektedir. Örneğin; PV modüllerinin ömrü boyunca piller zaman zaman yenilenmektedir fakat maliyet bunu yansıtmamaktadır (Silvestre, 2003).

Birçok çalışma LLP değerine göre boyutlandırma gerçekleştirmiştir. LLP dışında kullanılan güvenilirlik parametreleri aşağıdaki gibidir. Bunların haricinde yük kapsama oranı (LCR) ve güç kaybı olasılığı (LOPP) benzer şekilde kullanılabilir.

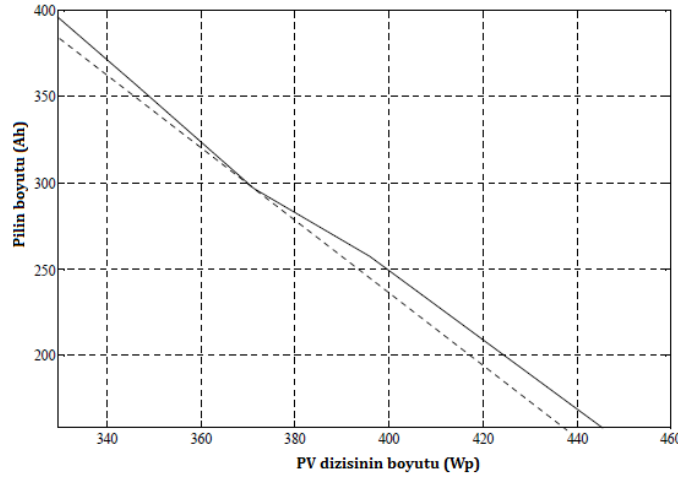
- Güç tedarik kaybı olasılığı (LPSP): Belirli bir zamanda enerji eksikliğinin yük talebine oranı şeklinde güvenilirlik hesabı yapılmaktadır. Enerji tedarik edilemeyen saatlerin toplam enerji talebine karşılık gelen saatlere bölünmesiyle bulunmaktadır. $LPSP = 0$ ise talep tam karşılanmış, $LPSP = 1$ ise talep hiç

karşılanamamış demektir. T günlük dönem içindeki herhangi t gününde, pilin şarj durumunun minimum izin verilen enerji seviyesinden ($E_{Bat \min}$) küçük veya eşit olma olasılığı LPSP ile gösterilmiştir (5.37).

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^T DE(t)}{\sum_{t=1}^T P_{load}(t) \cdot \Delta t} = \frac{\sum_{t=1}^T LES(t)}{\sum_{t=1}^T E_{load}(t)} = P\{E_{Bat}(x) \leq E_{Bat \min}; t \leq T\} \quad (5.37)$$

Burada $LES(t)$, t günündeki enerji kaybıdır ve 5.38 ile ifade edilmektedir (Lalwani ve diğ., 2011). Ayrıca $LPSP = 0,01$ için örnek bir boyutlandırma eğrisi Şekil 5.22 ile gösterilmiştir. Kesikli çizgi maliyet eğrisi olup, iki eğrinin kesişim noktası optimal boyut kombinasyonu olarak seçilmektedir.

$$LES(t) = E_{load}(t) - \{E_{PV}(t) + E_{Bat}(t-1) - E_{Bat \min}\} \cdot \eta_{inverter} \quad (5.38)$$



Şekil 5.22 : Örnek bir LPSP eğrisi ($LPSP = 0,01$).

- Pil şarj durumu (SOC): Sistemde depolama kapasitesiyle ilgili bir ifadedir. Eğer pilin SOC değeri 0 ise tamamen deşarj olmuştur ve devam etmemesi için kapatılmaktadır. Eğer SOC değeri 1 ise tamamen şarj olmuştur, daha fazla şarj olması engellenmelidir. İzin verilen minimum pil şarj durumu $SOC = 1 - DOD$ (deşarj derinliği) ile ifade edilmektedir. Pilin şarj durumu formülünde (5.39), σ pil bankasının deşarj oranı, $I_{bat}(t)$ pilin şarj akımı, Δt örnek dönem, $\eta(I_{bat}(t))$ ise şarj akımının verimidir. SOC değeri ile sistemin güvenilirlik kısıtları sağlanarak enerji depolama kapasitesi belirlenmektedir.

$$SOC(t+1) = [SOC(t) \cdot \sigma] + [I_{bat}(t) \cdot \Delta t \cdot \eta(I_{bat}(t))] \quad (5.39)$$

- Otonomi seviyesi (LA): Yük kaybı (LOL) olan toplam saatler ile toplam çalışma saati kullanılarak hesaplanmaktadır (5.40).

$$LA = 1 - \frac{H_{LOL}}{H_{tot}} \quad (5.40)$$

- Karşılanmaması beklenen enerji (EENS): Olasılıklı bir güvenilirlik indeksidir. Bu değer ile yükün üretilebilecek enerjiiyi aştığı zamanki karşılanamayan enerji belirtilmektedir (5.41). Burada L elektrik yükünü, P_h ise hibrid enerji sistemiyle üretilen gücü ifade etmektedir. P_{hmax} maksimum enerji üretimi, P_{hmin} minimum enerji üretimi (sıfıra eşit varsayılır) ve $f_{P_h}(P_h)$ üretilen gücün olasılık yoğunluk fonksiyonudur.

$$EENS(L, P_h) = \begin{cases} L > P_{hmax}, & L - \int_{P_{hmin}}^{P_{hmax}} P_h * f_{P_h}(P_h) dP_h \\ P_{hmin} \leq L \leq P_{hmax}, & \int_{P_{hmin}}^L (L - P_h) * f_{P_h}(P_h) dP_h \\ L < P_{hmin}, & 0 \end{cases} \quad (5.41)$$

- Eşdeğer kayıp faktörü (ELF): Karşılanmayan talep saatleriyle toplam talep saatlerine oran şeklinde hesaplanmaktadır (5.42). Uzak bölgedeki tek başına sistemlerde $ELF < 0,01$ kabul edilebilir. Ancak gelişmiş ülkeler 0,0001 değerini hedeflemektedir (Upadhyay ve Sharma, 2014).

$$ELF = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H \frac{E(Q(h))}{D(h)} \quad (5.42)$$

- Beklenen yük kaybı (LOLE): Talep üretimden fazla olduğunda, karşılanmayan enerjinin beklenen değeriyle hesaplanmaktadır.
- Toplam enerji kaybı (TEL): Fazla enerji üretimi olduğunda belli bir eşik değerinin aşılması için kullanılmaktadır. Üretim fazlası şebekeye bağlı olduğunda satılabilmektedir.

Yukarda anlatılan parametreler tüm PV sistemleri için geçerlidir. PV sulama ve su pompalama sistemleri, diğer PV uygulamalarına benzer şekilde boyutlandırılabilir fakat denklemler farklılık gösterecektir. Burada sistemin PV dizisi, su depolama tankı ve DC pompa içerdiği varsayılmıştır. Sistemdeki piller, su depolama tankı ile ve elektrik yük talebi L , günlük su talebi ile yer değiştirmiştir. Su talebi $Wh/gün$ ile ifade edildiğinde, kullanıcının istediği su hacmini depolama tankına pompalamak için gereken enerji gösterilmektedir (Silvestre, 2003).

LLP ile boyutlandırma PV sulama sistemlerinde de kullanılabilmektedir. Bu sistemlerde LLP; sistemin çalışma süresi boyunca pompalanan su hacmine göre enerji eksikliği ve enerji talebi oranı olmaktadır. Boyutlandırma için denklem 5.33, PV dizisinin kapasitesini (C_A) hesaplamak için kullanılabilir. Denklem 5.34 ise aşağıdaki denklem 5.43 şeklinde değiştirilerek, tankın ihtiyaç duyduğu su hacmine göre

depolama kapasitesini (C_S) ifade etmektedir. Burada C_U , tankın tamamına su pompalamak için gereken enerjiyi göstermektedir (Silvestre, 2003).

$$C_S = C_U/L \quad (5.43)$$

Benzer şekilde, istenen LLP değerlerine göre (C_A, C_S) değerleri hesaplanarak boyutlandırma eğrisi çizilebilir. Buna göre su depolama tankının ve PV dizisinin boyutları belirlenebilir. Böylece hem maliyet hem güvenilirlik açısından en iyi sistem tasarımı bulunabilecektir (Silvestre, 2003).

Ayrıca önceki bölümlerde anlatılan yöntemler tek başına (şebekeden bağımsız) sistemler için uygulanmaktadır. Şebekeye bağlı sistemlerde ise invertörün DC özellikleri (maksimum giriş akımı, nominal ve minimum girdi voltajı, maksimum güç takibinin aralığı) dahil olmaktadır. Burada AC enerji, invertör verimini de ilave ederek hesaplanmaktadır. Tek başına sistemlerdeki gibi enerji dengesine göre boyutlandırma yapılabilmektedir (Silvestre, 2003).

Notton ve diğ. (2010) şebekeye bağlı PV sistemlerde boyutlandırmayı incelemiştir. Farklı PV teknolojilerinin, eğim açılarının, invertör veriminin ve bölge özelliklerinin optimal boyutlandırmaya etkilerini araştırmıştır. Boyutlandırmanın detaylarından bahsedildikten sonra, en çok etkisi olan değişkenin invertör verimi olduğu gösterilmiştir.

Ayrıca literatürde LLP ve LPSP eğrilerini kullanarak PV sistemlerde optimal boyutlandırma gerçekleştiren çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Bunlardan bazıları Çizelge 5.9 (LLP) ve Çizelge 5.10'da (LPSP) kullanılan optimal boyutlandırma yöntemi, uygulama yapılan sistem tipi, tek başına (TB) veya şebekeye bağlı (ŞB) özelliği, uygulamada dikkate alınan enerji ihtiyacı, uygulanan ülke ve açıklamalarıyla özetlenmiştir.

Çizelge 5.9 : Literatürde LLP eğrisi kullanan boyutlandırma çalışmaları.

Referans	Yöntem	Sistem	TB/ ŞB	Uygulama	Ülke	Açıklama
(Markvart ve diğ, 2006)	LLP eğrileri CA ve CS grafiğinde eğri tahmini	PV sistem	TB	Genel ihtiyaç	İngiltere	Tedarik güvenilirliği, kullanılan zaman serisinin uzunluğuna bağlıdır. Uzun dönem (10 yıllık) radyasyon verileri sentetik üretilmiştir. Enerji dengesine dayalı boyutlandırma yapılmıştır. Basitlik açısından yük talebi sabit kabul edilmiş ve gece tüketilmiştir.
(Lorenzo ve Narvarte, 2000)	LLP eğrileri (istenen $LLP \leq 10^{-2}$) Basit simülasyon modeli	PV sistem	TB	Genel ihtiyaç	İspanya	Mevcut yöntemler incelenmiş ve yeni yöntem önerilmiştir. Çalışmalarda zaman adımları (günlük, saatlik), bileşen modelleri (doğrusal, doğrusal olmayan) ve radyasyon veritabanları (aylık ortalamalar) farklı ele alınabilmektedir. İstenen LLP değerini sağlayan (CA, CS) değerlerinden minimum maliyeti veren hesaplanmıştır. Bazı çalışmalarda basitlik için $CA=1,1$ ve $3 \leq CS \leq 5$ keyfi değerleri atanabilmektedir.
(Casares ve diğ, 2014)	Analitik yöntem LLP ve SFP parametreleri	PV sistem	TB	Genel ihtiyaç	İspanya	Simülasyon gerektirmeyen, günlük enerji dengesine göre matematiksel bir yöntem önermiştir. LLP'den farklı olan sistem arıza olasılığı (SFP), talebin karşılanmadığı günlere göre hesaplanmıştır. Radyasyon verileri sentetik olarak Markov süreci ve Aguiar matrisleriyle elde edilmiştir. Günlük simülasyonla elde etmek yerine, enerji dengesinin olasılık yoğunluk fonksiyonu dikkate alınmıştır.
(Tsalides ve Thanailakis, 1986)	LLP (LOLP), karşılanmayan enerji, LCC parametreleri	PV sistem	TB	Genel ihtiyaç	Yunanistan	Simülasyonla saatlik LLP (LOLP) ve karşılanmayan enerji değerleri üretilmiş, toplam yaşam döngüsü maliyeti (LCC) minimize edilerek optimal PV ve pil boyutları belirlenmiştir. PV ömrü 20 yıl, pil ömrü 10 yıl varsayılmıştır.
(Jakhrani ve diğ, 2012)	Analitik yöntem LLP eğrileri	PV sistem	TB	Ev ihtiyacı	Malezya	LLP eğrileri ile diğer analitik ve sayısal yöntemler karşılaştırılmıştır. Optimal PV alanı ve pil kapasitesi ile enerji talebi analitik ifadelerle dahil edilmiştir. Önerilen yöntemle, Aguiar yöntemi sonuçları $LLP=0,01$ için benzer çıkmıştır. Önerilen yöntem daha az boyut tahmin etmiştir çünkü sistem tasarımında yük atma (load shedding) uygulanmamıştır.
(Chen, 2012)	LPP ve uç değer teorisi	PV sistem	TB	Genel ihtiyaç	Tayvan	Sabit talep varsayarak ve simülasyon kullanmadan etkin bir yöntem geliştirmiştir. Tipik yıl verisi yerine istatistiksel modellerle radyasyon trendi yöneme dahil edilmiştir. Klasik boyutlandırma eğrisi farklı iklim koşullarında yanlış sonuç verebildiği için, bu çalışmada 20 yıllık iklim verisi değerlendirilmiş ve güç kaybı olasılığı (LPP) uç değer teorisi ile kullanılmıştır. Geliştirilen yöntem, klasik enerji denge yöntemi ve boyutlandırma eğrisi yöntemi ile teknolojik ve ekonomik açıdan karşılaştırılmıştır.
(Capizzi ve diğ, 2011)	Deterministik ve stokastik (LOLP)	PV sistem	TB	Genel ihtiyaç	İtalya	Deterministik yaklaşımda ortalama günlük veriler ve önceden seçilen pil otonomi süresi kullanılmaktadır. Stokastik yaklaşımda ise uzun zamanlı simülasyon gerçekleştirilmektedir. Simülasyonla LOLP değeri hesaplanmaktadır. Enerji fazlası pil şarjı için kullanılmaktadır.

Çizelge 5.9 (devam): Literatürde LLP eğrisi kullanan boyutlandırma çalışmaları.

Referans	Yöntem	Sistem	TB/ ŞB	Uygulama	Ülke	Açıklama
(Maghraby ve diğ, 2002)	Stokastik (LOLP, LOEP, Markov)	PV sistem	TB	Genel ihtiyaç	Suudi Arabistan	PV boyutlandırma için 3 stokastik yöntem incelenmiştir. İlki pil için sabit yedekleme ve şarj süresi kabul etmiştir. İkincisi yük kaybı olasılığı (LOLP) ve enerji kaybı olasılığı (LOEP) parametrelerine dayanmaktadır. Üçüncüsü Markov zinciri modeliyle işlem yapmaktadır. LOLP kullanılan yöntem PV panel sayısında ve pil boyutunda azalma sağlamış, sistem performansı hakkında bilgi vermiştir.
(Endo ve Kurokawa, 1994)	Analitik (LOLP)	PV ve dizel sistem	TB + ŞB	Genel ihtiyaç	Japonya	Tek başına PV sistemde dizel jeneratör ilavesi olan ve olmayan tasarımlar incelenmiştir. Şebekeye bağlı sistemde iki yönde elektrik akışı dikkate alınmıştır. PV dizisi için üç şekilde boyutlandırma gerçekleştirilmiştir: mevcut alana göre, yıllık üretim yıllık tüketime eşit olacak şekilde ve aylık yük ile radyasyon değerlerine göre boyutlandırma (daha sonra yıllık maksimum PV kapasitesini seçme). Pil için, tek başına sistem olduğunda fazla enerjinin depolanmasına göre boyutlandırma yapılmıştır. İnvertör için de tek başına sistem olup olmamasına bağlı olarak boyutlandırma tercih edilmiştir. LOLP değerlerine dayanarak sistem tasarlanmış, maliyet performansları Japonya verileriyle incelenmiştir. Sonuçlara göre önerilen yöntemin maliyetleri tam olarak minimize etmediği fakat uzman bilgisine göre pratik olarak en iyi tasarımı bulduğu söylenmiştir.
(Posadillo ve Luque, 2008)	LLP ve ek değişkenler	PV sistem	TB	Genel ihtiyaç	İspanya	Mevcut yöntemler incelenmiş, yeni yöntem önerilmiştir. Farklı olarak aylık değişken talep dikkate alınmıştır. LLP'ye dayanan yöntemde sadece boyutlandırma değişkenleri ve radyasyon değerleri dikkate alınmamış, standart sapma (σ_{LLP}) ile yıllık sistem arıza sayısı (f) ve onun standart sapması (σ_f) değişkenleri ilave edilmiştir. Sonuçlar $LLP < 10^{-2}$ olacak şekilde elde edilmiştir. Radyasyonun dağılım fonksiyonunun yanı sıra, minimum değerinin de sistem güvenilirliğini etkilediği gösterilmiştir.
(Benghanem ve Arab, 2007)	LLP eğrileri	PV su pompalama	TB	Sulama ve ev ihtiyacı	Cezayir	Saatlik simülasyonla LLP değerleri hesaplanmış, iki oran ile boyutlandırma yapılmıştır. Bu oranlardan ilki maksimum PV akımının motorun nominal akımına oranıdır. İkincisi ise maksimum PV voltajının motorun nominal voltajına oranıdır. Elde edilen sonuçlarda, güney bölgelerde daha küçük PV dizisi gerektiği ve pompalama derinliği arttıkça PV dizisinin büyüyeceği gösterilmiştir.
(Kazem ve diğ, 2013)	Sayısal (LLP) Yazılım (MATLAB)	PV sistem	TB	Ev ihtiyacı	Oman	Sistem boyutlarıyla birlikte optimal eğim açısını da belirlemiştir. Performans ve ekonomik açıdan boyutlandırma için LLP değerleri dikkate alınmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak saatlik veriyle daha detaylı hesaplamalar yapılmıştır. Eğim açısı değişimi için 4 senaryo ele alınmıştır. Bunlar aylık, mevsimlik (4 mevsim), mevsimlik (2 mevsim) ve yıllık değişimlerdir. Sonuçlara göre yılda 2 defa eğim açısı değiştirilmesi gerektiği söylenmiştir.
(Khatib ve diğ, 2012)	Sayısal (LLP ve eğri uydurma)	PV sistem	TB	Genel ihtiyaç	Malezya	Önerilen yöntemde CA ve CS parametreleri tanımlandıktan sonra, CA ve LLP ilişkisi üstel, CA ve CS ilişkisi doğrusal kabul edilmiştir. Optimal değerler denklemlerin tahmin edilmesiyle bulunmuştur. Eğri uydurma denklemlerindeki katsayılar MATLAB fonksiyonlarıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 5.10 : Literatürde LPSP eğrisi kullanan boyutlandırma çalışmaları.

Referans	Yöntem	Sistem	TB/ ŞB	Uygulama	Ülke	Açıklama
(Lalwani ve diğ, 2011)	LPSP eğrileri	PV sistem	TB	Genel ihtiyaç	Hindistan	Bu çalışmada minimum maliyet veren PV dizisi ve pil boyutları hesaplanmıştır. Bunun için maliyet fonksiyonu oluşturulmuş ve kısmi türev alınarak doğrunun eğimi belirlenmiştir. Bu eğime sahip doğru ile LPSP eğrisinin kesiştiği nokta, optimal boyut kombinasyonu olarak seçilmiştir.
(Yang ve diğ, 2007)	LPSP ve LCE parametreleri	PV-rüzgar hibrid sistem	TB	Ev ihtiyacı	Çin	Hibrid sistem olduğu için PV kapasitesi, rüzgar gücü ve pil kapasitesi değişkenleri söz konusudur. Ayrıca PV modüllerinin eğimi ve rüzgar türbinlerinin yüksekliği dikkate alınmıştır. Tüm bu değişkenler için optimum konfigürasyon istenen LPSP değeri ve en düşük maliyet (LCE) ile elde edilmiştir.
(Cabral ve diğ, 2010)	LPSP ve LCC parametreleri	PV sistem	TB	Genel ihtiyaç	Brezilya	LPSP simülasyonla hesaplanmış, en düşük maliyeti veren optimal PV ve pil boyutları belirlenmiştir. Stokastik boyutlandırmanın deterministik yöntemden daha doğru, gerçekçi ve ekonomik sonuçlar verdiği gösterilmiştir.
(Semaoui ve diğ, 2013)	LPSP ve maliyet parametreleri	PV sistem	TB	Ev ihtiyacı	Cezayir	MATLAB-Simulink modeli geliştirilmiştir. Çalışmada gerçek tüketim profilleri, hava koşulu (radyasyon, sıcaklık) verileri ve teknik ekipman özellikleri kullanılmıştır.
(Bouzidi, 2013)	LPSP ve LCC parametreleri	PV su pompalama	TB	Ev ihtiyacı	Cezayir	Bakelli ve diğ. (2011)'e benzer şekilde, LPSP ve LCC parametrelerine dayanarak tekno-ekonomik optimal boyutlandırma yöntemi geliştirmiştir. Günlük yük profili sabit kabul edilmiştir. Teknik özellikler ve eğimli radyasyon değerleri modele girildikten sonra izo-güvenilirlik eğrileri oluşturulmuştur. PV modül sayısı ve depolama faktörü değerlerine göre farklı LPSP eğrileri çizilmiş, optimal konfigürasyonlar belirlenmiştir. Burada su depolamanın fazla uzun sürmemesi gerektiği çünkü bakteri yayılması ve hastalık risklerinin olabileceğine dikkat çekilmiştir.

Çalışmalardaki simülasyonun sonucunda güvenilirlik haritaları oluşturulmaktadır. Detaylı incelemeyle geçmiş değerler kullanılarak PV sisteminin gelecekteki boyutunun tahmini yapılmaktadır. Ancak güneş radyasyonu geçmişteki gibi devam etmeyebilir ve gelecek tahmini gereklidir. Bu nedenle radyasyonun istatistiksel özellikleri koruduğu varsayılarak açıklık indeksinin olasılık dağılım fonksiyonu ile veya birinci dereceden Markov süreciyle tanımlandığı çalışmalar mevcuttur (Aguilar yöntemi de kullanılabilir). Genellikle $LLP < 10^{-2}$ tahminleri istatistiksel olarak anlamlı çıkmamaktadır. 20 yıllık radyasyon verisi kullanılarak, PV boyutlandırma yöntemlerinin $1 > LLP > 10^{-2}$ aralığında sonuç ürettiği söylenmiştir. Verinin uzunluğu azaldıkça sonuçlar kötüleşecektir. Örneğin tipik meteorolojik yıl (TMY) verisi kullanan çalışmalar $1 > LLP > 10^{-1}$ aralığıyla sınırlıdır. Ayrıca yatay yerine eğimli radyasyon değerleri ve PV dizisinin ve depolama biriminin verimi, simülasyon sonuçlarını oldukça etkilemektedir (Lorenzo ve Narvarte, 2000).

c- Maliyete göre boyutlandırma

Maliyetlere göre ekonomik açıdan boyutlandırma da yapılabilir. PV sistemlerinin kurulum maliyetleri yüksektir ve bu maliyet çoğunlukla PV dizisinin alanına bağlıdır. PV pompalama sistemi tasarımında ana husus, maliyet etkin olarak minimum sayıda PV paneli ile gerekli pompalama gücünün üretilmesidir (Fıratoglu ve Yeşilata, 2004). Amaç minimum maliyeti sağlayacak en iyi sistem boyutunun belirlenmesidir. Bu amaçla aşağıdaki maliyet parametreleri kullanılabilir.

- Yaşam döngüsü maliyeti (LCC): Kullanım ömrü boyunca veya seçilen analiz döneminde, pompalama sisteminin maliyetlerinin ve kazançlarının toplamı bugünün para değeriyle ifade edilebilir. Sistemin şimdiki değeri hesaplanmış olur. LCC analiziyle sistemin ömrü boyunca oluşan tüm maliyetler dikkate alınmaktadır (5.44). Alternatif sistemleri karşılaştırmak veya en maliyet-etkin tasarıma karar vermek amacıyla kullanılmaktadır. Kazançların maliyetlerden büyük olması tercih edilir.

$$LCC = \text{Sermaye(Yatırım)} + \text{Bakım\&Onarım} + \text{Yakıt} + \text{Yenileme} - \text{Hurda Değeri} \quad (5.44)$$

- Net şimdiki değer (NPV): Sistemin ömrü boyunca ortaya çıkacak gelir ve giderlerin şimdiki değerleri hesaplanarak elde edilir (5.45). NPV_{sale_k} elektrik şebekesine satıştan kazanılan, NPV_{end_k} sistemin ömrü tamamlandığında k

bileşeninden elde edilen kazanç, $C_{investment}$ toplam yatırım maliyeti, NPV_{r_k} yenileme maliyetleri, $NPV_{O\&M_k}$ ise bakım ve onarım maliyetleridir.

$$NPV = \sum NPV_{sale_k} + \sum NPV_{end_k} - C_{investment} - \sum NPV_{r_k} - \sum NPV_{O\&M_k} \quad (5.45)$$

- Yıllık sistem maliyeti (ACS): Yıllık sermaye maliyeti, yenileme maliyeti ve bakım maliyeti toplamından oluşmaktadır (5.46).

$$ACS = C_{acap} + C_{arep} + C_{amain} \quad (5.46)$$

- Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCE veya LCOE): Yatırımın ne kâr ne de zarar ettiği sabit birim enerji maliyeti olarak tanımlanır. Hibrid sistemler için standart bir ekonomik metrik olarak kullanılır ve sistemin toplam yıllık maliyetinin (TAC) yıllık üretilen elektrik enerjisi değerine (E_{tot}) oranı şeklinde hesaplanır (5.47). Toplam yıllık maliyetin içinde ilk yatırım maliyetinin yanı sıra gelecek bakım ve onarım maliyetlerinin şimdiki değeri bulunmaktadır. Burada şimdiki değer hesaplanırken sermaye geri kazanım faktörü (CRF) formülü kullanılır (5.48). Burada d iskonto oranı, t ise enerji sisteminin ömrüdür.

$$LCE = \frac{TAC}{E_{tot}} \quad (5.47)$$

$$CRF = \frac{d(1+d)^t}{(1+d)^t - 1} \quad (5.48)$$

- Enerji üretim maliyeti (COE): Toplam yıllık maliyetin (TAC), toplam yıllık enerji yük talebine ($TALE$) oranı şeklinde hesaplanmaktadır (5.49). TAC hesabında birçok bileşenin maliyetleri dikkate alınmaktadır (İsmail ve diğ., 2014).

$$COE = TAC/TALE \quad (5.49)$$

- Geri ödeme süresi: Başlangıç yatırımının kazançlarla sıfırlandığı süredir. Başka deyişle yatırımın sağlayacağı nakit girişlerinin, ilk yatırım maliyetini karşılayabilmesi için geçmesi gereken süredir. Bir proje yatırımının kaç yıl sonra geri alınabileceğinin hesabıdır. Genellikle birden fazla proje arasından seçim yaparken kullanılır ve en küçük geri ödeme süresine sahip proje tercih edilir.
- İç verim oranı (IRR): Kazançların başlangıç yatırımının bir verim oranı şeklinde ifade edilmesidir. Gelecekte düzenli olarak elde edilen nakit

akışlarının net şimdiki değerini sıfıra eşitleyen iskonto oranı olarak tanımlanmaktadır.

- Net kazançlar (net kâr) hesaplamaları
- Kazanç-maliyet oranı (BCR) veya kazanç-yatırım oranı (SIR) (detay için bkz. Argaw, 2004)

Örnek olarak Bernal-Agustín ve Dufo-López (2009b) tek başına hibrid enerji sistemi (PV-rüzgar-pil veya PV-dizel-pil) için tasarım optimizasyonu ve simülasyon gerçekleştirirken maliyeti dikkate almışlardır. Maliyet NPV veya LCE parametreleriyle hesaplanarak minimizasyonu sağlanmıştır. Bu sistemlerde pil genellikle kurşun-asit malzemeden yapılmaktadır ancak hidrojen de bir diğer enerji depolama seçeneğidir. Hidrojen, elektrolizör ve yakıt hücrelerinin yüksek maliyeti, düşük verimlilik nedeniyle fazla tercih edilmemektedir. Bu çalışmada ayrıca LOLP, LPSP, UL (karşılanmayan talep) parametrelerinden ve çok amaçlı olarak optimizasyon yapılabileceğinden bahsedilmiştir. Örnek çalışmalar ve simülasyon yazılım araçları anlatılmıştır.

Bouzidi ve diğ. (2009) ise PV pompalama sistemlerinde ekonomik değerlendirme için LCC yöntemini kullanmıştır. PV sistem, Cezayir bölgesinde sıklıkla kullanılan dizel sistemle karşılaştırılmıştır. Analiz süresi 20 yıl, invertör ve motor-pompa ünitelerinin ömrü 7 yıl, sabit su ihtiyacı 60 m³/gün kabul edilmiştir. Çalışmada ayrıca faiz oranı, iskonto oranı, kullanım oranı, yakıt fiyatı gibi değişkenlerin duyarlılık analizleri de gerçekleştirilmiştir.

Shivrath ve diğ. (2012) damla sulama uygulaması olan PV-rüzgar hibrid sisteminin optimal tasarımı ve birleşimi için maliyet optimizasyonu gerçekleştirmiştir. Mango tarlasını sulayan sistem için su ihtiyaçları hesaplanmıştır. Maliyet fonksiyonunda PV panelinin, rüzgar türbinin ve pilin sayıları ve birim maliyetleri dikkate alınmıştır. Kısıtlarda PV ve rüzgar üretiminin 1'den büyük olması istenmiştir. Ayrıca toplam üretimlerinin 1,18 kW'dan büyük olması gerektiği elde edilmiş ve modele eklenmiştir. Sonuçta minimum maliyeti veren optimal panel, türbin ve pil sayıları MATLAB yazılımıyla hesaplanmıştır.

Sahin ve Rehman (2012) Suudi Arabistan'da PV su pompalama sistemini ekonomik olarak analiz etmiştir. Bunun için iç verim oranı, geri ödeme süresi, enerji maliyeti ve kapasite faktörü parametreleri 5 bölge için hesaplanmıştır. Sistemin ayrıca

performansı ve zararlı gaz salınımları da incelenmiştir. Standart teknolojiler ve modüller için ilgili veriler Çizelge 5.11’de özetlenmiştir. Burada PV modülünün referans sıcaklıktaki ($T_r = 25^{\circ}\text{C}$) verimi η_r , nominal çalışma hücre sıcaklığı $NOCT$ ve sıcaklık katsayısı β_p ile ifade edilmiştir.

Çizelge 5.11 : PV modül malzemesine göre standart teknik veriler.

PV modül malzemesi	η_r (%)	$NOCT$ ($^{\circ}\text{C}$)	β_p (%/ $^{\circ}\text{C}$)
Monokristalin silikon (Mono-Si)	13,0	45	0,40
Polikristalin silikon (Poly-Si)	11,0	45	0,40
Amorf silikon (a-Si)	5,0	50	0,11
Kadmiyum tellürid (CdTe)	7,0	46	0,24
Bakır indiyum diselenid (CIS)	7,5	47	0,46

5.2.3.3 Boyutlandırmada çok amaçlı optimizasyon

Bu bölümde birden fazla amaca göre optimal boyutlandırma yapan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmalarda amaç tekno-ekonomik olup güvenilirlik ve maliyet açısından optimizasyon yapılabildiği gibi, ikiden fazla amaç fonksiyonu da oluşturulabilmektedir. Üçüncü amaç olarak örneğin çevresel zararların minimize edilmesi ilave edilmiştir. Birbiriyle çelişen amaçların eş zamanlı optimizasyonu hedeflenmektedir.

a- Çok amaçlı optimizasyon problem tanımları

Birden fazla amaç fonksiyonunun minimizasyon ve maksimizasyon problemidir ve denklem 5.50’deki gibi ifade edilmektedir (Dufo-López ve Bernal-Agustín, 2008).

$$F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)] \quad (5.50)$$

Bu problemde m eşitsizlik kısıtı ile p eşitlik kısıtı bulunabilmektedir (5.51).

$$\begin{aligned} g_i(x) &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ h_i(x) &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, p \end{aligned} \quad (5.51)$$

Elemanları karar değişkenleri olan x bir vektör olarak tanımlanmaktadır. Bu problemlerde Pareto optimallik kavramı kullanılmaktadır (Azimli, 2011). Aşağıda bu kavrama ait matematiksel tanımlar verilmiştir. Ayrıca problemin Pareto optimal noktaları grafiksel olarak da incelenebilmektedir.

Pareto baskınlık: $u = (u_1, u_2, \dots, u_k)$ vektörü $v = (v_1, v_2, \dots, v_k)$ ’den baskınsa ($u \preceq v$), bu durum sadece u vektörü v ’den kısmi olarak az ise olmaktadır. $\forall i \in \{1, 2, \dots, k\}, u_i \leq v_i \wedge \exists i \in \{1, 2, \dots, k\}: u_i < v_i$.

Pareto optimallik: $x \in \Omega$ çözümü Ω için Pareto optimal ise, bu durum sadece $v = F'(x) = (f_1(x'), f_2(x'), \dots, f_k(x'))$ 'nin $u = F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))$ 'ya baskın olduğu bir $x' \in \Omega$ yoksa doğrudur.

Pareto optimal küme: Bir $F(x)$ çok amaçlı problemi için Pareto optimal küme aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (5.52).

$$P^* = \{x \in \Omega \mid \neg \exists x' \in \Omega: F'(x) \leq F(x)\} \quad (5.52)$$

Pareto yüzü: Bir $F(x)$ çok amaçlı problemi ve P^* Pareto optimal kümesi için, PF^* aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (5.53).

$$PF^* = \{u = F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)) \mid x \in P^*\} \quad (5.53)$$

Ayrıca vektör maksimizasyon (veya minimizasyon) problemi olarak da adlandırılan çok amaçlı optimizasyon probleminde (5.54) optimal çözüm, en iyi uzlaşık çözüm, baskın çözüm, tercih edilen çözüm kavramları sıklıkla kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned} & \text{Max}[f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)] \\ & g_k(x) \leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, p \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (5.54)$$

Optimal çözüm yalnız ve yalnız $x^* \in X, f_i(x^*) \geq f_i(x)$ ($i = 1, \dots, m$ ve $\forall x \in X$ için) olduğunda tanımlanmaktadır. Burada X olurlu bölgeyi ifade etmektedir. Baskın çözüm ise yalnız ve yalnız $x \in X, f_i(x^*) \leq f_i(x)$ (her i için) ve $f_j(x^*) < f_j(x)$ (en az bir j için) şartlarını sağlayan herhangi $x = (x_1, \dots, x_n)$ çözümü yoksa $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$ olarak tanımlanmaktadır (Evren ve Ülengin, 1992). En iyi uzlaşık çözüm, karar vericinin ilave bazı ölçütler kullanarak seçtiği bir baskın çözümdür. Tercih edilen çözüm ise karar vericinin tercihlerine bağlıdır.

b- Tekno-ekonomik boyutlandırma (2 amaç fonksiyonu)

Bu kapsamda literatürde PV (veya hibrid) sistemler için teknik ve ekonomik açıdan optimal boyutlandırma yapan çalışmalar incelenmiştir. Örneğin Ma ve diğ. (2015) tek başına bir PV sulama sistemi için genetik algoritma (GA) ve Pareto optimal kavramını kullanarak tekno-ekonomik boyutlandırma yöntemi geliştirmiştir. Sistemin simülasyonu ve optimizasyonu hem tek amaç hem de iki amaç fonksiyonu (maksimum güvenilirlik ve minimum maliyet) ile gerçekleştirilmiştir. Tedarik güvenilirliği parametresi olan LPSP ve enerji maliyeti parametresi olan COE ele alınmıştır. Sıfır LPSP değerine sahip optimal durumun performansı incelenmiştir.

Çalışmada ayrıca depolama tankının kapasitesi belirlenmiştir. Tankta bulunan su seviyesi şarj durumu (SOC) gibi düşünülerek ifade edilmiştir. Tasarlanan tank hacmine göre, otonomi günleri sayısı (genellikle 3-5 gün) depolanan potansiyel enerjiye göre hesaplanabilmektedir (5.55). E_C tankın enerji depolama kapasitesi (J), E_{load} yük tarafından günlük tüketilen enerji (kWh), η_t pompalama verimi, ρ su yoğunluğu (1000 kg/m^3), V_{UR} tank hacmi (m^3), g yerçekimi sabiti ($9,8 \text{ m/s}^2$) ve h (statik) yüksekliktir.

$$\eta_{gün} = \frac{E_C}{E_{load}} = \frac{\eta_t * \rho * V_{UR} * g * h}{E_{load}} \quad (5.55)$$

Belmili ve diğ. (2014) PV-rüzgar sistemi için tekno-ekonomik analiz ve nesne-tabanlı programlama ile boyutlandırma gerçekleştirmiştir. Optimizasyon güvenilirlik (LPSP) ve maliyet değişkenlerine bağlı olarak yazılımda uygulanmıştır. PV ve rüzgar enerji üretiminin yanı sıra pil ile depolama da modellenmiştir. Yatırım maliyeti, bakım maliyeti ve yenileme maliyetleri açısından optimal bileşen boyutları belirlenmiştir. Diaf ve diğ. (2007) ise tek başına hibrid PV-rüzgar sisteminde optimal boyutlandırma için LPSP ve LCE parametrelerini birleştiren bir algoritma geliştirmiştir. İsmail ve diğ. (2013) PV-dizel hibrid sisteminde tekno-ekonomik analiz yaparak sadece PV, sadece dizel ve ikisini içeren hibrid sistemin optimal tasarımını gerçekleştirmiştir. Bunun için simülasyon programı geliştirilmiş, PV optimal eğim açısını bulmak için GA uygulanmıştır. Bazı maliyet parametrelerinde (COE, sermaye maliyeti, iskonto oranı, proje ömrü) duyarlılık analizi yapılmıştır. Sonuçta Malezya’da uzak bölgede uygulanan sistemin, maliyetlerin düşmesi, verimliliğin artması ve zararlı gazların azalması gibi avantajlara sahip olduğu dile getirilmiştir.

Li ve diğ. (2013b) tek başına PV-rüzgar-pil hibrid sistemi için tekno-ekonomik analiz gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada Çin’de bir evin ihtiyaçları dikkate alınmıştır. HOMER yazılımıyla yapılan simülasyon sonucunda, sadece PV veya rüzgar enerjisi kullanılan sistemlere kıyasla, hem NPV hem de LCOE parametrelerinde düşüş gözlenmiştir. Rüzgar hızı, güneş radyasyonu, yük talebi değişkenleriyle duyarlılık analizi de yapılmıştır. Güneye bakan PV panellerde eğim için güneşi günlük olarak takip eden sistem kullanılmıştır. Bataineh ve Dalalah (2012) tek başına PV sisteminin tasarımı için güvenilirlik (LLP) ve maliyetleri dikkate almıştır. Bilgisayar programı geliştirilerek PV sistemin davranışı incelenmiş, sayısal olarak optimal PV

dizisi alanı ve pil kapasitesi bulunmuştur. Ekonomik analiz için yaşam döngüsü maliyeti (LCC) ve yıllık birim elektrik maliyeti hesaplanmıştır.

Wisseem ve diğ. (2012) herhangi bir bölgeye ait güneş radyasyonunun belirlenmesi için güneş açılarına dayalı prosedür geliştirmiş, tek başına PV sisteminin optimizasyonu için üç kritere bağlı olarak yöntem uygulamıştır. Bu kriterler üretilen enerji eksikliği olasılığı (LEGP), üretilen enerji fazlası yüzdesi (PSEP) ve kilowatt-saat üretiminin maliyetidir (C_{kWh}). Üç kriteri de sağlayan en iyi uzlaşık çözümün bulunması için çalışılmıştır. Önceki yöntemlerde radyasyon seçilmiş bir bölge için istatistiksel olarak belirlenmiş veya doğrudan ölçülmüştür. Ayrıca diğer boyutlandırma yöntemleri güvenilirlik ve maliyet açısından en iyi uzlaşık çözümü bulmakta yetersizdir. Bu çalışmada geliştirilen yöntemlerle daha iyi sonuçlara ulaşıldığı gösterilmiştir. Kolhe (2009) ise tek başına PV sistemde tekno-ekonomik boyutlandırmada PV dizisi ve pil kapasitelerini hesaplamıştır. Karşılanamayan enerji yüzdesine göre analitik yöntemle optimal konfigürasyon bulunmuştur. Bu çalışmada, toplam pil yenileme sayısına dayanan LCE (seviyelendirilmiş enerji maliyeti) hesaplamalarıyla pilin yaşam döngüsü modeli, güneş radyasyon kullanılabilirliği, simülasyon sonuçlarına göre eğri tahmini (regresyon) uygulanmıştır.

Hernández ve diğ. (2007) şebekeye bağlı PV sistemler için teknik özellikleri (kalite, güvenilirlik, istikrar) ve maliyetleri (kayıplar dahil) aynı anda optimize edecek şekilde boyutlandırma ve yer seçimi gerçekleştirmiştir. Bakos ve Tsagas (2003) şebekeye bağlı hibrid PV-rüzgar sistemi için tekno-ekonomik değerlendirme yapılmış, sistemin teknik açıdan olabilirliği ile ekonomik açıdan yaşam döngüsü kazançları (LCS) ve ilk yatırımın geri ödeme süresi (PBP) belirlenmiştir. Çalışmada sistemin elektrik üretimi, Monte Carlo yöntemini kullanan bir simülasyon programıyla hesaplanmıştır.

Bakelli ve diğ. (2011) ise PV su pompalama sistemlerinde tekno-ekonomik boyutlandırma geliştirmiştir. LPSP ve yaşam döngüsü maliyeti (LCC) parametrelerini kullanarak optimizasyon sağlamıştır. Saatlik radyasyon, ortam sıcaklığı, su ihtiyaçları ve cihaz özellikleri optimizasyon modeline girdi olarak kullanılmış, sonra su tüketim profilleri, toplam yükseklik, tank kapasitesi ve PV dizisinin pik gücünü belirlemek için prosedürler geliştirilmiştir. Su depolama tankı olan sistemde, içme suyu ve sulama ihtiyaçlarının karşılanmayan zamanları için MATLAB programıyla LPSP değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada yük profili günlük

6 m³ olarak sabit kabul edilmiştir. Çeşitli yüksekliklere göre PV modül sayısı ve depolama gün sayısı incelenmiştir. LPSP = 0 değerini veren eğriye otonomi eğrisi adı verilmiştir. Bu eğri üzerindeki her kombinasyonda sistem tam olarak ihtiyacını karşılamaktadır. Daha sonra ekonomik analiz için maliyet hesaplanmış, minimum LCC veren optimal tasarımlar hesaplanmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Güvenilirlik arttıkça sistemin kapasitesi (PV modül sayısı ve depolama günü sayısı) artacaktır. Su depolama tankının sabit büyüklükte olduğu varsayılmıştır.
- Yükseklik (pompalama derinliği) arttıkça sistemin boyutları artacaktır.
- İstenen bir LPSP değeri için, maliyet azaldıkça sistemin boyutları azalacaktır.
- Yükseklik arttıkça maliyet artacaktır ve PV modül sayısı artacaktır.

Lim (2012) PV-rüzgar-dalga enerjileri içeren hibrid sistem için optimal kombinasyon ve boyutlandırma gerçekleştirmiştir. Bunun için bir algoritma geliştirerek uygulamıştır. Hem verimli (LPSP) hem ekonomik bir sistem oluşturmak amacıyla en küçük kareler yöntemi, takas yöntemi, olasılıklı yöntem test edilmiştir.

Kelley ve diğ. (2010) ise PV sistemiyle tarımsal sulama için ekonomik ve teknik fizibilite çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada gerekli gücü üretecek PV panelinin alanı, tarla alanı da dikkate alınarak, aylık ortalama güneş radyasyonu ile hesaplanmıştır. Sistemin ömrü boyunca oluşan maliyetlerin net şimdiki değerleri hesaplanarak, dizel ve şebekeye bağlı sistemlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, PV sulama sistemi diğer alternatifler arasında hem teknik hem de ekonomik açıdan en uygunu olarak bulunmuştur. Özellikle güneş radyasyonunun yüksek olduğu bölgeler için, yeterli alan olduğu takdirde, PV sistemlerin uygulanabilirliği de yüksektir. PV panellerin sermaye maliyeti diğerlerinden fazla olsa bile, 25 yıl boyunca dizel yakıt veya elektrik kullanan sistemlerin uzun süreli maliyetleri nedeniyle daha ekonomik olmaktadır.

c- Tekno-ekonomik-çevresel boyutlandırma (3 amaç fonksiyonu)

Literatürde 3 amaçlı olarak, teknik, ekonomik ve çevresel olarak optimal boyutlandırma geliştiren çalışmalar incelenmiştir. Örneğin Daud ve Ismail (2012) hibrid sistemlerde (PV-rüzgar) optimal tasarım için bir simülasyon programı geliştirmiş ve toplam maliyeti, zararlı gaz salınımını (CO₂) ve boşa giden fazla elektrik üretimini dikkate almıştır. Ekonomik analiz için LCC ve elektrik üretim maliyeti (COE) hesaplanmıştır. Toplam maliyet; ilk yatırım maliyetlerini, bakım ve

yenileme maliyetlerini, işletme maliyetlerini ve hurda değerleri içermektedir. Hibrid sistem ve bileşenlerinin ömrü 24 yıl olarak kabul edilmiştir. Filistin’de uzak bölgede bir evin ihtiyaçlarını varsayarak, bu hibrid sistemin geleneksel enerji kaynaklarına (dizel jeneratör) göre daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının fiyatları düştükçe ve verimlilik ile güvenilirliği arttıkça, çevreye de zararları olmadığı için, daha fazla tercih edilecektir. Pelet ve diğ. (2005) ise entegre enerji sistemlerinde tasarım için ekonomik ve çevresel faktörleri dikkate almıştır. Evrimsel algoritmayla çok amaçlı optimizasyon problemi çözülmüştür. RETScreen modeli ve çok amaçlı kuyruk optimizasyon yazılımı (QMOO) ile çok amaçlı evrimsel algoritma (MOEA), hem maliyet parametresi hem de CO₂ salınımı için ele alınmıştır.

Dufo-López ve Bernal-Agustín (2008) optimal tasarım için üç amaçlı olarak optimizasyon modeli geliştirmiş, hibrid (PV-rüzgar-dizel-hidrojen-pil) sistemlerde toplam maliyeti, zararlı gaz salınımını (CO₂) ve karşılanmayan talebi dikkate almıştır. MOEA ve GA sezgisel yöntemleri kullanılarak hibrid sistemde en iyi konfigürasyon ve kontrol stratejisi bulunmuştur. Örnek bir uygulamada olası tüm çözümler (Pareto optimal kümesi) elde edilmiştir. Uygulanan MOEA yöntemi, kuvvet Pareto evrimsel algoritması (SPEA, SPEA2) olmuştur. SPEA ile amaç fonksiyonlarının minimizasyonu sağlanmış, GA ile her bileşen kombinasyonu için en iyi kontrol bulunmuştur. Sistemin toplam ömrü 25 yıl varsayılmıştır. PV paneller için 12 farklı seçenek mevcuttur. Paneller kış ayları daha önemli düşünüldüğü için 60° eğim açısıyla (0° azimut ve 0,2 albedo) yerleştirilmiştir. İnvertör için 5 farklı alternatif dikkate alınmıştır. Kullanım ömürleri 10 yıl ve verimliliği güç çıkışına bağlı olarak varsayılmıştır. Bu çalışmaya göre minimize edilecek amaç fonksiyonları aşağıda özetlenmiştir.

- Toplam net şimdiki maliyet (NPC) (€): satın alma maliyetleri, bakım, yenileme ve onarım maliyetleri, yakıt maliyeti. Hurda değer dikkate alınmamıştır.
- CO₂ salınımları (E) (kg/yıl): Kullanılan yakıt miktarıyla ölçülmüştür. Dolayısıyla dizel jeneratörün yakıt tüketimine bağlıdır.
- Karşılanmayan talep (UL) (kWh/yıl): Maksimum UL değeri belirlenmiştir (5.56). Olası çözümler arasında maksimum UL değerini aşanlar elenmiştir.

$$UL(\%) = \frac{UL(kWh/yıl)}{Yıllık toplam elektrik yükü (kWh/yıl)} * 100 \quad (5.56)$$

Bernal-Agustín ve Dufo-López (2009a) ise izole hibrid (PV-rüzgar-dizel) sistemlerde SPEA yöntemini uygulayarak çok amaçlı optimal tasarım gerçekleştirmiştir. Maliyet ile karşılanmayan talep amaç fonksiyonları dikkate alınarak, Dufo-López ve Bernal-Agustín (2008) çalışmasına benzer şekilde MOEA ve GA yöntemleri birlikte uygulanmıştır. Dufo-López ve diğ. (2011) çalışmasında ise maliyet (LCOE, LCE) ve CO₂ salınımları minimize edilerek çok amaçlı optimizasyon uygulanmıştır. PV-rüzgar-dizel-pil içeren tek başına hibrid sistemlerde optimal tasarım gerçekleştirilmiştir. Önceki çalışmalardaki gibi MOEA (SPEA, SPEA2) yöntemi kullanılmıştır. Burada HOGA yazılımı aracılığıyla evrimsel algoritma çözülmüştür.

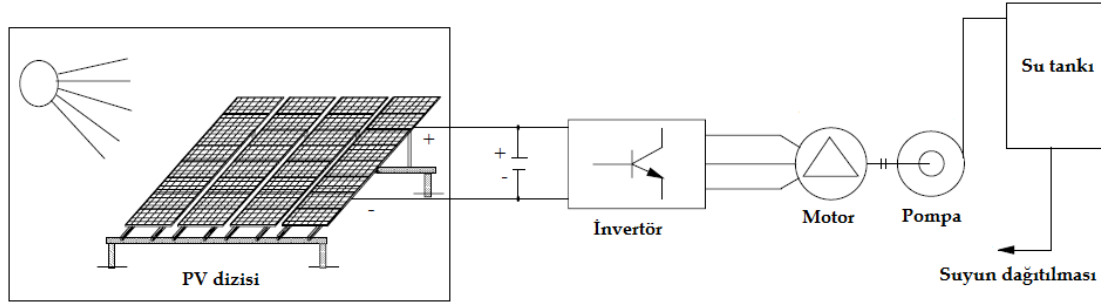
Ayrıca boyutlandırma dışında, optimal yer seçimi de çok amaçlı optimizasyon modeliyle ele alınabilmektedir. Li ve Guo (2014) çok amaçlı optimizasyon modeliyle sulama kaynaklarının optimal yer seçimini ele almıştır. Modelde (ICSIMP) şans-kısıtlı programlama, yarı-sonsuz programlama ve tamsayı programlama, doğrusal programlama yaklaşımları uygulanmıştır. Ekonomik, sosyal ve ekolojik açıdan Çin'e ait bir bölgeyi değerlendirmiş, 3 amaç fonksiyonu şeklinde ifade etmiştir. Modelin kısıtları olarak, yüzey su tedariki, sulama alanı, gıda güvenliği, yeraltı suyu zararlı maddeleri ve kullanma miktarı, tamsayı ve negatif olmama kısıtları eklenmiştir.

5.3 Geliştirilen Çok Amaçlı Optimizasyon Modelleri

Bu çalışmada varsayılan PV su pompalama sistemi Şekil 5.23'te gösterilmiştir (Argaw, 2004). Sistemin bileşenleri olarak PV dizisi, DC/AC invertör, motor (sürekli mıknatıslı senkron motor), santrifüj dalgıç pompa, su depolama tankı ile suyun dağıtılması aşamasında damla sulama sistemi varsayılmıştır. 4 farklı senaryo test edilmiştir. Bunlardan ilk ikisinde su tankı, diğer ikisinde ise piller depolama amacıyla kullanılmıştır. Pil kullanıldığı durumda, sisteme şarj regülatörü ilave edilmiştir. Yıllık sabit eğim açısı veya mevsimsel (3 ayda bir) değişen eğim açısı uygulanmıştır. Aylık açı değişimi işçilik maliyeti düşünülerek dikkate alınmamıştır.

- Senaryo 1: Su depolama tankı ve sabit eğim açısı
- Senaryo 2: Su depolama tankı ve mevsimsel eğim açısı
- Senaryo 3: Pil ve sabit eğim açısı
- Senaryo 4: Pil ve mevsimsel eğim açısı

Ayrıca varsayılan sistem MPPT içermektedir, böylece PV dizisi hep maksimum enerjiyi üretmektedir. Fırçasız sürekli mıknatıslı DC motor yüksek verimlilik, güvenilirlik ve minimum bakım gerektirdiği için tercih edilmiştir. Bu tip motorun yapısı ve çalışma prensibi senkron AC motora benzemektedir. Aslında AC elektrik sinyali üreterek çalışmaktadır, ancak tork-hız grafiğindeki benzerlik nedeniyle DC motor şeklinde adlandırılır. DC/AC invertör, motor AC sinyali ürettiği için sisteme eklenmiştir.



Şekil 5.23 : Varsayılan PV su pompalama sistemi.

PV pompalama sistemi iki önemli faktöre bağlıdır: pompanın çalışmaya başlaması için yeterli radyasyon miktarı (eşik değeri) ve pompalama oranıyla radyasyon arasındaki doğrusal olmayan ilişki. Radyasyon eşik değeri sistem bileşenlerine bağlı olarak değişmektedir. Her bileşenin sistemin toplam performansını etkileyen özellikleri mevcuttur. Bileşenlerin özelliklerinin, PV dizisinin maksimum güç hattını takip etmesi istenen bir durumdur. Bileşenlerin eşleşmesi sonucunda, tüm sistemin verimi istenen aralıkta olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Sistem tasarımı, özellikle PV kapasitesinin hesabı, günün ilk saatlerinden itibaren motoru çalıştıracak yeterli enerjiyi üretebilecek şekilde yapılmalıdır.

Sistem bileşenlerini ayrı ayrı modellemek ve sonra tek sistemde birleştirerek optimizasyon yapmak mümkündür. Bu yöntem en doğru sonuçları verecektir çünkü her bileşenin verimi maksimize edilirken toplam verim de maksimuma ulaşacaktır. Ancak her bileşen (örneğin diyotlar, invertör, motor, pompa) hakkında detaylı bilgi sahibi olmak, temel fonksiyonlarını modellemek ve çözmek kolay değildir. Bu nedenle daha basit ama daha az doğru sonuç üreten tasarım yöntemi, güneş enerjisi, PV dizisi ve gerekli hidrolik enerji miktarı arasında matematiksel bir ilişki ifade etmektedir. Bu yöntem teknisyen veya son kullanıcılar tarafından da uygulanabilecektir. PV dizisiyle güneş radyasyonu arasındaki ilişki denklem 5.57 ile tanımlanmıştır (Argaw, 2004).

$$P = A_{pv} * G_r * \eta_r = 1000 * A_{pv} * \eta_r \quad (5.57)$$

Bu denklemde bulunan P , PV dizisi gücü (*Watt – pik, Wp*), η_r referans sıcaklıkta ($T_r = 25^\circ\text{C}$) PV panelinin verimi, G_r referans sıcaklıktaki radyasyon ($G_r = 1000 \text{ W/m}^2$) ve A_{pv} PV'nin etkin alanıdır (m^2). $A_{pv} = (N_p * N_s * A)$ formülüyle tanımlanmaktadır. A tek bir modülün alanı, N_s seri bağlı hücre sayısı ve N_p paralel bağlı hücre sayısıdır.

Etkin PV alanı, günlük enerji üretimi (E_{pv}) (5.58) ile günlük hidrolik enerji (E_h) (5.59) arasındaki ilişkiye dayanarak ifade edilmiştir. Bu denklemlerde yer alan η_{pv} çalışma koşullarında PV panelinin verimi, G_T PV yüzeyindeki günlük radyasyon (kWh/m^2), V günlük gereken su miktarı (m^3), h toplam pompalama yüksekliği (m), η_s alt sistem verimi, ρ su yoğunluğu ve g yerçekimi ivmesidir (Argaw, 2004). Hidrolik enerji hesabında motor ve pompa modelleri, literatürde çoğunlukla birleştirildiği için, ayrı ayrı ele almak yerine motor-pompa alt sistemi şeklinde modellenmiştir.

$$E_{pv} = A_{pv} * G_T * \eta_{pv} \quad (5.58)$$

$$E_h = \eta_s * E_{pv} = \rho * g * h * V \quad (5.59)$$

PV panelinin verimi ise denklem 5.60 ile hesaplanmıştır. Burada f_m eşleşme faktörü olup PV dizisinin çalışma koşullarındaki güç çıktısının maksimum güç noktasındaki güç çıktısına oranı şeklinde belirlenmektedir. Genellikle PV sistem tasarımında $f_m \approx 0,90$ varsayılmaktadır. α hücre sıcaklık katsayısıdır ve $\%0,2$ ile $\%0,6/^\circ\text{C}$ arasında değişmektedir (Si için $0,004-0,005/^\circ\text{C}$). T_c ise günlük ortalama hücre (kesişme noktası) sıcaklığıdır (Argaw, 2004). PV hücreleri koyu renkte olduğu için hücrenin sıcaklığı çevre sıcaklığından yüksektir.

$$\eta_{pv} = f_m * [1 - \alpha(T_c - T_r)] * \eta_r \quad (5.60)$$

Hücre sıcaklığı, radyasyon, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızına bağlıdır. Birçok araştırmacı deneysel sonuçlara dayanarak ilişki ifade etmeye çalışmıştır. Örneğin Risser ve Fuentes (1983), $T_c = 3,12 + 0,025G_T + 0,899T_a - 1,3W_s$ doğrusal ilişkisini tanımlamıştır (W_s rüzgar hızı (m/s) olmak üzere). Ancak birçok araştırmacı basitleştirilmiş ve sadece radyasyonla ortam sıcaklığına bağlı olan hücre sıcaklık modelini (5.61) kullanmaktadır. T_a saatlik ortam sıcaklığı, $NOCT$ normal çalışma koşullarında ($G = 800 \text{ W/m}^2$, $T_a = 20^\circ\text{C}$, $W_s = 1 \text{ m/s}$) modülün birleşim yeri

sıcaklığıdır. 1 m/s üstünde rüzgar hızı olduğunda ve arttığında, hücre (modül) sıcaklığı azalacaktır (Argaw, 2004).

$$T_c = T_a + \frac{G_T}{800} (NOCT - 20) \quad (5.61)$$

Hücre sıcaklığı için hesaplanan bu iki denklem, gerçek ölçülen sıcaklık değerinden az miktarda sapma göstermektedir. Fakat bu sapma çok küçük olduğu için iki denklem de tahmin için kullanılabilir. PV panelinin verimi belirlendikten sonra PV alanı denklem 5.62 ile hesaplanabilir.

$$A_{pv} = \frac{\rho * g * h * V}{G_T * \eta_{pv} * \eta_s} \quad (5.62)$$

Bu denklemi kullanarak PV dizisinin boyutu, hidrolik enerji ve güneş enerjisi cinsinden 5.63 ile ifade edilebilir. Bu şekilde belirli bir pompalama yüksekliği ve günlük su talebi için PV dizisinin gerekli boyutları belirlenebilir. Benzer şekilde, belirli bir dizi boyutu ve güneş enerjisi için günlük üretilen su miktarı hesaplanabilir.

$$P = 1000 * \frac{\rho * g * h * V * \eta_r}{G_T * \eta_{pv} * \eta_s} \quad (5.63)$$

Toplam verim ise, hidrolik enerji ve girdi olan güneş enerjisi (P_{in}) oranı olan 5.64 ifadesiyle belirlenebilir. Daha sonra nomogram çizilerek PV boyutları ve su üretimi grafiksel olarak ve en kötü ay senaryosu kullanılarak hesaplanabilir.

$$\eta_0 = \frac{P_h}{P_{in}} = \frac{\rho * g * h * V}{A_{pv} * G_T} \quad (5.64)$$

5.3.1 Çok amaçlı optimizasyon modeli-1

Mevcut çalışmalarda genellikle en kötü ay senaryosuna göre, maliyet ve güvenilirlik parametreleri arasında mümkün olan en iyi takas değeri (uzlaşık çözüm) belirlenmektedir. LLP (izo-güvenilirlik) eğrilerinde minimum değer, boyutlandırma probleminin optimal çözümü olarak seçilmektedir. Boyutlandırma parametreleri C_A ve C_S hesaplanarak izo-güvenilirlik eğrileri gösterilmiştir. Aynı LLP değerini farklı C_A (PV panel kapasitesi) ve C_S (depolama kapasitesi) kombinasyonları ile elde etmek mümkündür. PV sisteminin boyutu büyüdükçe maliyet artacağı ve LLP azalacağı için, bu iki çelişkili değer arasında optimal boyutlandırma yapılmıştır.

Literatürde çoğunlukla parametreler ile güvenilirlik indeksleri arasındaki ilişki sayısal simülasyonla incelenmektedir. Çoğunda talep sabit kabul edilmektedir fakat aylık değişken talep uygulayan da mevcuttur. Genellikle tüketimin gece olduğu

varsayılmaktadır. Bu yöntemler uzun radyasyon verilerine ihtiyaç duymaktadır. Geçmiş ölçüm yoksa sentetik olarak üretilmektedir. Bu yöntemlerde LLP değerleri 0,01 ile 1 arasında olmaktadır ve radyasyon verisinin uzunluğu azaldıkça model daha da sınırlanmaktadır (Casares ve diğ, 2014).

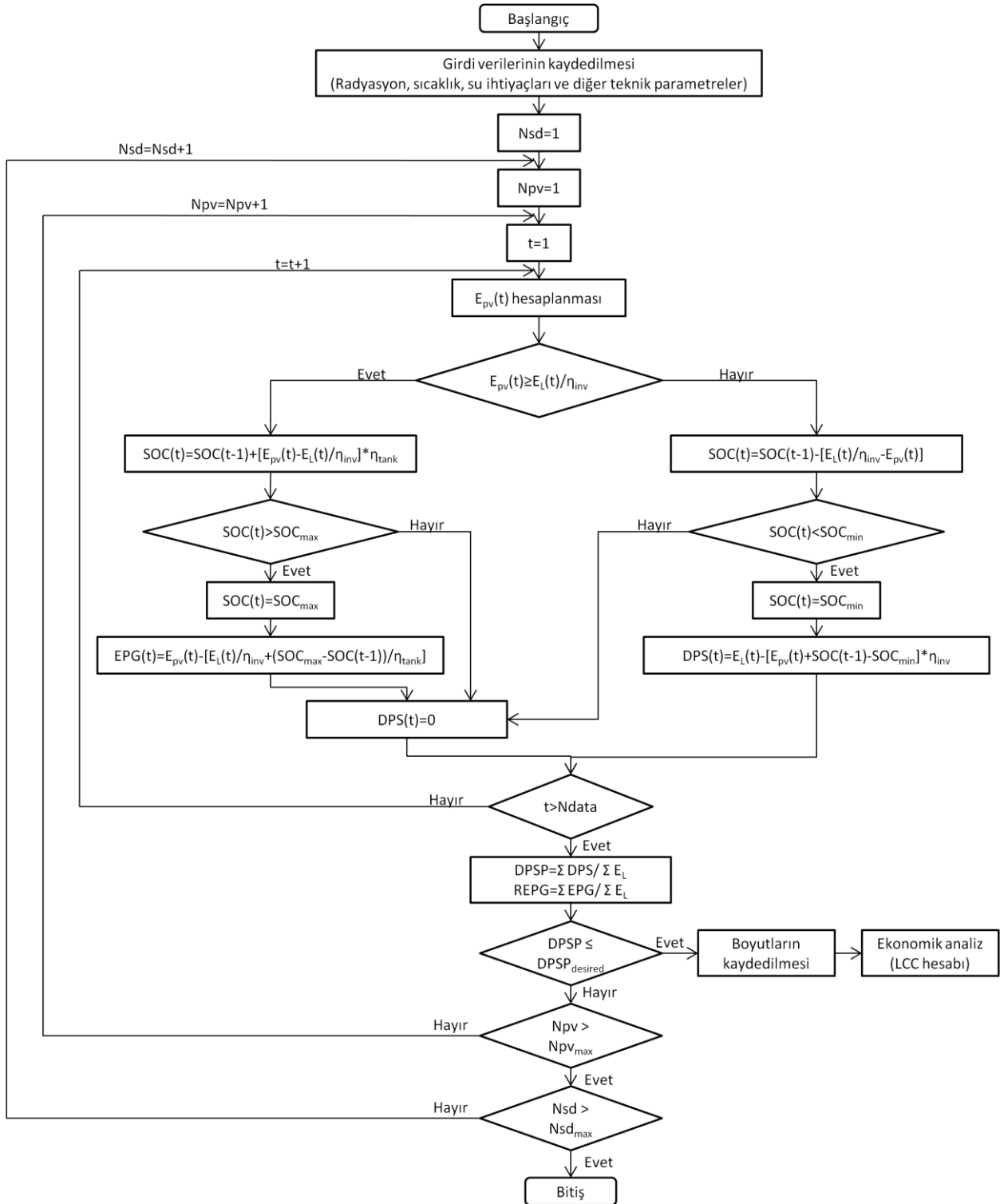
Geliştirilen Model-1’de mevcut çalışmalar referans alınarak, istenen güvenilirlik düzeyini ve minimum maliyeti veren sistem boyutları sayısal bir yöntemle belirlenmiştir. Bu modelin hesaplama algoritması su tankı içeren sistem için Şekil 5.24’te gösterilmiştir. Burada yer alan algoritma senaryo 1 ve 2 için geçerlidir. Pil kullanılan senaryo 3 ve 4 için formüllerde bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu algoritmaların örnek veriyle uygulanması için MATLAB’ta kod geliştirilmiştir. Öncelikle radyasyon, sıcaklık, su ihtiyaçları ve sistemin teknik özelliklerinin modele girdi olarak kaydı gerçekleştirilmiştir. Ardından Nsd (depolama günü sayısı) ve Npv (PV modül sayısı) maksimum değerlerine ulaşmaya kadar döngüyle tüm veriler için hesaplamalar yapılmıştır. Nsd sistemin otonomi günleri sayısı olup, tank hacmine bağlı olarak depolanan potansiyel enerjiye göre hesaplanmıştır. Dolayısıyla optimal boyutlandırma sonucunda elde edilecek tank kapasitesini, su ihtiyaçları ve sistemin otonomisi belirlemektedir. Bu modelde ilgili veriler için hücre sıcaklığı $T_c(t)$, PV panel verimi η_{pv} , PV enerji üretimi $E_{pv}(t)$ hesaplanmıştır. Su ihtiyaçları ise enerji talebi olarak denklem 5.65 ile bulunmuştur.

$$E_L(t) = \rho * g * h * Q(t) / (\eta_{MP} * 3600) \quad (5.65)$$

Toplam dinamik yükseklik olan h , pompalanan su yüksekliğidir. Su tankı kullanıldığı senaryoda tankın yüksekliği de ilave edilmiştir çünkü yerçekimi gücünden faydalanmak için tankın belli bir yüksekliğe monte edildiği düşünülmüştür. η_{MP} motor-pompa alt sisteminin verimi olup, 3600 değeri Joules’dan Wh birimine dönüşüm için eklenmiştir. $Q(t)$ toplam gerekli olan su hacmi (m^3) olduğu için, bitkinin su ihtiyacı (m), bitkinin sulanacak alanı (m^2) ve toplam bitki sayısı çarpımı şeklinde hesaplanmıştır.

Üretilen enerji, talepten fazla ise şarj, az ise deşarj süreci başlamıştır. Şarj sürecinde, üretilen enerjiden talebi çıkarıp, depolama biriminin mevcut şarj durumuna (SOC) göre şarj etme veya enerji fazlası (EPG) olmaktadır. Tank kullanıldığında, su seviyesi SOC olarak kabul edilmiştir. Deşarj sürecinde ise, üretilen enerji talebi karşılayamakta ve depolama biriminden eksilme yapılmaktadır. Eğer depolanan

enerji de talebi karşılamada yetersiz ise, enerji eksikliği (DPS) oluşmaktadır. Bu şekilde tüm veriler için hesaplamalar sonucunda, istenen güvenilirlik düzeyinin altındaki boyutlar kaydedilmiş, minimum maliyeti vereni araştırmak üzere ekonomik analize geçilmiştir.



Şekil 5.24 : Optimal boyutlandırma için Model-1 algoritması.

a- Güvenilirlik hesabı

Burada sıklıkla kullanılan LLP ve LPSP değerlerine benzer bir kavram olan DPSP (güç tedarik eksikliğinin olasılığı) değerleriyle güvenilirlik hesabı yapılmıştır. Ayrıca REPG (fazla üretilen bağlı güç) parametresiyle üretim fazlası da değerlendirilmiştir. Bu aşamada Kaabeche ve diğ. (2011), Wissem ve diğ. (2012), Diaf ve diğ. (2007), Tsalides ve Thanailakis (1986) ve su tankı modeli için Bakelli ve diğ. (2011) çalışmaları referans alınmıştır.

Geliştirilen algoritmalarda kullanılan formüller tüm senaryolar için Çizelge 5.12’de özetlenmiştir. Tank olan senaryolarda η_{tank} verimi ve Nsd depolama günü sayısı dikkate alınırken, pil olan senaryolarda η_{bat} verimi, $Nbat$ pil sayısı ve σ pil deşarj oranı hesaplamalara dahil edilmiştir. Tank için içerdiği su hacmi SOC olarak düşünülmüş, $SOC_{min} = 0$ ve SOC_{max} oluşabilecek maksimum su ihtiyacına göre enerji değeri (Wh) olarak varsayılmıştır. Pil için $SOC_{min} = (1 - DOD) * CB * VB$ ve $SOC_{max} = CB * VB$ şeklinde hesaplanmıştır. DOD pilin izin verilen deşarj derinliği, CB kapasitesi (Ah) ve VB voltaj (V) değeridir.

Çizelge 5.12 : Farklı senaryolar için güvenilirlik hesaplamaları.

Depolama birimi	Formüller
Su tankı (senaryo 1-2)	Şarj durumunda ($E_{pv}(t) \geq E_L(t)/\eta_{inv}$) $SOC(t) = SOC(t-1) + [E_{pv}(t) - E_L(t)/\eta_{inv}] * \eta_{tank}$
	Enerji fazlası hesabı $EPG(t) = E_{pv}(t) - [(E_L(t)/\eta_{inv}) + (SOC_{max} - SOC(t-1))/\eta_{tank}]$
	$REPG(Npv, Nsd) = \sum EPG / \sum E_L$
	Deşarj durumunda ($E_{pv}(t) < E_L(t)/\eta_{inv}$) $SOC(t) = SOC(t-1) - [(E_L(t)/\eta_{inv}) - E_{pv}(t)]$
	Enerji eksiği hesabı $DPS(t) = E_L(t) - [E_{pv}(t) + SOC(t-1) - SOC_{min}] * \eta_{inv}$
	$DPSP(Npv, Nsd) = \sum DPS / \sum E_L$
Pil (senaryo 3-4)	Şarj durumunda ($E_{pv}(t) \geq E_L(t)/\eta_{inv}$) $SOC(t) = SOC(t-1) * (1 - \sigma) + [E_{pv}(t) - E_L(t)/\eta_{inv}] * \eta_{bat}$
	Enerji fazlası hesabı $EPG(t) = E_{pv}(t) - [(E_L(t)/\eta_{inv}) + (SOC_{max} - SOC(t-1))/\eta_{bat}]$
	$REPG(Npv, Nbat) = \sum EPG / \sum E_L$
	Deşarj durumunda ($E_{pv}(t) < E_L(t)/\eta_{inv}$) $SOC(t) = SOC(t-1) * (1 - \sigma) - [(E_L(t)/\eta_{inv}) - E_{pv}(t)]$
	Enerji eksiği hesabı $DPS(t) = E_L(t) - [E_{pv}(t) + SOC(t-1) - SOC_{min}] * \eta_{inv}$
	$DPSP(Npv, Nbat) = \sum DPS / \sum E_L$

b- Ekonomik analiz

Literatürdeki çalışmalarda maliyet fonksiyonu 5.66'daki ifadeyle oluşturulmuştur. Burada kısmi türev alınarak doğrunun eğimi belirlenmiştir (5.67). Bu eğime sahip doğru ile LLP (veya LPSP) eğrisinin kesiştiği nokta, optimal boyut kombinasyonu olarak seçilmiştir (Lalwani ve diğ, 2011; Cabral ve diğ, 2010).

$$C_{sys} = \alpha N_{PV} + \beta N_{bat} + C_{oth} \quad (5.66)$$

$$\frac{\partial N_{PV}}{\partial N_{bat}} = -\frac{\beta}{\alpha} \quad (5.67)$$

Bu çalışmada ise istenen güvenilirlik düzeyini sağlayan boyut parametreleri için yaşam döngüsü maliyeti (LCC) hesaplamaları yapılmıştır. LCC analiziyle sistem ömrü boyunca oluşan tüm maliyetler dikkate alınmaktadır. Güvenilirliğe göre belirlenen en iyi boyutlar arasından minimum maliyeti veren, optimal çözüm olarak seçilmiştir. LCC değeri için, ilk yatırım maliyeti ($C_{yatırım}$), bakım ve onarım maliyetleri ($C_{bakım}$), yenileme maliyetleri ($C_{yenileme}$) ve kurulum işçilik maliyetleri (C_0) şimdiki değer olarak hesaplanmıştır. Ayrıca PV panellerin eğim açısının mevsimsel değiştirildiği durumda ek bir işçilik masrafı (C_s) göz önüne alınmıştır. Böylece LCC, tüm gelecek maliyetleri de içermektedir. Bu çalışmada hurda değeri sıfır kabul edilmiştir.

İlk yatırım maliyeti hesabında (5.68), $C_{unit,pv}$ birim PV modül fiyatı, $C_{unit,tank}$ m^3 başına tank fiyatı, C_{MP} motor-pompa alt sisteminin fiyatı ve C_{inv} invertör fiyatıdır. Burada bulunan V hacim değişkeninin hesabı sonraki bölümlerde anlatılmıştır. Pil olduğu durumda (5.69), $C_{unit,bat}$ birim pil fiyatı ve $C_{unit,reg}$ birim şarj regülatörü fiyatı dikkate alınmıştır. Npv PV modül sayısı, $Nbat$ pil sayısı ve $Nreg$ sistemde bulunması gereken regülatör sayısıdır.

$$C_{yatırım} = C_{unit,pv} * Npv + C_{unit,tank} * V + C_{MP} + C_{inv} \quad (5.68)$$

$$C_{yatırım} = C_{unit,pv} * Npv + C_{unit,bat} * Nbat + C_{unit,reg} * Nreg + C_{MP} + C_{inv} \quad (5.69)$$

Bakım ve onarım maliyetleri, yıllık olarak varsayılmış ve literatürdeki örneklerdeki gibi ilk yatırım maliyetinin belirli bir yüzdesi ($\%m$) şeklinde hesaplanmıştır (5.70). Yıllık değerler şimdiki değere dönüştürülürken sistemin ömrü (n_{sys}) ve faiz oranı ($\%i$) dikkate alınmıştır.

$$C_{bakım} = C_{yatırım} * \%m * \left[\frac{(1+i)^{n_{sys}} - 1}{(1+i)^{n_{sys}} * i} \right] \quad (5.70)$$

Yenileme maliyetlerinin hesabında ömrü dolan bileşenlerin maliyetleri ve yenileme işçilik payı ($\%r$) dahil edilmiştir. PV panellerin ve tankın ömrü çok uzun olduğu için sistem ömrüyle eşit kabul edilmiştir. Tank olduğu durumda 5.71, pil olduğu durumda 5.72 denklemleriyle hesaplamalar yapılmıştır. Burada n_{MP} motor-pompa alt sisteminin ömrü, n_{inv} invertörün ömrü, n_{bat} pilin kullanım ömrü ve n_{reg} şarj regülatörünün ömrünü ifade etmektedir.

$$C_{yenileme} = \left[C_{MP} * \left(\frac{1}{1+i} \right)^{n_{MP}} + C_{inv} * \left(\frac{1}{1+i} \right)^{n_{inv}} \right] * (1 + \%r) \quad (5.71)$$

$$C_{yenileme} = \left[C_{unit, bat} * N_{bat} * \left(\frac{1}{1+i} \right)^{n_{bat}} + C_{unit, reg} * N_{reg} * \left(\frac{1}{1+i} \right)^{n_{reg}} + C_{MP} * \left(\frac{1}{1+i} \right)^{n_{MP}} + C_{inv} * \left(\frac{1}{1+i} \right)^{n_{inv}} \right] * (1 + \%r) \quad (5.72)$$

Kurulum işçilik maliyetleri (5.73), ilk yatırım maliyetinin belirli bir yüzdesi ($\%c$) şeklinde hesaplanmıştır. Hem kurulumdaki işçiliği hem de taşıma masraflarını kapsadığı düşünülmüştür. Ayrıca mevsimsel eğim açısı değişikliği için işçilik maliyeti (5.74), yılda dört defa tekrarlanacağı için aylık bakım maliyetinin ($C_{bakım} / 12$) dört katı şeklinde varsayılmıştır. Burada manuel olarak eğim açısının ayarlandığı, ek bir mekanizma satın alınmadığı düşünülmüştür.

$$C_0 = C_{yatırım} * \%c \quad (5.73)$$

$$C_s = C_{bakım} * 4/12 = C_{bakım} / 3 \quad (5.74)$$

Sonuç olarak minimum LCC değerine (5.75) sahip olan bileşen boyutları, optimal boyutlandırma probleminin en iyi çözümü olarak elde edilmiştir.

$$LCC = C_{yatırım} + C_{bakım} + C_{yenileme} + C_0 + C_s \quad (5.75)$$

Ayrıca PV sulama sisteminin bir tarlada kurulacağı düşünülerek, bu alanın maliyeti de LCC hesaplamalarına dahil edilebilir. PV dizisinin kaplayacağı tarla alanında bitki yetiştirilemeyeceği için o bitkiye ait oluşacak alan kayıp maliyetleri de eklenerek maliyet formülü geliştirilebilir.

5.3.2 Çok amaçlı optimizasyon modeli-2

Model-2’de analitik olarak çok amaçlı optimizasyon modeli tanımlanmıştır. Optimal boyutlar matematiksel olarak ifade edilen tekno-ekonomik optimizasyon probleminin

çözülmesiyle elde edilmiştir. Literatürde çok amaçlı boyutlandırma için genellikle yazılım programı geliştirilmiş, simülasyon kullanılmış ve genetik algoritma (GA) veya çok amaçlı evrimsel algoritma (MOEA) gibi sezgisel yöntemler uygulanmıştır. Analitik olarak optimizasyon problemi çözen çalışmalar ise tek amaca yönelmiştir. Örneğin Singh (2013) ve Kaushika ve diğ. (2005) güvenilirliğin optimizasyonuna yönelik doğrusal programlama ve Simpleks yöntemi uygulamıştır, fakat maliyet modelin içinde dikkate alınmamıştır. Zhang ve diğ. (2012) ise yalnızca maliyet fonksiyonunu dikkate alarak kısıtlı optimizasyon problemi oluşturmuştur. Hem güvenilirlik hem maliyet fonksiyonlarını birleştiren bir analitik modele rastlanmamıştır.

Iqbal ve diğ. (2014) yenilenebilir enerji optimizasyon problemlerinde kullanılabilecek girdileri, çıktıları, amaçları ve kısıtları listelemiştir. Tekno-ekonomik açıdan boyutlandırma gerçekleştirmek için güvenilirlik ve maliyet parametrelerinin optimizasyonu ele alınmalıdır. Bu kapsamda talebin mümkün olduğunca az kayıpla ve maliyetle karşılanması için gereken boyutlar belirlenmelidir. PV sulama sisteminde PV modül sayısı ve depolama birimi kapasitesi modelin karar değişkenleri olmaktadır. Depolama birimi kapasitesi otonomi gün sayısı ile ölçülmektedir. Su depolama tankında otonomi gün sayısı, depolama gün sayısı veya tankın hacmi şeklinde hesaplanmaktadır. Pil kullanıldığında, pillerin sayısı karar değişkeni olarak alınmıştır. Modelin kısıtları ise tarla alanı, PV alanı, bütçe, su ihtiyaçları (talep), deponun maksimum kapasitesi, istenen minimum güvenilirlik düzeyi olarak eklenmiştir.

PV sulama sisteminde PV dizisinin ürettiği güç (P), denklem 5.76 ile hesaplanabilmektedir (Senol, 2012). Burada PV dizisinin nominal gücü, referans koşullar (STC) altında ele alınmıştır. G_T eğik PV paneline gelen küresel radyasyon ($\text{kWh/m}^2\text{gün}$), η_r PV dizisinin referans sıcaklıktaki ($T_r = 25^\circ\text{C}$) verimi, η_s alt sistemlerin (pompa, motor ve invertör) verimidir. Q günlük gereken (pompalanan) su miktarı (akış oranı) ($\text{m}^3/\text{gün}$), h toplam pompalama yüksekliği (m), ρ su yoğunluğu (özkütlesi) (kg/m^3) ve g yerçekimi ivmesidir (m/s^2). $\rho = 1000\text{kg/m}^3$ ve $g = 9,81\text{m/s}^2$ kabul edilmiştir.

$$P = \frac{\rho * g * h * Q * \eta_r}{G_T * \eta_{PV} * \eta_s} \quad (5.76)$$

η_{PV} çalışma koşulları altında PV dizisinin verimi olup, denklem 5.77 ile hesaplanmıştır (Argaw, 2004). f_m eşleşme faktörü ($f_m \approx 0,90$), α PV hücresi için sıcaklık katsayısı ($0,2 - 0,6 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$, Si için $0,004 - 0,005 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$), T_r referans sıcaklık (25°C), T_c hücre sıcaklığıdır.

$$\eta_{PV} = f_m [1 - \alpha(T_c - T_r)] * \eta_r \quad (5.77)$$

T_c hücre sıcaklığı hesabı ise, ortam (hava) sıcaklığına (T_a) bağlı olarak denklem 5.78 ile yapılmıştır (Messenger ve Ventre, 2005). Burada $NOCT$ hücrenin nominal çalışma sıcaklığı olmaktadır. G güneş radyasyonudur (W/m^2).

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} * G \quad (5.78)$$

η_r , $NOCT$ ve α değerleri varsayılan PV modülünün tipine bağlıdır ve üretici tarafından tanımlanmaktadır. Verilen bir pompalama yüksekliği ve sulama ihtiyacı için gerekli olan PV dizisi boyutlarının belirlenmesi analitik olarak mümkündür (5.79). Aynı formülle, verilen radyasyon miktarı ve PV boyutlarına göre günlük üretilen su miktarı da hesaplanabilir (Argaw, 2004).

$$A_{PV} = \frac{\rho * g * h * Q}{G_T * \eta_{PV} * \eta_s} \quad (5.79)$$

PV sulama sisteminin toplam verimi ise 5.80 formülüyle hesaplanabilmektedir (Senol, 2012).

$$\eta_0 = \frac{\rho * g * h * Q}{A_{PV} * G_T} \quad (5.80)$$

Yukarıda yer alan denklemler yardımıyla tekno-ekonomik boyutlandırma modeli oluşturulmuştur. Bu optimizasyon modelinde, maksimum güvenilirlik (minimum DPSP değeri) ve minimum maliyet (LCC değeri) amaç fonksiyonları olmak üzere, öncelikle ilgili radyasyon, sıcaklık ve su ihtiyacı verileri için hücre sıcaklığı (T_c), PV verimi (η_{PV}), gerekli olan su hacmi (Q), gerekli hidrolik enerji (E_{load}) ve PV modül sayısı (N_{PV}) değişken olmak üzere üretilen güneş enerjisi (E_{pv}) hesaplanmıştır. Ardından SOC sınırları, önceki değeri, şimdiki değeri su tankı kullanılan senaryo-1 ve 2 için hidrolik enerji hesabına göre, pil kullanılan senaryo-3 ve 4 için ise pil kapasitesine göre belirlenmiştir. Kısıtlarda SOC değerinin, PV modül sayısının ve depolama birimi kapasitesinin belirlenen sınırlar içinde olması gerekmektedir. Güvenilirlik hesabı için talebin karşılanamaması, güç tedarik eksikliği (DPS) ile ölçülmüştür. Bu değer talebe oranıyla olasılık (DPSP) hesaplanmıştır ve istenen

DPSP sınırından küçük veya eşit olması kısıtı eklenmiştir. Daha sonra maliyet analizi hesaplamaları yapılmış ve tüm maliyetler toplanarak yaşam döngüsü maliyeti (LCC) değerinin bütçe sınırından küçük veya eşit olması istenmiştir.

5.3.2.1 Çözüm yöntemleri

Çok amaçlı optimizasyon probleminin çözümünde genellikle karar vericinin tercih bilgisine başvurulmaktadır. Bu bilginin modele dahil edildiği aşamaya bağlı olarak yöntemler sınıflandırılmıştır (Atlas, 2008).

- Çözüm sürecinin başında bilgi alınan yöntemler arasında hedef programlama, ağırlıklandırma tekniği, değer fonksiyonu, sınırlanmış amaçlar yöntemi, ε -kısıtlı yöntem, ardışık sıralama yöntemi, vb. mevcuttur.
- Çözüm süreci esnasında etkileşimli olarak bilgi alınan STEM, STEUER, Geoffrion-Dyer-Feinberg (GDF), Zionts ve Wallenius, etkileşimli hedef programlama, yedek değer ikame yaklaşımı gibi yöntemler geliştirilmiştir.
- Çözüm süreci sonunda bilgi alınan yöntemler ise dinamik çok amaçlı programlama, çok amaçlı genetik algoritmalar, ulaşılabilir küme tekniği, benzer doğrular yaklaşımı gibi sayılabilir.

Ayrıca bilgi alınmayan fakat varsayımlarda bulunan toplu kriter yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemde her amaç fonksiyonu için ayrı hesaplama yapılarak ideal çözümler bulunur, çözüm alternatifleri tablosu oluşturulur ve uzlaşık çözüm araştırılmaktadır (Evren ve Ülengin, 1992).

Vektör minimizasyon problemi olan tekno-ekonomik boyutlandırma probleminin çözümü için uygulanabilecek bu yöntemler arasında hedef programlama ve benzeri teknikler, hedeflerin sıralanması ve önceliklerin atanması için karar vericilerin yeterli uzmanlık bilgisine ihtiyaç duymaktadır.

Bu çalışmada iki amaç fonksiyonunu aynı anda çözülerek tek bir uzlaşık çözüme ulaşmak istenmektedir. Bu nedenle ağırlıklandırma yöntemiyle güvenilirlik ve maliyet fonksiyonlarına ağırlık atanmıştır (5.81). Uzman bilgisine ulaşılamadığı için, iki fonksiyon eşit ağırlıkta ($w_i = 0.5, i = 1,2$) varsayılmıştır.

$$\begin{aligned} \min \sum_{i=1}^2 w_i f_i(x) \\ \sum_{i=1}^2 w_i = 1 \end{aligned} \quad (5.81)$$

Ayrıca ε -kısıtlı yöntem de test edilmiştir. Bu yöntemde öncelikli bir amaç fonksiyonu (f_p) minimize edilirken, diğer amaçlar eşitsizlik kısıtı şeklinde modele eklenmektedir (5.82).

$$\begin{aligned} & \min f_p(x) \\ & \text{st. } f_i(x) \leq \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (i \neq p) \end{aligned} \quad (5.82)$$

Ağırlıklandırma yöntemi konveks olmayan sınırdaki çözümleri bulamamaktadır. ε -kısıtlı yöntem, ağırlıklandırma yönteminin bu dezavantajını ortadan kaldırır. Bu nedenle ε -kısıtlı yöntem hem güvenilirliği (DPSP) hem de maliyeti (LCC) öncelikli amaç fonksiyonu kabul ederek uygulanmıştır. Öncelikli olmayan amaç ise belirli bir ε değerinden küçük olacak şekilde kısıtlara ilave edilmiştir. Fakat sulama sistemine ait boyutlandırma modelinde yapılan testler sonucunda, ağırlıklandırma yöntemi ve ε -kısıtlı yöntem ile aynı sonuçlar elde edildiği için, kolaylık açısından yalnızca ağırlıklandırma yöntemi optimal boyutlandırma uygulaması için tercih edilmiştir. Bu nedenle çok amaçlı optimizasyon problemi, iki amacı tek fonksiyonda birleştiren doğrusal programlama modeliyle ele alınabilecektir. Bunun için simpleks kullanarak çözüm yapılmıştır. LINGO v.11 yazılımı aracılığıyla doğrusal programlama modeli senaryo-1'e göre aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

```

MIN=(1/2)*DPSP+(1/2)*LCC;
!subject to;

Tc=Ta+(NOCT-20)*G/800;
nPV=fm*(1- $\alpha$ *(Tc-Tr))*nr;
Q=Irr_Req*canopy*Nbtrees;
Eload=rho*g*Q*(h+htank)/(nMP*3600);
Epv=Gtilt*nPV*Apv*Npv;

SOCmax=rho*g*htank*max(Irr_Req)*canopy*Nbtrees*Nsd/3600;
SOCmin=0;
SOCprev=0;
SOC=SOCprev+Epv-(Eload/nInv);
SOC>=SOCmin;
SOC<=SOCmax;

Npvmax=FA*x/Apv;
Npv>=Npvmin;
Npv<=Npvmax;
Nsd>=Nsdmin;
Nsd<=Nsdmax;

DPS=Eload-(Epv+SOCprev-SOCmin)*nInv;
DPSP=DPS/Eload;
DPSP<=DPSPdesired;

Cyatırım=Cunit,pv*Npv+Cunit,tank*(max(Irr_Req)*canopy*Nbtrees*Nsd)
+Cmp+Cinv;
Cbakım=Cyatırım*m*((1+ $\%i$ )^nsys)-1)/( $\%i$ *(1+ $\%i$ )^nsys);

```

```

Cyenileme=((Cmp*(1/(1+%i)^nmp)+(Cinv*(1/(1+%i)^ninv))*(1+%r);
Co=Cyatırım*%c;

LCC= Cyatırım+Cbakım+Cyenileme+Co;
LCC<=LCCmax;

```

Senaryo-2 için eğik radyasyon verileri dikkate alınarak, mevsimsel eğim açısı değişikliği nedeniyle ek işçilik masrafı (C_s) LCC formülüne eklenmiştir. Senaryo-3 ve 4 için modelde pilin SOC değerleri, ilgili limitler ve maliyetler revize edilerek uygulanmıştır. Senaryo-3 için LINGO modeli aşağıdaki şekilde kodlanmıştır.

```

MIN=(1/2)*DPSP+(1/2)*LCC;
!subject to;

Tc=Ta+(NOCT-20)*G/800;
nPV=fm*(1- $\alpha$ *(Tc-Tr))*nr;
Q=Irr_Req*canopy*Nbtrees;
Eload=rho*g*Q*h/(nMP*3600);
Epv=Gtilt*nPV*Apv*Npv;

SOCmax=CB*VB*Nbat;
SOCmin=(1-DOD)*CB*VB*Nbat;
SOCprev=0;
SOC=SOCprev*(1- $\sigma$ )+Epv-(Eload/nInv);
SOC>=SOCmin;
SOC<=SOCmax;

Npvmax=FA*x/Apv;
Npv>=Npvmin;
Npv<=Npvmax;
Nbat>=Nbatmin;
Nbat<=Nbatmax;

DPS=Eload-(Epv+SOCprev-SOCmin)*nInv;
DPSP=DPS/Eload;
DPSP<=DPSPdesired;

Nreg=(Npv*Pmp/Preg);
Cyatırım=Cunit,pv*Npv+Cunit,bat*Nbat+Cunit,reg*Nreg+Cmp+Cinv;
Cbakım=Cyatırım*m*((1+%i)^nsys)-1)/(1+%i)^nsys);
Cyenileme=((Cmp*(1/(1+%i)^nmp)+(Cinv*(1/(1+%i)^ninv)+
(Cunit,bat*Nbat*(1/(1+%i)^nbat)+
(Cunit,reg*Nreg*(1/(1+%i)^nreg))*(1+%r);
Co=Cyatırım*%c;

LCC=Cyatırım+Cbakım+Cyenileme+Co;
LCC<=LCCmax;

```

Model-1’de MATLAB yazılımı aracılığıyla otomatik olarak günlük, aylık veya yıllık veriler okunabilmekte ve her biri için ayrı hesaplama kolayca yapılabilir. Fakat Model-2 için verilerin LINGO programına tek elle girilmesi gerekmektedir. Model-1’deki gibi bir kodlama yapıldığı zaman, program olurlu çözüm bulamamaktadır. Bu nedenle Model-2 uygulamasında yıllık seviyede radyasyon, sıcaklık ve su ihtiyaç verileri kullanılması tercih edilmiştir. Literatürde en kötü ay

veya toplam ortalama belirleyerek, tüm yıllar için tek sonuç üreten boyutlandırma çalışmaları mevcuttur. Ancak bu şekilde fazla veya eksik boyutlandırma yapılabilmektedir. Bu sebeple bu çalışmada tasarım ayı seçmek veya toplam ortalama almak yerine, aylık verilerden yıllık ortalamalar hesaplanmış, her yıl için gereken boyutlar optimal olarak belirlenmiştir.

5.4 Optimal Boyutlandırma Uygulama Sonuçları

Bu bölümde geliştirilen çok amaçlı optimizasyon modelleri örnek PV sulama sistemi için elde edilen girdilerle uygulanmıştır. Uygulama sonuçlarına göre Model-1 ve Model-2 karşılaştırılmıştır.

5.4.1 Örnek PV sulama sistemi için veriler

Akdeniz bölgesinde yazlar uzun ve sıcak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir. Bu nedenle yılda 2-3 kez tarımsal ürün alınabilmektedir. Yaz sıcaklığı $27-28^{\circ}\text{C}$, kış sıcaklığı ise $8-10^{\circ}\text{C}$ 'dir. Yıllık ortalama yağış $700-1000\text{ mm}$ arasında değişmektedir. Yazlar kurak geçtiği için tarım olumsuz etkilenir ve sulama zorunlu olmaktadır. Kışlar ılık ve güneşlenme süresi uzun olduğu için de seracılık uygulanmaktadır. Bölgede ekonomik değeri yüksek, ihraç edilen tarım ürünleri yetiştirilmektedir. Antalya çevresinde kalkerli arazinin yaygın ve yaz kuraklığının belirgin olması nedeniyle tarım olumsuz yönde etkilenmektedir. Kıyı bölgesinde turuncgil ve muz üretimi yapılmaktadır. Türkiye'nin turuncgil, muz, pamuk, sebze, yerfıstığı, anason, susam üretimleri çoğunlukla bu bölgeden karşılanmaktadır. Göller yöresinde ise kıyı kesiminden farklı olarak, tahıl, haşhaş, şeker pancarı, gül ve tütün yetiştirilmektedir.

Antalya, güneş enerjisinde başkent olma iddiasıyla ilerlemektedir. Özellikle turizm tesisleri, enerji verimliliği ve maliyetlerin düşmesi için alternatif enerjiler konusunda arayış içindedir. Ancak tarım ve seracılık da gelişmiş olduğu ve kuraklık yaşandığı için bölgede sulama sistemleri de önem taşımaktadır. Güneş enerjisini günlük hayatta aktif olarak kullanan ve Antalya'da güneş enerjisi üreten birçok firma bulunmaktadır. Bu nedenlerle RENSEF 2.Yenilenebilir Enerji Sistemleri ve Enerji Verimliliği Fuarı 30 Ekim-2 Kasım 2014 tarihleri arasında Antalya'da gerçekleştirilmiştir.

Dolayısıyla bu çalışmada örnek PV sulama sistemi uygulaması için Antalya ili seçilmiştir. Antalya'nın enlemi $36^{\circ}53'K$, boylamı $30^{\circ}40'D$ ve yüksekliği $47m$ 'dir. Bu bölgede bir limon bahçesi varsayılarak sulama ihtiyaçları, bölgenin güneş

radyasyon ve sıcaklık tahminleri hesaplanmıştır. Tarla (bahçe) alanı, gerçek uygulamalardan yola çıkarak toplamda $FA = 6000m^2$ varsayılmıştır. Bu bahçede $Nb_trees = 300$ adet limon ağacı olduğu düşünülmüştür. Orta boy bir limon ağacının yaklaşık kapladığı alanın $canopy = 9m^2$ olduğu tarım uzman raporları sayesinde belirlenmiştir. Bu değer, ağacın gölgelik zemin alanı şeklinde tanımlanmaktadır. Boyutlandırma modellerinin uygulanmasında, Cropwat yazılımıyla mm (veya m) cinsinden belirlenen 10'ar günlük sulama ihtiyaçları (Irr_Req), bir ağacın kapladığı alan ve bahçedeki ağaç sayısı ile çarpılarak m^3 cinsinden gerekli olan toplam su hacmine (Q) dönüştürülmüştür. Sulama ihtiyaçları (yük talebi), 1 yıl için aylık değişken talep şeklinde hesaplandıktan sonra, basitlik açısından gelecek yıllar için aynı devam ettiği kabul edilmiştir.

PV su pompalama veya sulama sisteminin yatay bir araziye monte edildiği düşünülmüştür. Güneş takip sistemi içermemektedir. Bölgenin yeraltı suyunun mevcut ve yeterli olduğu varsayılmıştır. Bölgenin yağışları da bu suyu tamamlamaktadır. Böylece uzak mesafelerden su taşınmadığı düşünülmüştür. Su kuyusunun sondajının yapıldığı ve yeraltından su çekilebilir halde olduğu varsayılmıştır. Kuyu derinliği $h = 20m$ kabul edilmiştir. Suyun kalitesinin sulama için uygun olduğu varsayımı yapılmıştır ve arındırma işlemleri dikkate alınmamıştır. Tek bir bitki tipi düşünülerek, toprağın bu bitki için yeterli kalitede ve verimli olduğu varsayılmıştır. Ayrıca PV panel verimi, motor-pompa alt sisteminin verimi sabit kabul edilmiştir. Sıcaklık ve kir nedeniyle verim kaybı olmadığı varsayılmıştır. Sulama sisteminin kullanım ömrü 25 yıl varsayılmıştır. Sistem bileşenleri ve diğer maliyetler için detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir. Ayrıca belirlenen tüm girdiler liste halinde EK F içinde özetlenmiştir (Çizelge F.1 ve Çizelge F.2).

a- PV hücresi

Seçilen PV hücresi Astronergy üretimi olup, VIOLIN CHSM6610P serisine aittir (Şekil 5.25). Her PV hücresi standart test koşullarında 250 Wp güce ($P_{mp}(STC)$) sahiptir ve PV modülü 60 (6x10) kare polikristalin silikon PV hücrelerinden (15,24x15,24 cm) oluşmaktadır. Toplam ölçüleri 1652x994x40 mm'dir. 10 yıllık garantisi vardır, 1.yıl sonunda $P_{mp}(STC)$ değeri %3, 2 ve 25 yılları arasında ise yıllık %0,7 düşüş yaşamaktadır. Ayrıca performans test koşullarında $P_{mp}(PTC) = 227,9Wp$, $V_{oc} = 38,19V$, $I_{sc} = 8,65A$, verimi $\eta_r = \%15,2$, P_{mp} için sıcaklık

katsayısı $\alpha = \%0,47$, NOCT değeri $43 \pm 2^\circ\text{C}$ olarak üretici tarafından verilmiştir. STC için maksimum voltajı $V_{mp}(STC) = 30,30V$ ve NOCT için $V_{mp}(NOCT) = 27,37V$ olarak belirtilmiştir. Eşleşme faktörü performans koşullarındaki gücün maksimum güce oranı olduğu için $f_m = 227,9/250 = 0,9116$ şeklinde hesaplanmıştır. PV hücresinin birim fiyatı internet satış sitelerinden 370 TL olarak bulunmuştur. Kullanım ömrü 25 yıl olarak varsayılmıştır.

PV sulama sisteminde kullanılabilecek hücre sayıları için sınırlar belirlenmiştir. $N_{pvmin} = 1$ adet alınmıştır. Maksimum sayı için varsayılan tarla alanının en fazla $\%2$ 'sini kaplayacak şekilde bir değer belirlenmiştir. Dolayısıyla $\%98$ 'lik alanın ekili olduğu düşünülmüştür. Tarla alanı $FA = 6000m^2$ varsayıldığına göre $N_{pvmax} = FA * \%x / A_{PV} = 6000 * 0,02 / (1,652 * 0,994) = 73,07$ olarak hesaplanmıştır. Yukarı yuvarlama yapılarak $N_{pvmax} = 74$ alınmıştır.



Şekil 5.25 : Seçilen örnek PV hücresi.

b- Motor-pompa ünitesi

Santrifüj ve dalgıç pompa olarak PV sulama sistemine uygun olan Lorentz PS1200 C-SJ5-8 tercih edilmiştir. Bu pompa sistemi, içerisinde bir kontrolör (PS1200), fırçasız DC motor (ECDRIVE 1200-C) ve pompa (PE C-SJ5-8) bulundurmaktadır. Bu motor-pompa sisteminin toplam dinamik yüksekliği maksimum $40m$ olabilmektedir. Akış hızı ise maksimum $21m^3/s$ olarak verilmiştir. Motorun gücü $1,7kW$ olmaktadır. Motor-pompa alt sisteminin birim fiyatı 6.270 TL olarak bulunmuştur. Seçilen bileşenler Şekil 5.26'da gösterilmiştir. Kontrolör verimi $\%98$, motor verimi $\%92$ olarak verilmiştir. Motor-pompa sisteminin maksimum verimi ise $\eta_{MP} = \%48$ olmaktadır. Kullanım ömrü ise 10 yıl olarak varsayılmıştır.

Kontrolör MPPT içermekte ve invertör görevini yapmaktadır. Dolayısıyla tank kullanılan senaryolarda, bu motor-pompa sistemini doğrudan PV paneline bağlamak uygundur. Ek bir invertör satın alınmasına gerek yoktur. Fakat pil kullanılan senaryolarda PV panel, MPPT içeren şarj regülatörüne ve pillere bağlıdır. Sonrasında

pilden çıkan DC voltajı AC'ye çevirecek bir invertör motora bağlanmıştır. PS1200 kontrolörü bu senaryoda gereksiz kalmaktadır. Bu nedenle pil kullanıldığında motor-pompa ünitesine ait olan kontrolör kullanılmamıştır. Ancak Lorentz pompa sistemi birlikte satın alındığı için maliyetlerde ayırıştırma yapılamamış, kontrolörün de dahil edilmesi gerekmiştir.

Ayrıca bu ünitenin optimal voltaj değeri $V_{mp} > 102V$ (maksimum 200V) olarak verilmiştir. Nominal voltajı ise 72 – 96V arasındadır. Tank kullanıldığında PV paneli doğrudan bu üniteye bağlı olacağı için, panelden çıkan voltaj değerinin uyumlu olması gerekir. Panel voltajı yaklaşık 30V olduğu için, tasarımda en az 4 tane PV modülün seri bağlanması ve yaklaşık 120V elde edilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.26 : Seçilen örnek motor-pompa ünitesi.

c- DC/AC invertör

Tank kullanıldığında motor-pompa ünitesinin içerdiği kontrolör, invertör görevini görmektedir. Pil kullanıldığı durumda kullanılmak üzere, sulama için uygun olan Victron Energy üretimi (off-grid) Phoenix Inverter 24V/3000VA ele alınmıştır (Şekil 5.27). Giriş voltaj aralığı 19 – 33V (DC), çıkış voltajı 230V (AC) $\pm\%2$ ve frekansı 50Hz $\pm\%0,1$ olarak verilmiştir. Dolayısıyla invertör, pillerden gelen 24V DC'yi 230V AC'ye çevirmektedir. İnvertörün çıkış voltajı, bağlı olduğu motorun giriş voltajı olmaktadır. İnvertör çıkış gücü (40°C'de) 2200W'dır. Motora bağlanacağı ve motorun gücü 1700W olduğu için, bu invertör tercih edilmiştir. Bir düşük versiyonu olan 24V/2000VA'nın çıkış gücü 1450W'dır ve yetersizdir. Seçilen invertörün maksimum verimi $\eta_{inv} = \%94$ olup, birim fiyatı yaklaşık 5.150 TL olarak dikkate alınmıştır. Kullanım ömrü 10 yıl olarak varsayılmıştır.



Şekil 5.27 : Seçilen örnek invertör.

d- Su depolama tankı

Varsayılan sistemde su deposu sadece yerçekimiyle su akıtmaktadır. Yerden 10m yükseklikte yerleştirildiği düşünülmüştür. Kuyu derinliği 20 m varsayıldığı için, tank kullanıldığında suyun pompalanacağı toplam yükseklik 30 m olacaktır. Su depolamak için polietilen malzemesiyle tasarlanmış tank, Changzhou LinHui Plastic Products firması üretimidir. 200 litreden 50.000 litreye kadar su depolayabilen tanklar üretilmiştir. Şekil 5.28’de görülen PE water tank 20T, 20.000 litre ($20m^3$) su kapasitesine sahiptir. PV sulama sisteminde depolama tankının hacmi ihtiyaca göre belirleneceği için m^3 başına fiyatı hesaplanmıştır. $20m^3$ için 6.300 TL olduğuna göre, birim fiyatı 315 TL/ m^3 olarak dikkate alınmıştır. Tank verimi $\eta_{tank} = 1$ ve kullanım ömrü 25 yıl olarak varsayılmıştır.

Otonomi gün sayısı, çalışmalarda genellikle 1-5 gün arasında düşünüldüğü için su depolama gün sayısı sınırları da aynı varsayılmıştır. Daha fazla süre depolanacak suyun kalitesinin bozulma ihtimalinin olması (bakteri ve hastalık riski) nedeniyle, modellerde $1 \leq Nsd \leq 5$ kısıtları dikkate alınmıştır. Nsd değerinin tank hacmine dönüştürülmesi ve buna göre kullanılacak tank boyutlarının belirlenmesi gerekmektedir. Optimal boyutlandırma modelindeki Nsd depolama gün sayısı ile ihtiyaç duyulabilecek maksimum su ihtiyacına göre tankın hacmi hesaplanmıştır: $max(Irr_Req) * canopy * Nb_trees * Nsd$. Böylece en fazla suya ihtiyaç duyulan günlerde bile, tankın yeterli miktar suyu depolama kapasitesi olacaktır. Verilerde maksimum günlük su ihtiyacının 4,46mm (0,00446m) olduğu görülmüştür. Buna göre $Nsd = 1$ için $13m^3$, $Nsd = 2$ için $25m^3$, $Nsd = 3$ için $37m^3$, $Nsd = 4$ için $49m^3$ ve $Nsd = 5$ için $61m^3$ tank hacmi gerektiği hesaplanmıştır. İstenilen hacimde tank bulunabildiği varsayılmıştır.



Şekil 5.28 : Seçilen örnek su tankı.

e- Şarj regülatörü

Pil kullanıldığı durumlarda şarj kontrolünü sağlayan bir regülatör bağlanmalıdır. Victron Energy'nin BlueSolar charge controller MPPT 150V/70A ürünü tercih edilmiştir (Şekil 5.29). PV paneline bağlı olan regülatör, MPPT içermektedir. Diğer sistem bileşenleriyle uyumlu olması açısından 24V olan versiyonu seçilmiştir. Maksimum 2000W güç girişine sahiptir. Dolayısıyla PV modül sayısına bağlı olarak üretilen çıkış gücü bu değeri aştıkça, sisteme her 2 kWp için 1 tane şarj regülatörü eklenmelidir. Seçilen PV modüller 250 Wp güce sahip olduğu için, regülatör sayısı $N_{reg} = N_{pv} * 250/2000$ şeklinde hesaplanmış ve bulunan sayı yukarı yuvarlanmıştır.

Bu regülatörün maksimum giriş voltajı 150 V olduğu ve PV modülü yaklaşık 30V voltaj ürettiği için, pil kullanıldığında en fazla 4 tane PV modül seri bağlanabilecektir. Regülatörün minimum giriş voltajı ise pil voltajı (24 V) +5 V (pil voltajı toleransı) +7 V (regülatörü başlatmak için) şeklinde 36 V olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle tasarımda en az 2 tane PV modülünün seri bağlanması ve yaklaşık 60 V elde edilmesi gerekmektedir. Seçilen şarj regülatörünün birim fiyatı 2.436 TL olarak belirlenmiştir. Kullanım ömrü ise 5 yıl varsayılmıştır.



Şekil 5.29 : Seçilen örnek şarj regülatörü.

f- Pil

Pille depolama yapılan senaryolar için MINGDENG marka $CB = 100Ah$ nominal kapasiteye sahip $VB = 12V$ 'luk piller varsayılmıştır (Şekil 5.30). Fakat şarj

regülatörü 24V'luk olduğu için 2 tane 12V'luk pilin seri bağlandığı düşünülmüştür. Dolayısıyla uygulamada 24V – 100Ah kapasitede piller kullanıldığı kabul edilmiştir. 24V DC çıkış voltajına sahip piller, sonrasında invertöre bağlanarak 230V AC voltaja dönüşüm gerçekleşmektedir. Pilin verimi $\eta_{bat} = \%96,5$ ve deşarj derinliği ortalama olarak $DOD = \%80$ varsayılmıştır. Pil deşarj oranı üretici tarafından 3 ay için %91, 6 ay için %82, 12 ay için %64 verilmiştir. Bu değerlerin ortalaması olan değer $\sigma = \%79$ pil deşarj oranı kabul edilmiştir. Birim fiyatı (12V'luk için) yaklaşık 185 TL/adet olarak belirlenmiştir. Kullanım ömrü ise 5 yıl varsayılmıştır. Sulama sisteminin ömrü 25 yıl kabul edildiği için, pillerin 5 yılda bir yenilenmesi gerekmektedir.

PV sulama sistemi boyutlandırma modelinde minimum pil sayısı $N_{batmin} = 1$ alınmıştır. Maksimum pil sayısını belirlemek için, en fazla su ihtiyacına bağlı olarak hidrolik enerji hesaplanmıştır. Gerekli maksimum hidrolik enerjinin SOC_{max} değerine oranıyla N_{batmax} belirlenmiştir. Burada SOC değerleri enerji birimi olan Wh cinsinden hesaplanmıştır. Cropwat verilerine göre, aylık maksimum su ihtiyacı Ağustos için 0,1326m olarak bulunmuştur. Gerekli su hacmi $Q_{max} = 0,1326 * canopy * Nb_{trees} = 0,1326 * 9 * 300 = 358,02m^3$, hidrolik enerji $E_{load,max} = \rho g Q_{max} h / (\eta_{MP} * 3600) = 1000 * 9,81 * 358,02 * 20 / (0,48 * 3600) = 40650,18 Wh$, maksimum şarj durumu $SOC_{max} = CB * VB = 100 * 24 = 2400 Wh$ ve maksimum pil sayısı sınırı $N_{batmax} = E_{load,max} / SOC_{max} = 16,93 \approx 17$ bulunmuştur. Fakat bu sayı aslında 2 pilin seri bağlanmış durumunu yansıttığı için, maliyet hesabında 2 katı sayıda, $N_{batmin} = 2$ ve $N_{batmax} = 34$ olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 5.30 : Seçilen örnek pil.

g- Diğer maliyetler

Kurulum işçilik maliyeti (C_0), ilk yatırım maliyetinin $c = \%10$ 'u kabul edilmiştir. Bakım ve onarım, 25 yıl boyunca düzenli olarak her yıl yapılmakta ve ilk yatırım maliyetinin $m = \%2$ 'si olmaktadır. Yenileme maliyetleri, hem yeni parça maliyetini hem de parça maliyetinin $r = \%10$ 'u kadar işçilik maliyetini kapsamaktadır. Mevsimsel eğim açısı değiştirme işçilik maliyeti ise aylık bakım maliyetine eşit

kabul edilmiştir. Tüm maliyet hesaplamalarında faiz oranı sabit ve $i = \%5$ varsayılmıştır.

Ayrıca literatürdeki çalışmalar $DPSP \leq 10^{-1}$ yeterli olacağını ifade etmiştir fakat bu uygulamada istenen DPSP değeri için 10^{-2} sınırı kabul edilmiştir ($DPSP_{desired} = 0,01$). Lorenzo ve Narvarte (2000) de benzer şekilde $LLP \leq 10^{-2}$ varsayılmıştır. Dolayısıyla boyutlandırma sırasında hesaplanan DPSP, istenen DPSP değerinden büyükse bu konfigürasyon elenecektir.

5.4.2 Model-1 sonuçları

Boyutlandırma modellerini uygulamadan önce, aylık ortalama günlük toplam küresel güneş radyasyonu, sıcaklık ve su ihtiyaçları tahminleri hesaplanmıştır. Geliştirilen deneme-8 hibrid bulanık zaman serisi modeli en başarılı sonuçları ürettiği için, radyasyon ve sıcaklık tahminleri bu yöntemle elde edilmiştir. Geçmiş veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Radyasyon verileri Haziran 2003-Temmuz 2009 tarihlerine ait, $W.dak/m^2$ birimiyle günlük toplam şeklinde verilmiştir. Bu veriler 60 ile bölünerek Wh/m^2 birimine dönüştürülmüştür. Boyutlandırma uygulamasında ayrıca W/m^2 cinsinden radyasyon değerlerine ihtiyaç olduğu için, Wh/m^2 değerleri güneşlenme süresine bölünmüştür. Güneşlenme süreleri SoDa internet sitesinden alınmıştır. Burada aylık olarak güneşlenme saatleri % şeklinde verilmiştir. 24 saat üzerinden % değerler hesaplanarak, aylık güneşlenme süreleri saat cinsinden elde edilmiştir. Radyasyon verisinin tahminleri, deneme-8 modeliyle $MSE = 0,098$ hataya sahiptir. Sırasıyla en az tahmin hataları Singh (2008) modeliyle ($MSE = 1,907$), deneme-7 modeliyle ($MSE = 2,029$), Chen (2002) modeliyle ($MSE = 2,481$) ve deneme-4 modeliyle ($MSE = 93,382$) elde edilmiştir. Bulanık zaman serisi yöntemlerinde önce mevsimsel indekslerle arındırma gerçekleştirilmiş, son tahminler için indekslerle çarpılmıştır. Klasik zaman serileri yöntemleriyle daha büyük hatalar hesaplanmıştır. Meteoroloji'den sağlanan sıcaklık verileri, Haziran 2003-Aralık 2013 tarihlerine ait ve birimi $^{\circ}C$ 'dir. Sıcaklık verisinin tahminlerinde, deneme-8 modeliyle $MSE = 0,140$ hata elde edilmiştir. Diğer yöntemlerde sırasıyla deneme-7 modeli ($MSE = 0,192$), Singh (2008) modeli ($MSE = 0,837$), klasik mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemi ($MSE = 0,891$) ve logaritma dönüşümüyle $ARIMA(1,1,1)x(0,1,0)_{12}$ modeli ($MSE = 1,650$) başarılı olmuştur.

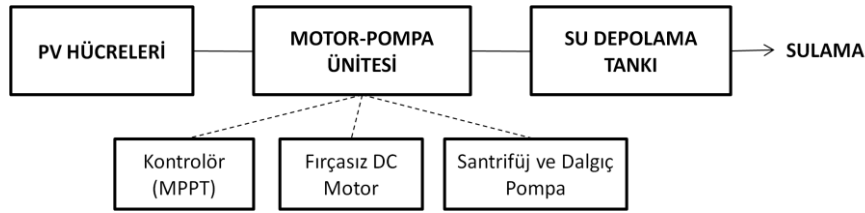
Su ihtiyaçları ise Climwat veritabanından Antalya verilerinin indirilmesi ve Cropwat programına girilmesiyle elde edilmiştir. Cropwat ile Antalya'ya ait nem oranı, rüzgar hızı, sıcaklık, güneşlenme ve radyasyon gibi değerlere dayanarak bitki su tüketimi (ET_0) değerleri hesaplanmıştır. Ardından bölgenin etkin yağışı, seçilen bitki tipi (limon) ve toprak tipi (orta-killi) kullanılarak, bitki katsayısı (k_c), bitki su ihtiyacı (ET_c) ve son olarak etkin yağışın çıkarılmasıyla net sulama ihtiyaçları elde edilmiştir. Program 1 yıla ait su ihtiyaçlarını 10 günlük değerler şeklinde *mm* birimiyle üretmektedir. Bu çalışmada aylık toplamalar alınmış ve her yıla ait su ihtiyacı eşit kabul edilerek geleceğe yönelik değerler hesaplanmıştır. PV sulama sisteminin 2014 yılından itibaren 25 yıl çalışacağı varsayılarak, 25 yıllık analiz gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle 2039 yılına kadar tüm tahminler hesaplanmıştır.

Ayrıca optimal eğim açısı araştırılmış ve bu amaçla MATLAB'ta program yazılmıştır. Antalya için toplam yatay küresel radyasyon değerleri ve enlem bilgisi kullanılarak deklinasyon açısı δ , yerel saat açısı ω_s , güneş batış saati açısı ω_{ST} , $\bar{R}_b$, $\bar{R}_d$, $\bar{R}_r$ katsayıları hesaplanmıştır. Azimut açısı $\gamma = 0$ kabul edilerek PV panellerinin güneye baktığı varsayılmıştır. Toplam yatay küresel radyasyon değerleri ($\bar{H}$), atmosfer dışı yatay radyasyon ($\bar{H}_o$) ve açıklık indeksi ($\bar{K}_T$) hesaplamalarıyla dağınık radyasyonlar ($\bar{H}_d$) bulunmuş, tüm radyasyon bileşenlerin toplanmasıyla her farklı eğim açısı için eğik radyasyon ($\bar{H}_T$) değerlerine ulaşılmıştır. PV panel yüzeyine düşen eğik radyasyon değerleri $0 - 90^\circ$ arasındaki tüm açılar için hesaplanmış, maksimum değeri veren aı optimal eğim açısı olarak seçilmiştir. Belirlenen optimal eğim sayesinde maksimum güneş enerjisi elde edilebilmiştir.

Bu aşamada MATLAB programında aylık, mevsimsel (3 aylık), yıllık optimal eğim açıları bulunmuştur. Test amacıyla enleme eşit açı ($36,53^\circ$) ve yılda iki defa değişmek üzere enlem- 15° (yaz için) ve enlem+ 15° (kış için) açıları da denenmiştir. Sonuçlar en büyük eğik radyasyon değerleri aylık eğim açısı değişiminde elde edilmiştir. Daha sonra sırasıyla mevsimsel, yıllık, enlem ve enlem $\pm 15^\circ$ şeklinde bulunmuştur. Aylık değişime göre mevsimsel aı %1,17, yıllık aı %5,85, enlem %6,25, enlem $\pm 15^\circ$ ise %7,26 kayıplara neden olmuştur. Aylık açı değişimi masraflı olacağı için, en azından mevsimsel ve yıllık açılar uygulamada dikkate alınmıştır.

Senaryo 1: Su depolama tankı ve sabit eğim açısı

Bu senaryodaki sistem bileşenleri sırasıyla, sabit eğim açısıyla yerleştirilmiş PV dizisi, motor-pompa ünitesi ve su depolama tankı olmaktadır (Şekil 5.31). Yıllık sabit olan optimal eğim açısı, radyasyon tahmin verileri kullanılarak $\beta = 34^\circ$ olarak bulunmuştur. Bu açıya göre eğik radyasyon değerleri hesaplanmıştır. Tahmin edilen sıcaklık, su ihtiyacı ve eğik radyasyon değerleri hem Wh/m^2 hem de W/m^2 olarak Model-1'e girdi olarak kaydedilmiştir.



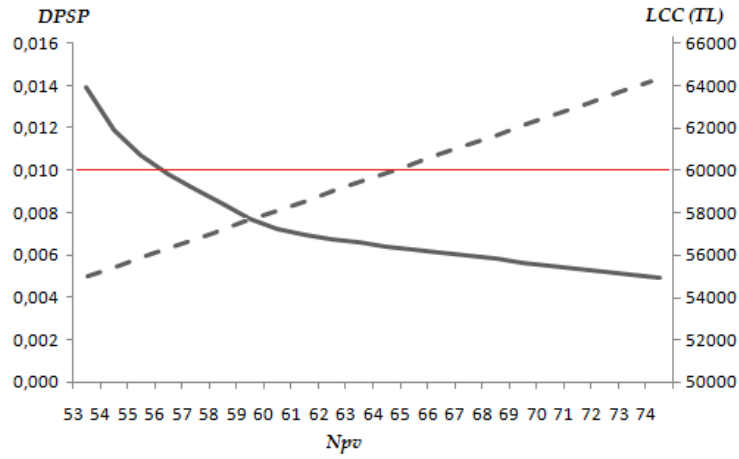
Şekil 5.31 : Senaryo-1 ve 2 için sistem bileşenleri.

Model-1 çalıştırılarak PV modül sayısı ve tank için depolama günü sayısı değerleri test edilerek en iyi güvenilirlik ve maliyet sonucunu üreten boyut konfigürasyonları elde edilmiştir. Buna göre $DPSP \leq 0,01$ olan konfigürasyonlar için LCC (TL) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.13'te listelenmiştir.

Çizelge 5.13 : Model-1 (senaryo-1) DPSP ve LCC sonuçları.

Nsd Npv	1		2		3		4		5	
	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC
53	0,01839	-	0,01393	-	0,00923	58702,39	0,00858	63925,89	0,00827	79886,59
54	0,01645	-	0,01189	-	0,00717	59213,69	0,00663	64437,19	0,00649	69660,69
55	0,01522	-	0,01076	-	0,00614	59724,98	0,00568	64948,48	0,00558	70171,99
56	0,01431	-	0,00986	55012,77	0,00524	60236,28	0,00477	65459,78	0,00470	70683,28
57	0,01353	-	0,00910	55524,07	0,00451	60747,57	0,00409	65971,07	0,00402	71194,58
58	0,01285	-	0,00842	56035,36	0,00383	61258,87	0,00341	66482,37	0,00334	71705,87
59	0,01217	-	0,00774	56546,66	0,00315	61770,16	0,00273	66993,66	0,00266	72217,17
60	0,01177	-	0,00727	57057,95	0,00265	62281,46	0,00225	67504,96	0,00222	72728,46
61	0,01144	-	0,00697	57569,25	0,00239	62792,75	0,00199	68016,25	0,00199	73239,76
62	0,01118	-	0,00675	58080,55	0,00220	63304,05	0,00184	68527,55	0,00184	68527,55
63	0,01103	-	0,00660	58591,84	0,00205	63815,34	0,00169	73751,05	0,00169	73751,05
64	0,01088	-	0,00644	59103,14	0,00189	64326,64	0,00153	69550,14	0,00153	69550,14
65	0,01073	-	0,00629	59614,43	0,00174	64837,93	0,00138	74773,64	0,00138	74773,64
66	0,01057	-	0,00614	60125,73	0,00159	65349,23	0,00123	70572,73	0,00123	70572,73
67	0,01042	-	0,00599	60637,02	0,00144	65860,52	0,00108	75796,23	0,00108	75796,23
68	0,01027	-	0,00584	61148,32	0,00128	66371,82	0,00092	71595,32	0,00092	71595,32
69	0,01012	-	0,00568	61659,61	0,00113	66883,11	0,00077	76818,82	0,00077	76818,82
70	0,00996	56947,40	0,00553	62170,91	0,00098	67394,41	0,00062	72617,91	0,00062	72617,91
71	0,00981	57458,70	0,00538	62682,20	0,00083	67905,70	0,00047	77841,41	0,00047	77841,41
72	0,00966	57969,99	0,00523	63193,50	0,00067	68417,00	0,00031	73640,50	0,00031	73640,50
73	0,00951	58481,29	0,00507	63704,79	0,00052	68928,29	0,00016	78864,00	0,00016	78864,00
74	0,00944	58992,59	0,00496	64216,09	0,00041	69439,59	0,00005	74663,09	0,00005	74663,09

Görüldüğü üzere DPSP değeri azaldıkça, yani güvenilirlik arttıkça, maliyetler de artmaktadır. Minimum maliyeti veren optimal konfigürasyon 56 adet PV modülü ve 2 günlük depolama (tank hacmi $25m^3$) şeklinde bulunmuştur. Buna göre DPSP=0,00986 ve LCC=55.012,77 TL olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.32’de 2 günlük depolama için DPSP eğrisi düz çizgiyle, LCC eğrisi kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Bu grafikte DPSP değeri düştükçe, maliyetin arttığı görülmektedir. DPSP istenilen düzeyden küçük olduğunda, en düşük maliyet $Npv = 56$ değerinde görüldüğü için optimal boyut olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla toplam 14 kWp’lık bir sistem gerekmektedir. Seri ve paralel bağlı olacak modül sayılarına, diğer bileşenlerin akım ve voltaj değerlerine göre karar verilir. Kurulum sırasında, 56 PV modülünün en az 4 tanesi seri bağlı olacak şekilde tasarlanmalıdır.



Şekil 5.32 : Model-1 (senaryo-1), 2 günlük depolama için DPSP ve LCC eğrileri.

PV sulama sisteminin toplam maliyeti (LCC), yıllık kullanım maliyetine (ALCC) dönüştürüldüğünde 3.903,29 TL hesaplanmıştır. Bunun için 5.83 denklemi uygulanmıştır ($i = \%5$ ve $n_{sys} = 25$). Hesaplanan ALCC değerinin, yıllık toplam üretilen güneş enerjisi değerine bölünmesiyle, PV ile üretilen elektriğin birim maliyeti bulunmuştur. 25 yıllık birim maliyet yaklaşık olarak 0,22 TL/kWh hesaplanmıştır.

$$ALCC = LCC * \left[\frac{(1+i)^{n_{sys}} * i}{(1+i)^{n_{sys}} - 1} \right] \quad (5.83)$$

TEDAŞ'ın 2014 verilerine göre çiftçinin tarımsal sulama için elektrik birim fiyatı 0,25 TL/kWh'tir. Bu fiyat vergilerle (enerji fonu vergisi, trt payı, elektrik tüketim vergisi, kdv, trafo ve elektrik iletim kayıpları) birlikte 0,34 TL/kWh olmaktadır. Dolayısıyla PV sulama sistemiyle birim maliyetin düştüğü görülmüştür.

Senaryo 2: Su depolama tankı ve mevsimsel eğim açısı

Bu senaryoda optimal eğim açıları 4 mevsim için ayrı hesaplanmıştır. Sonuçlara göre Ocak-Şubat-Mart ayları için $\beta_1 = 52^\circ$, Nisan-Mayıs-Haziran ayları için $\beta_2 = 4^\circ$, Temmuz-Ağustos-Eylül ayları için $\beta_3 = 13^\circ$ ve Ekim-Kasım-Aralık ayları için $\beta_4 = 59^\circ$ eğim açıları bulunmuştur. Bu açılara göre eğik radyasyon değerleri elde edilmiş ve Model-1'e girilmiştir. Tüm PV modül sayısı ve tank için depolama günü sayısı değerleri test edilerek en iyi güvenilirlik ve maliyet sonucunu üreten boyut konfigürasyonları elde edilmiş, $DPSP \leq 0,01$ olan konfigürasyonlar için LCC (TL) değerleri Çizelge 5.14'te listelenmiştir.

Çizelge 5.14 : Model-1 (senaryo-2) DPSP ve LCC sonuçları.

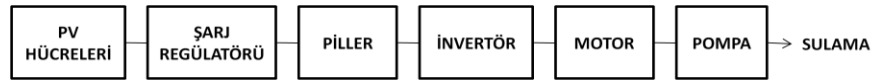
Nsd Npv	1		2		3		4		5	
	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC
50	0,02009	-	0,01421	-	0,01178	-	0,01023	-	0,00908	71748,32
51	0,01527	-	0,00940	59808,79	0,00743	65387,46	0,00673	70966,13	0,00642	72294,38
52	0,01366	-	0,00776	56104,44	0,00585	61683,11	0,00530	67261,77	0,00520	72840,44
53	0,01272	-	0,00685	56650,50	0,00498	62229,17	0,00446	67807,83	0,00436	73386,50
54	0,01188	-	0,00601	57196,56	0,00413	62775,23	0,00365	68353,90	0,00359	73932,56
55	0,01123	-	0,00533	57742,62	0,00343	63321,29	0,00295	68899,96	0,00288	74478,63
56	0,01062	-	0,00472	58288,68	0,00282	63867,35	0,00234	69446,02	0,00230	75024,69
57	0,01014	-	0,00427	58834,74	0,00240	64413,41	0,00196	69992,08	0,00192	75570,75
58	0,00986	53802,13	0,00400	59380,80	0,00213	64959,47	0,00168	70538,14	0,00165	76116,81
59	0,00959	54348,19	0,00372	59926,86	0,00188	65505,53	0,00146	71084,20	0,00146	71084,20
60	0,00942	54894,25	0,00356	60472,92	0,00171	66051,59	0,00130	76662,87	0,00130	76662,87
61	0,00925	55440,31	0,00339	61018,98	0,00154	66597,65	0,00113	72176,32	0,00113	72176,32
62	0,00909	55986,37	0,00322	61565,04	0,00138	67143,71	0,00096	77754,99	0,00096	77754,99
63	0,00892	56532,43	0,00306	62111,10	0,00121	67689,77	0,00080	73268,44	0,00080	73268,44
64	0,00875	57078,49	0,00289	62657,16	0,00104	68235,83	0,00063	78847,11	0,00063	78847,11
65	0,00859	57624,55	0,00272	63203,22	0,00088	68781,89	0,00046	74360,56	0,00046	74360,56
66	0,00842	58170,61	0,00256	63749,28	0,00071	69327,95	0,00030	79939,23	0,00030	79939,23
67	0,00825	58716,67	0,00239	64295,34	0,00054	69874,01	0,00013	75452,68	0,00013	75452,68
68	0,00819	59262,73	0,00226	64841,40	0,00041	70420,07	0,00000	81031,35	0,00000	81031,35
69	0,00819	59808,79	0,00226	65387,46	0,00041	70966,13	0,00000	75998,74	0,00000	75998,74
70	0,00819	59262,73	0,00226	64841,40	0,00041	70420,07	0,00000	76544,80	0,00000	76544,80
71	0,00819	59808,79	0,00226	65387,46	0,00041	70966,13	0,00000	75998,74	0,00000	75998,74
72	0,00819	59262,73	0,00226	64841,40	0,00041	70420,07	0,00000	76544,80	0,00000	76544,80
73	0,00819	59808,79	0,00226	65387,46	0,00041	70966,13	0,00000	75998,74	0,00000	75998,74
74	0,00819	59262,73	0,00226	64841,40	0,00041	70420,07	0,00000	76544,80	0,00000	76544,80

Buna göre minimum maliyeti veren optimal konfigürasyon 58 adet PV modülü ve 1 günlük depolama (tank hacmi $13m^3$) şeklinde bulunmuştur. $DPSP=0,00986$ ve

LCC=53.802,13 TL olarak hesaplanmıştır. Mevsimsel açı değişiminde daha yüksek güneş enerjisi elde edilebildiği için, yıllık sabit açığa göre sonuçlar farklı çıkmıştır. Aynı konfigürasyonlar için DPSP değeri daha düşük, maliyet ise ek işçilikten ötürü daha yüksek bulunmuştur. Burada toplam 14,5 kWp'lık bir sistem gerekmektedir. Kurulum sırasında en az 4 tane PV modülün seri bağlanmasına dikkat edilmelidir. Üretilen elektriğin birim maliyeti yaklaşık olarak 0,20 TL/kWh hesaplanmıştır. Senaryo-1'e göre daha iyi bir sonuç elde edilmiştir.

Senaryo 3: Pil ve sabit eğim açısı

Senaryo-1'den farklı olarak tank yerine pil kullanıldığı varsayılmıştır. Bu senaryodaki sistem bileşenleri bağlı oldukları sırayla, sabit eğim açısıyla yerleştirilmiş PV dizisi, şarj regülatörü, pil, invertör, motor ve pompa olmaktadır (Şekil 5.33).



Şekil 5.33 : Senaryo-3 ve 4 için sistem bileşenleri.

Tüm PV modül sayısı ve pil sayısı değerleri test edilerek en iyi güvenilirlik ve maliyet sonucunu üreten boyut konfigürasyonları elde edilmiş, $DPSP \leq 0,01$ olan konfigürasyonlar için LCC (TL) değerlerinin bir kısmı Çizelge 5.15'te listelenmiştir.

Çizelge 5.15 : Model-1 (senaryo-3) DPSP ve LCC sonuçları.

Nbat Npv	1		2		3		4		5	
	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC
37	0,00753	95623,07	0,00559	97052,30	0,00385	122623,16	0,00248	122623,16	0,00342	122623,16
38	0,00536	96134,37	0,00481	97563,59	0,00452	98992,81	0,00439	100422,03	0,00456	101851,25
39	0,00458	96645,66	0,00362	98074,89	0,00321	99504,11	0,00299	100933,33	0,00300	102362,55
40	0,00348	97156,96	0,00298	98586,18	0,00248	100015,40	0,00221	101444,62	0,00207	102873,84
41	0,00251	107077,94	0,00201	108507,16	0,00150	109936,38	0,00109	111365,60	0,00087	112794,82
42	0,00204	107589,23	0,00183	109018,45	0,00161	110447,67	0,00139	111876,90	0,00140	113306,12
43	0,00175	108100,53	0,00182	109529,75	0,00188	110958,97	0,00195	112388,19	0,00202	113817,41
44	0,00171	108611,82	0,00178	110041,04	0,00185	111470,27	0,00193	112899,49	0,00200	114328,71
45	0,00149	109123,12	0,00156	110552,34	0,00164	111981,56	0,00171	113410,78	0,00178	114840,00
46	0,00127	109634,41	0,00134	111063,63	0,00142	112492,86	0,00149	113922,08	0,00156	115351,30
47	0,00105	110145,71	0,00113	111574,93	0,00120	113004,15	0,00127	114433,37	0,00134	115862,59
48	0,00083	110657,00	0,00091	112086,22	0,00098	113515,45	0,00105	114944,67	0,00112	116373,89
49	0,00061	120577,98	0,00069	122007,20	0,00076	123436,42	0,00083	124865,64	0,00090	126294,87
50	0,00040	121089,28	0,00047	122518,50	0,00054	123947,72	0,00061	125376,94	0,00068	126806,16
51	0,00018	121600,57	0,00025	123029,79	0,00032	124459,01	0,00039	125888,23	0,00046	127317,46
52	0,00000	122111,87	0,00000	122111,87	0,00000	122111,87	0,00000	122111,87	0,00000	122111,87

Toplam liste $N_{bat} = 17$ ve $N_{pv} = 74$ değerlerine kadar oluşturulduğu ve en düşük maliyetler küçük panel ve pil sayılarında elde edildiği için, burada toplam listenin bir bölümü gösterilmiştir. Buna göre minimum maliyeti veren optimal konfigürasyon 37 adet PV modülü ve 1 adet pil şeklinde bulunmuştur. Burada bulunan pil sayısı 2 pilin seri bağlanmasından oluştuğu için, aslında 2 adet pil gerekmektedir. $DPSP=0,00753$ ve $LCC=95.623,07$ TL olarak hesaplanmıştır. Senaryo-1 ile kıyaslandığında, pil kullanımının daha iyi güvenilirlik değerine sahip olduğu görülmüştür. Toplam $9,25 \text{ kWp}$ 'lik bir sistem gerekmektedir. Kurulum sırasında en az 2, en fazla 4 tane PV modülü seri bağlanabilir. Bu sistem için 5 tane şarj regülatörü kullanılmaktadır. Üretilen elektriğin birim maliyeti yaklaşık olarak $0,58 \text{ TL/kWh}$ hesaplanmıştır. Dolayısıyla pil kullanımı, senaryo-1 sonuçlarıyla kıyaslandığında, maliyetleri oldukça arttırmaktadır.

Ayrıca pillerin genellikle kurşun-asitten oluşması nedeniyle geri dönüşümleri çevre için tehlikelidir. Bunun yanı sıra, sistem güvenilirliği iyileşmektedir. Pil kullanımı, depolanan elektriğin ikinci bir amaca (örneğin; aydınlatma, ev ihtiyacı) hizmet etmesi durumunda tercih edilebilir bir seçenektir. Ek olarak, bu örnekte varsayılan pillerin maliyeti, teknoloji geliştirildikçe düşebilmektedir. Lityum iyon veya yeni geliştirilen sıvı piller sayesinde enerji depolamanın maliyeti azaltılabilecektir.

Senaryo 4: Pil ve mevsimsel eğim açısı

Burada ise Senaryo-2'den farklı olarak tank yerine pil kullanıldığı varsayılmıştır. Tüm PV modül sayısı ve pil sayısı değerleri test edilerek en iyi güvenilirlik ve maliyet sonucunu üreten boyut konfigürasyonları elde edilmiş, $DPSP \leq 0,01$ olan konfigürasyonlar için LCC (TL) değerlerinin bir kısmı Çizelge 5.16'da listelenmiştir.

Buna göre minimum maliyeti veren optimal konfigürasyon 35 adet PV modülü ve 2 adet pil (1x2 seri pil) şeklinde bulunmuştur. $DPSP=0,00574$ ve $LCC=98.069,47$ TL olarak hesaplanmıştır. Senaryo-3'e göre daha az modül sayısı ve DPSP elde edilmiştir. LCC ise ek işçilik nedeniyle biraz artmıştır. Senaryo-2 ile kıyaslandığında, pil kullanımının güvenilirlik açısından daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Burada toplam $8,75 \text{ kWp}$ 'lik bir sistem gerekmektedir. Kurulum sırasında en az 2, en fazla 4 tane PV modülü seri bağlanabilir. Bu sistem için de 5 tane şarj regülatörü kullanılmaktadır. Üretilen elektriğin birim maliyeti yaklaşık olarak $0,60 \text{ TL/kWh}$ hesaplanmıştır. Dolayısıyla pil kullanımıyla güvenilirlik iyileşmiş fakat maliyetler

oldukça artmıştır. Piller ancak sulama sistemi dışında başka uygulamalar için eş zamanlı olarak kullanılabilirse tercih edilebilecektir.

Çizelge 5.16 : Model-1 (senaryo-4) DPSP ve LCC sonuçları.

Nbat Npv	1		2		3		4		5	
	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC	DPSP	LCC
35	0,00574	98069,47	0,00495	124991,45	0,00441	100997,45	0,00408	102461,43	0,00395	103925,42
36	0,00445	98615,53	0,00373	100079,52	0,00325	101543,51	0,00298	103007,49	0,00283	104471,48
37	0,00397	99161,59	0,00347	100625,58	0,00298	102089,57	0,00257	103553,55	0,00241	105017,54
38	0,00267	99707,65	0,00208	101171,64	0,00158	102635,63	0,00112	104099,61	0,00225	105563,60
39	0,00218	100253,71	0,00253	101717,70	0,00259	103181,69	0,00265	104645,67	0,00272	106109,66
40	0,00173	100799,78	0,00178	102263,76	0,00184	103727,75	0,00191	105191,73	0,00198	106655,72
41	0,00133	110984,40	0,00122	112448,39	0,00129	113912,38	0,00136	115376,36	0,00143	116840,35
42	0,00130	111530,46	0,00137	112994,45	0,00144	114458,44	0,00151	115922,42	0,00158	117386,41
43	0,00106	112076,52	0,00113	113540,51	0,00120	115004,50	0,00127	116468,48	0,00134	117932,47
44	0,00082	112622,58	0,00089	114086,57	0,00096	115550,56	0,00103	117014,54	0,00110	118478,53
45	0,00058	113168,64	0,00065	114632,63	0,00072	116096,62	0,00079	117560,60	0,00086	119024,59
46	0,00034	113714,70	0,00041	115178,69	0,00048	116642,68	0,00055	118106,66	0,00062	119570,65
47	0,00010	114260,76	0,00017	115724,75	0,00024	117188,74	0,00031	118652,72	0,00038	120116,71
48	0,00000	114806,82	0,00000	114806,82	0,00000	114806,82	0,00000	114806,82	0,00000	114806,82
49	0,00000	124991,45	0,00000	124991,45	0,00000	124991,45	0,00000	124991,45	0,00000	124991,45
50	0,00000	114806,82	0,00000	114806,82	0,00000	114806,82	0,00000	114806,82	0,00000	114806,82

Tüm senaryolar için optimal boyutlandırma sonuçları Çizelge 5.17’de özetlenmiştir. Tank kullanılan senaryolar için PV sulama sistemiyle elde edilen birim elektrik maliyetinin, mevcut elektrik fiyatından daha düşük olduğu görülmüştür. Fakat pil kullanılan senaryolarda birim elektrik maliyeti, mevcut fiyatın üstünde çıkmıştır. Bu nedenle pil yerine depolama tankı kullanımı, PV sulama sistemlerinin %95’inde uygulanmaktadır (Oi, 2005).

Çizelge 5.17 : Model-1 için optimal boyutlandırma sonuçları (aylık veri).

Senaryo	Optimal PV modül sayısı	Optimal depolama kapasitesi	DPSP değeri	LCC (TL) değeri	Üretilen elektriğin birim maliyeti
1	56 (14 kWp)	2 gün (tank hacmi 25 m ³)	0,00986	55.012,77	0,22 TL/kWh
2	58 (14,5 kWp)	1 gün (tank hacmi 13 m ³)	0,00986	53.802,13	0,20 TL/kWh
3	37 (9,25 kWp)	2 adet pil	0,00753	95.623,07	0,58 TL/kWh
4	35 (8,75 kWp)	2 adet pil	0,00574	98.069,47	0,60 TL/kWh

5.4.3 Model-2 sonuçları

Model-1’de kullanılan girdi verileri, radyasyon, sıcaklık ve su ihtiyaçlarının uzun dönemli tahminleri ve hesaplanan optimal eğim açıları Model-2’de de kullanılmıştır. Ancak önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, analitik çözüm sürecinde aylık veri

sıklığının uygulanabilirliği düşüktür ve hesaplama süresi uzayacaktır. Bu nedenle radyasyon, sıcaklık ve su ihtiyacı verilerinde yıllık ortalamalarla işlemler yapılmıştır. Yıllık ortalamalar kullanıldığı için, optimal boyutlandırma sonuçları aylık veriye göre farklı elde edilmiştir.

Senaryo 1: Su depolama tankı ve sabit eğim açısı

Analitik modele ilgili veriler girildikten sonra optimizasyon çalıştırılmıştır. Burada Model-1'e ilave olarak, bütçe sınırı 100.000 TL şeklinde eklenmiştir. Bunun sebebi, daha yüksek maliyetteki alternatifleri değerlendirmemektir. İstenen DPSP sınırı 0,01 olarak tekrarlanmıştır. LINDO programıyla elde edilen optimal boyutlandırma sonuçları, Model-1'in yıllık verilere uygulanmış sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, Model-2'nin Model-1'e yakın boyutlar hesapladığı ve başarılı olduğu görülmüştür.

Senaryo-1 (s-1) için Model-2 ve Model-1 uygulanmasıyla elde edilen her yıla ait DPSP, LCC, Npv ve Nsd sonuçları Çizelge 5.18'de gösterilmiştir. Buna göre Model-2 ortalama 22 adet PV modülü ve 1 günlük depolama önermektedir. 2003 yılı yalnızca 6 aylık veriye sahip olduğu için ortalamada dikkate alınmamıştır. Model-1 ise ortalama 20 adet PV modülü, 1 günlük depolama önermektedir.

Model-2 sonuçlarına göre ortalama maliyet LCC=31.787,45 TL ve DPSP=0,000 olarak hesaplanmıştır. Model-1 için bu değerler LCC=31.470,30 TL ve DPSP=0,003 bulunmuştur. Model-2'nin sonuçlarına çok yakındır. Dolayısıyla çok amaçlı optimizasyon modelinin analitik çözümü başarılı bulunmuştur. Model-2'ye göre toplam 5,5 *kWp*'lık bir sistem gerekmektedir. Yıllık ortalama kullanıldığı için, aylık değerlere göre daha düşük boyutlarla gerekli su ihtiyacı karşılanmaktadır. Fakat üretilen elektriğin birim maliyeti yaklaşık olarak 0,32 TL/kWh olmaktadır.

Çizelge 5.18 : Model-2 ile Model-1'in optimal boyutlandırma sonuçları (s-1).

Model-2					Model-1				
Yıl	DPSP	LCC	Npv	Nsd	Yıl	DPSP	LCC	Npv	Nsd
2003	0,000	39322,70	36	1	2003	0,010	39563,37	36	1
2004	0,000	32835,05	24	1	2004	0,000	32405,24	22	1
2005	0,000	32943,14	24	1	2005	0,005	32405,24	22	1
2006	0,000	32605,63	23	1	2006	0,022	31893,94	21	1
2007	0,000	33288,78	25	1	2007	0,071	31893,94	21	1
2008	0,000	31710,83	21	1	2008	0,000	31382,64	20	1
2009	0,000	31999,48	22	1	2009	0,019	31382,64	20	1
2010	0,000	31774,24	22	1	2010	0,000	31382,64	20	1
2011	0,000	31722,89	21	1	2011	0,000	31382,64	20	1
2012	0,000	31743,15	22	1	2012	0,000	31382,64	20	1
2013	0,000	31749,35	22	1	2013	0,000	31382,64	20	1
2014	0,000	31605,66	21	1	2014	0,000	31382,64	20	1
2015	0,000	31606,76	21	1	2015	0,000	31382,64	20	1
2016	0,000	31606,76	21	1	2016	0,000	31382,64	20	1
2017	0,000	31607,31	21	1	2017	0,000	31382,64	20	1
2018	0,000	31607,31	21	1	2018	0,000	31382,64	20	1
2019	0,000	31607,31	21	1	2019	0,000	31382,64	20	1
2020	0,000	31607,31	21	1	2020	0,000	31382,64	20	1
2021	0,000	31607,31	21	1	2021	0,000	31382,64	20	1
2022	0,000	31607,31	21	1	2022	0,000	31382,64	20	1
2023	0,000	31607,31	21	1	2023	0,000	31382,64	20	1
2024	0,000	31607,86	21	1	2024	0,000	31382,64	20	1
2025	0,000	31607,86	21	1	2025	0,000	31382,64	20	1
2026	0,000	31607,86	21	1	2026	0,000	31382,64	20	1
2027	0,000	31607,86	21	1	2027	0,000	31382,64	20	1
2028	0,000	31607,86	21	1	2028	0,000	31382,64	20	1
2029	0,000	31607,86	21	1	2029	0,000	31382,64	20	1
2030	0,000	31607,86	21	1	2030	0,000	31382,64	20	1
2031	0,000	31607,86	21	1	2031	0,000	31382,64	20	1
2032	0,000	31607,86	21	1	2032	0,000	31382,64	20	1
2033	0,000	31607,86	21	1	2033	0,000	31382,64	20	1
2034	0,000	31607,86	21	1	2034	0,000	31382,64	20	1
2035	0,000	31607,86	21	1	2035	0,000	31382,64	20	1
2036	0,000	31607,86	21	1	2036	0,000	31382,64	20	1
2037	0,000	31607,86	21	1	2037	0,000	31382,64	20	1
2038	0,000	31607,86	21	1	2038	0,000	31382,64	20	1

Senaryo 2: Su depolama tankı ve mevsimsel eğim açısı

Senaryo-2 (s-2) için Model-2 ve Model-1 uygulanmasıyla elde edilen her yıla ait DPSP, LCC, Npv ve Nsd sonuçları Çizelge 5.19'da gösterilmiştir. Buna göre Model-2 ortalama 21 adet PV modülü ve 1 günlük depolama önermektedir (2003 yılı hariç). Model-1 ise ortalama 19 adet PV modülü, 1 günlük depolama önermektedir. Model-2 sonuçlarına göre ortalama maliyet LCC=32.983,40 TL ve DPSP=0,000, Model-1 için ise LCC=32.599,39 TL ve DPSP=0,005 olarak hesaplanmıştır. Model-2'ye göre toplam 5,25 *kWp*'lık bir sistem gerekmektedir. Üretilen elektriğin birim maliyeti ise yaklaşık olarak 0,34 TL/kWh olmaktadır. Dolayısıyla, yıllık sabit açığa göre PV modül sayısı azalmış fakat maliyetler artmıştır.

Çizelge 5.19 : Model-2 ile Model-1'in optimal boyutlandırma sonuçları (s-2).

Model-2					Model-1				
Yıl	DPSP	LCC	Npv	Nsd	Yıl	DPSP	LCC	Npv	Nsd
2003	0,000	40686,16	35	1	2003	0,023	40696,68	34	1
2004	0,000	34061,75	23	1	2004	0,000	33597,90	21	1
2005	0,000	34183,55	23	1	2005	0,009	33597,90	21	1
2006	0,000	33827,72	22	1	2006	0,027	33051,84	20	1
2007	0,000	34560,84	24	1	2007	0,079	33051,84	20	1
2008	0,000	32887,84	21	1	2008	0,001	32505,78	19	1
2009	0,000	33208,64	21	1	2009	0,026	32505,78	19	1
2010	0,000	32968,53	21	1	2010	0,007	32505,78	19	1
2011	0,000	32915,70	21	1	2011	0,003	32505,78	19	1
2012	0,000	32936,54	21	1	2012	0,005	32505,78	19	1
2013	0,000	32942,93	21	1	2013	0,005	32505,78	19	1
2014	0,000	32795,08	20	1	2014	0,000	32505,78	19	1
2015	0,000	32796,21	20	1	2015	0,000	32505,78	19	1
2016	0,000	32796,21	20	1	2016	0,000	32505,78	19	1
2017	0,000	32796,78	20	1	2017	0,000	32505,78	19	1
2018	0,000	32796,78	20	1	2018	0,000	32505,78	19	1
2019	0,000	32796,78	20	1	2019	0,000	32505,78	19	1
2020	0,000	32796,78	20	1	2020	0,000	32505,78	19	1
2021	0,000	32796,78	20	1	2021	0,000	32505,78	19	1
2022	0,000	32796,78	20	1	2022	0,000	32505,78	19	1
2023	0,000	32796,78	20	1	2023	0,000	32505,78	19	1
2024	0,000	32797,34	20	1	2024	0,000	32505,78	19	1
2025	0,000	32797,34	20	1	2025	0,000	32505,78	19	1
2026	0,000	32797,34	20	1	2026	0,000	32505,78	19	1
2027	0,000	32797,34	20	1	2027	0,000	32505,78	19	1
2028	0,000	32797,34	20	1	2028	0,000	32505,78	19	1
2029	0,000	32797,34	20	1	2029	0,000	32505,78	19	1
2030	0,000	32797,34	20	1	2030	0,000	32505,78	19	1
2031	0,000	32797,34	20	1	2031	0,000	32505,78	19	1
2032	0,000	32797,34	20	1	2032	0,000	32505,78	19	1
2033	0,000	32797,34	20	1	2033	0,000	32505,78	19	1
2034	0,000	32797,34	20	1	2034	0,000	32505,78	19	1
2035	0,000	32797,34	20	1	2035	0,000	32505,78	19	1
2036	0,000	32797,34	20	1	2036	0,000	32505,78	19	1
2037	0,000	32797,34	20	1	2037	0,000	32505,78	19	1
2038	0,000	32797,34	20	1	2038	0,000	32505,78	19	1

Senaryo 3: Pil ve sabit eğim açısı

Senaryo-3 (s-3) için Model-2 ve Model-1 uygulanmasıyla elde edilen her yıla ait DPSP, LCC, Npv ve Nbat sonuçları Çizelge 5.20'de gösterilmiştir. Buna göre Model-2 ortalama 15 adet PV modülü ve 2 adet pil önermektedir (2003 yılı hariç). Model-1 ise ortalama 11 adet PV modülü, 2 adet pil önermektedir. Model-2 sonuçlarına göre ortalama maliyet LCC=55.779,48 TL ve DPSP=0,000, Model-1 için ise LCC=54.290,26 TL ve DPSP=0,000 olarak hesaplanmıştır. Model-2'ye göre toplam 3,75 kWp'lık bir sistem gerekmektedir. Bu sistem için 2 tane şarj regülatörü kullanılmaktadır. Üretilen elektriğin birim maliyeti ise yaklaşık olarak 0,84 TL/kWh olmaktadır. Tank yerine pil kullanıldığında, PV modül sayısı azalmış fakat maliyetler çok artmıştır.

Çizelge 5.20 : Model-2 ile Model-1'in optimal boyutlandırma sonuçları (s-3).

Model-2					Model-1				
Yıl	DPSP	LCC	Npv	Nsd	Yıl	DPSP	LCC	Npv	Nsd
2003	0,000	73190,53	26	2	2003	0,032	80077,85	25	2
2004	0,000	58256,54	17	2	2004	0,000	55122,94	13	2
2005	0,000	58512,13	17	2	2005	0,000	55122,94	13	2
2006	0,000	57714,06	17	2	2006	0,000	54611,65	12	2
2007	0,000	59329,40	18	2	2007	0,000	55122,94	13	2
2008	0,000	55598,29	15	2	2008	0,000	54611,65	12	2
2009	0,000	56280,80	16	2	2009	0,000	54611,65	12	2
2010	0,000	55748,21	15	2	2010	0,000	54611,65	12	2
2011	0,000	55626,80	15	2	2011	0,000	54611,65	12	2
2012	0,000	55674,69	15	2	2012	0,000	54611,65	12	2
2013	0,000	55689,36	15	2	2013	0,000	54611,65	12	2
2014	0,000	55349,59	15	2	2014	0,000	54100,35	11	2
2015	0,000	55352,19	15	2	2015	0,000	54100,35	11	2
2016	0,000	55353,49	15	2	2016	0,000	54100,35	11	2
2017	0,000	55353,49	15	2	2017	0,000	54100,35	11	2
2018	0,000	55353,49	15	2	2018	0,000	54100,35	11	2
2019	0,000	55353,49	15	2	2019	0,000	54100,35	11	2
2020	0,000	55353,49	15	2	2020	0,000	54100,35	11	2
2021	0,000	55353,49	15	2	2021	0,000	54100,35	11	2
2022	0,000	55353,49	15	2	2022	0,000	54100,35	11	2
2023	0,000	55353,49	15	2	2023	0,000	54100,35	11	2
2024	0,000	55354,79	15	2	2024	0,000	54100,35	11	2
2025	0,000	55354,79	15	2	2025	0,000	54100,35	11	2
2026	0,000	55354,79	15	2	2026	0,000	54100,35	11	2
2027	0,000	55354,79	15	2	2027	0,000	54100,35	11	2
2028	0,000	55354,79	15	2	2028	0,000	54100,35	11	2
2029	0,000	55354,79	15	2	2029	0,000	54100,35	11	2
2030	0,000	55354,79	15	2	2030	0,000	54100,35	11	2
2031	0,000	55354,79	15	2	2031	0,000	54100,35	11	2
2032	0,000	55354,79	15	2	2032	0,000	54100,35	11	2
2033	0,000	55354,79	15	2	2033	0,000	54100,35	11	2
2034	0,000	55354,79	15	2	2034	0,000	54100,35	11	2
2035	0,000	55354,79	15	2	2035	0,000	54100,35	11	2
2036	0,000	55354,79	15	2	2036	0,000	54100,35	11	2
2037	0,000	55354,79	15	2	2037	0,000	54100,35	11	2
2038	0,000	55354,79	15	2	2038	0,000	54100,35	11	2

Senaryo 4: Pil ve mevsimsel eğim açısı

Senaryo-4 (s-4) için Model-2 ve Model-1 uygulanmasıyla elde edilen her yıla ait DPSP, LCC, Npv ve Nbat sonuçları Çizelge 5.21'de gösterilmiştir. Buna göre Model-2 ortalama 15 adet PV modülü ve 2 adet pil önermektedir (2003 yılı hariç). Model-1 ise ortalama 11 adet PV modülü, 2 adet pil önermektedir. Model-2 sonuçlarına göre ortalama maliyet LCC=56.717,97 TL ve DPSP=0,000, Model-1 için ise LCC=56.126,33 TL ve DPSP=0,000 olarak hesaplanmıştır. Model-2'ye göre toplam 3,75 kWp'lık bir sistem gerekmektedir. Bu sistem için de 2 tane şarj regülatörü kullanılmaktadır. Üretilen elektriğin birim maliyeti ise yaklaşık olarak 0,81 TL/kWh olmaktadır. Dolayısıyla yıllık sabit açığa göre LCC değeri ek işçilik nedeniyle artmış fakat birim elektrik maliyeti azalmıştır. Optimal boyutlar ise aynı bulunmuştur.

Çizelge 5.21 : Model-2 ile Model-1'in optimal boyutlandırma sonuçları (s-4).

Model-2					Model-1				
Yıl	DPSP	LCC	Npv	Nsd	Yıl	DPSP	LCC	Npv	Nsd
2003	0,000	74008,74	25	2	2003	0,029	72785,68	24	2
2004	0,000	59195,10	16	2	2004	0,000	56594,38	12	2
2005	0,000	59474,89	16	2	2005	0,000	56594,38	12	2
2006	0,000	58657,48	16	2	2006	0,000	56594,38	12	2
2007	0,000	60341,58	17	2	2007	0,000	57140,44	13	2
2008	0,000	56498,44	15	2	2008	0,000	56048,32	11	2
2009	0,000	57235,37	15	2	2009	0,000	56048,32	11	2
2010	0,000	56683,81	15	2	2010	0,000	56048,32	11	2
2011	0,000	56562,44	15	2	2011	0,000	56048,32	11	2
2012	0,000	56610,32	15	2	2012	0,000	56048,32	11	2
2013	0,000	56624,98	15	2	2013	0,000	56048,32	11	2
2014	0,000	56285,36	15	2	2014	0,000	56048,32	11	2
2015	0,000	56287,96	15	2	2015	0,000	56048,32	11	2
2016	0,000	56287,96	15	2	2016	0,000	56048,32	11	2
2017	0,000	56289,26	15	2	2017	0,000	56048,32	11	2
2018	0,000	56289,26	15	2	2018	0,000	56048,32	11	2
2019	0,000	56289,26	15	2	2019	0,000	56048,32	11	2
2020	0,000	56289,26	15	2	2020	0,000	56048,32	11	2
2021	0,000	56289,26	15	2	2021	0,000	56048,32	11	2
2022	0,000	56289,26	15	2	2022	0,000	56048,32	11	2
2023	0,000	56289,26	15	2	2023	0,000	56048,32	11	2
2024	0,000	56290,56	15	2	2024	0,000	56048,32	11	2
2025	0,000	56290,56	15	2	2025	0,000	56048,32	11	2
2026	0,000	56290,56	15	2	2026	0,000	56048,32	11	2
2027	0,000	56290,56	15	2	2027	0,000	56048,32	11	2
2028	0,000	56290,56	15	2	2028	0,000	56048,32	11	2
2029	0,000	56290,56	15	2	2029	0,000	56048,32	11	2
2030	0,000	56290,56	15	2	2030	0,000	56048,32	11	2
2031	0,000	56290,56	15	2	2031	0,000	56048,32	11	2
2032	0,000	56290,56	15	2	2032	0,000	56048,32	11	2
2033	0,000	56290,56	15	2	2033	0,000	56048,32	11	2
2034	0,000	56290,56	15	2	2034	0,000	56048,32	11	2
2035	0,000	56290,56	15	2	2035	0,000	56048,32	11	2
2036	0,000	56290,56	15	2	2036	0,000	56048,32	11	2
2037	0,000	56290,56	15	2	2037	0,000	56048,32	11	2
2038	0,000	56290,56	15	2	2038	0,000	56048,32	11	2

Tüm senaryolar için Model-2'nin optimal boyutlandırma sonuçları Çizelge 5.22'de özetlenmiştir. Tank kullanılan PV sulama sistemi için, Model-2 ile elde edilen birim elektrik maliyetleri mevcut elektrik fiyatından daha düşük (veya eşit) bulunmuştur. Pil kullanıldığında ise maliyetler yüksek çıkmıştır.

Çizelge 5.22 : Model-2 için optimal boyutlandırma sonuçları (yıllık veri).

Senaryo	Optimal PV modül sayısı	Optimal depolama kapasitesi	DPSP değeri	LCC (TL) değeri	Üretilen elektriğin birim maliyeti
1	22 (5,5 kWp)	1 gün (tank hacmi 13 m ³)	0,000	31.787,45	0,32 TL/kWh
2	21 (5,25 kWp)	1 gün (tank hacmi 13 m ³)	0,000	32.983,40	0,34 TL/kWh
3	15 (3,75 kWp)	2 adet pil	0,000	55.779,48	0,84 TL/kWh
4	15 (3,75 kWp)	2 adet pil	0,000	56.717,97	0,81 TL/kWh

Ayrıca tüm senaryolara göre sonuçlar Model-1 ile karşılaştırıldığında (Çizelge 5.23), optimal boyutların ve DPSP ile LCC değerlerinin yakın hesaplanması sebebiyle analitik modelin (Model-2) başarılı çalıştığı görülmüştür. İki modelin sonuçları tutarlı bulunmuştur.

Çizelge 5.23 : Model-1 için optimal boyutlandırma sonuçları (yıllık veri).

Senaryo	Optimal PV modül sayısı	Optimal depolama kapasitesi	DPSP değeri	LCC (TL) değeri
1	20 (5kWp)	1 gün (tank hacmi 13 m ³)	0,003	31.470,30
2	19 (4,75kWp)	1 gün (tank hacmi 13 m ³)	0,005	32.599,39
3	11 (2,75kWp)	2 adet pil	0,000	54.290,26
4	11 (2,75kWp)	2 adet pil	0,000	56.126,33

6. SİMÜLASYON VE PERFORMANS ANALİZİ

Optimal PV pompalama sistemi için boyutlandırma yöntemleriyle hem güvenilirlik hem maliyet açısından en iyi sistem boyutları bulunmuştur. Bu bölümle simülasyon ve performans parametreleri yardımıyla elde edilen sistemin başarısı değerlendirilmiştir. Radyasyon, sıcaklık, eğim açısı, su ihtiyaçları gibi veriler simülasyon modeline girilerek sulama sistemi çalıştırılmış ve sistemin ürettiği performans incelenmiştir. PV sulama sisteminin bileşenleri seçilerek, simülasyon programının ürettiği sonuçlar gösterilmiştir. Ayrıca çeşitli performans parametreleriyle farklı senaryolara göre PV pompalama sisteminin verimi karşılaştırılmıştır.

Bu aşamada güneş radyasyonu tahmin modelinin sonuçlara etkisi de değerlendirilmiştir. Güneş radyasyon verisinin doğruluğunu kontrol etmek zordur çünkü ölçme cihazının tipi ve konumuna bağlı olan faktörler gibi çeşitli etmenler bulunmaktadır. Radyasyon verisindeki herhangi hata, PV dizisini boyutlandırmada oransal hatalara neden olacaktır (Kenna ve Gillett, 1985). Yeşilata ve Fıratoğlu (2008), PV pompalama sisteminin büyüklüğünün belirlenmesi için doğru güneş radyasyon verisinin öneminden bahsetmiştir. Hatalı güneş radyasyonu model seçiminin, PV pompalama sisteminin yanlış boyutlandırılmasına neden olacağından bahsetmişlerdir. Ayrıca radyasyon verisinin, hesaplamaları doğrusal olmayan şekilde etkilediği söylenmiştir. Güneş radyasyonu ve sıcaklık tahminlerine göre hesaplanan enerji potansiyeli, optimal boyutlandırma modeli için girdiyi oluşturmaktadır. Tahminlerdeki hata payının boyutlandırma sonucunda ne derece etkili olduğu çeşitli parametrelere göre incelenmiştir. Tahmin modelindeki değişikliğin, optimizasyon sonucuna etkisi hesaplanmıştır.

6.1 Yazılım Araçları

PV sistemlerin analizi, simülasyonu ve boyutlandırılması için birçok yazılım aracı geliştirilmiştir (DGS, 2008). Çeşitli zorluk ve doğruluk derecelerine sahip yazılımlar, farklı görevler için kullanılabilir. Bu araçlar, PV sistem tasarımcı ve

kurulumcularına mevcut tasarımı incelemek, farklı seçenekleri analiz etmek konularında yardımcı olmaktadır. Bileşenlerin boyutunu ve konfigürasyonunu inceleyen çeşitli araçlar boyutlandırma araçları başlığı altında, sistem özellikleri belli olduktan sonra çıktı ve performans analizi yapan araçlar ise simülasyon (modelleme) araçları başlığı altında Çizelge 6.1’de listelenmiştir (Silvestre, 2003).

Boyutlandırma araçları enerji gereklilikleri, bölge özellikleri ve maliyetleri dikkate alarak kolayca ve otomatik olarak enerji denge hesaplamaları yapabilmektedir. Farklı bileşen (pil, modül, yük) kombinasyonları dikkate alınabilmektedir. Daha gelişmiş boyutlandırma araçları, sistemdeki her bileşenin boyutunu ayrı ayrı incelemektedir. Burada istenen sonuç, enerji eksiğini veya toplam maliyeti minimize etmektir. Simülasyon araçları ise, boyutlandırmaya ek olarak bileşenleri modellemek ve sistem davranışının simülasyonu ile daha doğru bir tasarıma ulaşmak için kullanılmaktadır. Bu araçlar arasında, MATLAB/Simulink ve PSpice en başarılı ve yetenekli yazılım araçlarıdır (Silvestre, 2003).

Çizelge 6.1 : PV sistemleri için boyutlandırma ve simülasyon yazılım araçları.

Boyutlandırma Araçları	Simülasyon Araçları
Design Your System	Ashling
Estimating Stand-Alone System Size	HYBRID2
FATE2-P	EnergyPlus
Hybrid Designers	PV F-CHART
HOMER (Rehman ve Al-Hadhrani, 2010)	PV*SOL
ILSE	RAPSIM
NSol	SOMES
PVCad	SolSim
PVWATTS	SolarPro
RETScreen	MATLAB/Simulink
Solar Sizer	PSpice (Castañer ve Silvestre, 2002)
PVSST 1.0 (Chikh ve diğ, 2011)	Simplorer

PV sistem tasarımı için geliştirilen ve sıklıkla tercih edilen bazı paket programların özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir. Bunlar çevrimiçi çalışan yazılımlar ve yüklenebilir programlar olarak gruplanmıştır. Bu tür yazılım araçları genellikle uzun dönemli performans analizi için kullanılmaktadır. Sistem performansını analiz etmek için uzun dönemli su pompalama davranışı, talebi karşılayamama oranı (Arab ve diğ, 1999) ve maliyetler incelenebilmektedir.

Çevrimiçi yazılımlar:

- Calculationsolar, izole bir PV sisteminin bileşenlerinin özelliklerini bölgeye göre belirlemektedir. Burada enlem-boylam bilgisine göre bölge belirleme olanağı sunulur ve o bölgenin güneş potansiyeli dikkate alınır.
- PV*SOL ise Alman dinamik simülasyon programıdır. Dinamik simülasyon modeli ve 3D görselleriyle çatıya monte edilen, şebekeye bağlı, depolama içeren PV sistemlerin detaylı analizi mümkündür. Burada bölge, panel özellikleri, eğim açısı, tarife seçimleri yapılarak, üreteceği gücü, performansı ve maliyeti tahmin edilmektedir.
- Sunny Design; sistemin yeri, modül tipi, yönlendirmesi, PV modül sayısı gibi bilgiler vererek sistem performansını belirlemede yardımcı olur.
- ATV312 Solar Sizer yazılımı ise panel boyutunu belirlemede yardımcı olur ve pompa uygunluğunu denetlemektedir.

Yüklenabilir programlar:

- TRNSYS modeli TMY verisi kullanır. Dinamik simülasyon aracıdır.
- PVSYSYST sistem boyutlandırma, veri analizi için kullanılabilir. PV sistemleri kurulumundan önce çıktı tahmini, boyutlandırma analizi, meteorolojik veritabanına dayanan simülasyonlar yapabilmektedir. Tam lisansı ücretlidir ancak deneme versiyonu yüklenabilmektedir.
- HOMER optimal boyutlandırma ve maliyet analizi yapabilir. Hibrid güç sistemlerini tasarlamak ve analiz etmek için güçlü bir araçtır. Sistemi ekonomik açıdan değerlendirerek, sistem tasarımını optimize eder ve sistemin çalışma şeklini açıklar.
- HYBRID2 (ABD) maliyet optimizasyonu ile boyutlandırma yapabilir. Sistemin geri ödeme süreleri, enerji maliyetleri hesaplanabilir. Ayrıca zararlı gaz salınımları dikkate alınır. Hibrid güç sistemleri için performans tahmini ve ekonomik analiz gerçekleştirir.
- HYBRIDS enerji maliyeti ve zararlı gaz salınımlarını hesaplayabilir.

- RETScreen (Kanada) enerji üretimini, maliyetleri hesaplayıp, duyarlılık ve risk analizleri gerçekleştirebilir. Teknik ve finansal açıdan yenilenebilir enerji sistemlerini inceler, veritabanı NASA'dan alınmaktadır.
- IHOGA çok amaçlı optimizasyon yapabilir. Enerji alışverişlerini inceleyebilir.
- SKELION PV ve termal bileşenleri kullanarak 3D model tasarlayabilir, bu programla bölgeye özel PV modüllerinin performansı incelenebilir.

Bunların dışında MATLAB Simulink Design Optimization (SDO) programı, tek başına hibrid bir sistemin (PV-hidrojen-pil-yakıt hücresi) optimal boyutlandırması, dinamik modellenmesi, teknik optimizasyonu, maliyet analizi, optimal konfigürasyonların belirlenmesi amacıyla uygulanmıştır (Castañeda ve diğ, 2013). Cano ve diğ. (2014) tek başına PV-rüzgar-yakıt hücresi içeren hibrid sistemde optimal boyutlandırma için dört uygulama gerçekleştirmiştir. İlkinde basit denklemler, ikincisinde teknik olarak SDO, üçüncüde tekno-ekonomik olarak HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) ve dördüncüde HOGA (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms) kullanılmıştır. Sonuçlara göre en iyi konfigürasyonu, genetik algoritma kullanılarak uygulanan ikinci yöntemin (SDO) verdiği gösterilmiştir. Mondol ve diğ. (2006) ise şebekeye bağlı PV sistemlerde PV dizisinin alanını ve invertörü tekno-ekonomik açıdan boyutlandırmak için TRNSYS yazılımından faydalanmıştır. Benzer şekilde, Odeh ve diğ. (2006) PV pompalama sisteminin performans analizinde TRNSYS yazılımını kullanmıştır. Ortalama performans oranları simülasyonla hesaplanmış, maliyet analizi eklenerek optimal sistem boyutları belirlenmiştir.

Ayrıca bazı çalışmalarda MATLAB/Simulink sayesinde PV modülü ve pompalama sisteminin diğer bileşenleri modellenmiş, MPPT algoritması simülasyona dahil edilmiştir (Krismadinata ve diğ, 2013; Lajnef ve diğ, 2013). Simülasyon sonuçları üreticinin teknik verileriyle karşılaştırılmıştır. Oi (2005) ise yüksek lisans tezinde PV pompalama sistemini PSpice ve Simulink aracılığıyla modellemiş, MPPT olan ve olmayan sistemlerin performanslarını karşılaştırmıştır. Kou ve diğ. (1998) de direkt-bağlı (DC motor ve pompa içeren) PV pompalama sistemleri için uzun dönemli performansı tahmin edecek bir program (UW-PUMP) geliştirmiştir.

6.1.1 PV pompalama sistemi için uygulama

Bu çalışmada simülasyon modeli için PVSYST 6.3.4 (demo) paket programı kullanılmış ve otomatik modelleme yapılan PV pompalama sistemi için ön-boyutlandırma ve performans çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bunun için PVSYST programını anlatan (Lalwani ve diğ, 2010) ve uygulama yapan (Mermoud, 2006) referanslar dikkate alınmıştır.

Seçilen bölge için girdi verileri PVSYST programına kaydederek, enerji üretimi, enerji ihtiyaçları ve depolama biriminin doluluğu değerlendirilmiştir. Örnek olarak Antalya'ya ait 2005 yılı verileri ve senaryo-1 bileşenleri kullanılarak EK G'de yer alan grafikler gösterilmiştir. Öncelikle Şekil G.1'de ana ekran görüntüsü, Şekil G.2'de ise pompalama sistemi modelinin ekranı gösterilmiştir. Bu ikinci ekrandan bölgenin verileri belirlendikten sonra sistem tanımlanır ve simülasyon sonuçları elde edilir. Şekil G.3'te günlük ortalama radyasyon şiddetleri hesaplanmıştır. Burada radyasyon değerleri ile saatlik güneş açıları ve azimut açıları kullanılmıştır. Görüldüğü gibi, gündeşümü ve günbatımı için radyasyon şiddeti düşük, öğle saatleri için yüksek olmuştur. Şekil G.4'te çalıştırılan simülasyon sonucunda aylık sonuçlar özetlenmiştir. Sol kısımda kırmızıyla mevcut güneş enerjisi, yeşille enerji ihtiyaçları, maviyle su ihtiyaçları gösterilmiştir. Buna göre sistemin gerekli ihtiyaçları karşılamakta yeterli olduğu görülmektedir. Sağ kısımda ise tankın ortalama doluluğu gösterilmiştir. Eksik su durumuyla karşılaşmadığı için grafikte eksik su olasılığı gözükmemektedir. Son olarak Şekil G.5'te aylık ortalama enerji ve su kullanım sonuçları bir tabloda listelenmiştir. Güneş radyasyon şiddeti, mevcut güneş enerjisi, güneş enerjisi ihtiyacı, fazla üretilen enerji, pompalanan su miktarı, eksik su miktarı, eksik yüzde ve varsa yakıt kullanımı hem aylık hem de yıllık ortalama alınarak özetlenmiştir. Buna göre tüm aylar için belirlenen boyutlardaki PV sulama sistemi yeterli olmuştur. PVSYST paket programıyla bu bilgiler otomatik olarak hesaplanmıştır. Gelecek çalışmalarda MATLAB/Simulink ile anlık sonuç üreten bir PV pompalama sisteminin tasarımı gerçekleştirmek hedeflenmiştir. Ancak bu aşamada esas olarak performans parametreleri hesaplanmış ve sistemin performans analizi, verim değerlerine göre gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon modeli, PV sulama sisteminin tüm bileşenlerinin MATLAB/Simulink yardımıyla modellenmesiyle oluşturulmaktadır. MATLAB ile simülasyon modeli geliştirilmek istenirse, PV sulama sisteminin bileşenlerinin her biri modellenerek

simülasyona dahil edilmelidir. Burada dinamik diferansiyel denklemler bloklara çevrilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik sistemlerin denklemleri, blok modeller şeklinde çözülmektedir. Daha sonra boyutlandırma yöntemleriyle hesaplanan optimal boyutlar simülasyon modeline girilerek sulama sistemi çalıştırılmalı ve sistemin ürettiği performans incelenmelidir. PV hücresinin modellenmesinden Bölüm 5.2.1.2’de bahsedilmiştir. Motor-pompa sisteminin modellenmesi birçok çalışma tarafından araştırılmıştır. Genellikle üç farklı yaklaşımdan söz edilmiştir (Gherbi ve diğ., 2014). İlk yaklaşım diferansiyel denklemlerle modellemektedir. İkinci yaklaşım (en basiti) enerji dönüşümleriyle ifade etmektedir. Üçüncü yaklaşım ise girdi-çıkı değerlerine göre I-V ve Q-V özelliklerini polinomlar şeklinde modelleyerek katsayıları tahmin etmektedir.

İlk yaklaşım sabit manyetik akışa sahip DC motorun dinamik modelini matematiksel ifadelerle tanımlamıştır (6.1-6.3). Bu denklemlerde i_a armatür akımı, e_a armatür voltajı, T_e elektromanyetik tork, K_E motor hızı sabiti, K_T tork sabiti, e zıt emk (elektromotor kuvveti) sabiti, L_a armatür endüktansı, R_a armatür direnci, θ_m mekanik dereceyle rotorun pozisyonu, ω_m rotorun açısal hızı olarak ifade edilmiştir.

$$e_a = i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e \quad (6.1)$$

$$T_e = K_T i_a \quad (6.2)$$

$$e = K_E \frac{d\theta_m}{dt} = K_E \omega_m \quad (6.3)$$

İkinci yaklaşım, PV’den elde edilen günlük güneş enerjisi (E_i), 12 saatlik pompalama için gereken günlük elektrik enerjisi (E_e) ve pompayla sağlanan günlük hidrolik enerji (E_h) ifadelerini kullanmıştır (6.4-6.6). Burada A_{PV} PV dizisinin etkin alanı (m^2), G radyasyon miktarı (W/m^2), P pompalama gücü (W), Ch hidrolik sabit ($9800kg/(m^2s^2)$), H yükseklik (m) ve Q akış hızıdır (m^3/h).

$$E_i = A_{PV} \int_{12h} G. dt \quad (6.4)$$

$$E_e = \int_{12h} P. dt \quad (6.5)$$

$$E_h = Ch. H. \int_{12h} Q. dt \quad (6.6)$$

Üçüncü yaklaşım motor-pompa sisteminin akım-voltaj ve akış hızı-voltaj özelliklerini ifade ederek (6.7), belirlenen çalışma koşullarında (radyasyon, sıcaklık)

pompanabilen su miktarını hesaplamaktadır. Akım, voltaj, akış hızı ve yükseklik değişkenleri iki polinom denklemiyle tanımlanmıştır. Katsayılar $(a_i, b_i, c_i, d_i, e_i)$ deneysel eğrilerin uydurulmasıyla belirlenmektedir.

$$\begin{aligned}
 I(V) &= aV + b \\
 Q(V) &= cV^2 + dV + e \\
 a(h) &= a_0 + a_1h + a_2h^2 + a_3h^3 \\
 b(h) &= b_0 + b_1h + b_2h^2 + b_3h^3 \\
 c(h) &= c_0 + c_1h + c_2h^2 + c_3h^3 \\
 d(h) &= d_0 + d_1h + d_2h^2 + d_3h^3 \\
 e(h) &= e_0 + e_1h + e_2h^2 + e_3h^3
 \end{aligned} \tag{6.7}$$

Farklı tipteki motor-pompa modelleri için Benlarbi ve diğ. (2004) referansına bakılabilir. Üretici normalde yükseklik-akış-akım-voltaj verilerini pompa-motor kombinasyonu için birlikte vermektedir. Bu nedenle ayrı ayrı motor ve pompa modelleri kullanmak yerine, pompa-motor özellikleri iki fonksiyonla ifade edilmektedir. İlki akım (I)–voltaj (V)–yükseklik (H) fonksiyonudur: $V = f_1(I, H)$. Bu fonksiyonda I ve H değerleri bir polinomla yazılır ve üreticinin verilerini kullanarak doğrusal regresyon aracılığıyla kolayca elde edilir. PV modülün ve motor-pompanın verilen yükseklik için I-V denklemleri eş zamanlı çözülerek sistemin çalışma noktası bulunmaktadır. İkinci fonksiyonda ise, sıvı akışı voltaj ve yükseklik ile benzer şekilde polinomla ifade edilir ve doğrusal regresyonla tahmin edilir: $Q = f_2(V, H)$. Böylece çalışma noktasındaki voltaj kullanılarak verilen yüksekliğe ait akış hızı hesaplanmaktadır (Kou ve diğ, 1998). Herhangi çevresel koşula ait akış hızını tahmin etmek mümkün olduğu için, PV pompalama sisteminin uzun dönemli performansı tahmin edilebilmekte ve bileşenleri optimal tasarıma uygun olarak seçilebilmektedir.

Hidrolik sistem ve pompa-motor sisteminin modellenmesi için statik ve dinamik bileşenler düşünülmektedir. Dinamik bileşen akış oranına bağlı olmaktadır. Statik yükseklik, su yüzeyinden boşaltım yerine kadar olan dikey yükseklik olarak ifade edilir. Küçük bir PV pompalama sistemi düşünüldüğünde, toplam yükseklik sadece statik olarak ele alınır ve sabit varsayılmaktadır (Kou ve diğ, 1998).

6.2 Performans Parametreleri

Performans parametreleri başlıca günlük, aylık veya yıllık pompalama kapasitesi ve sistem verimidir (Gopal ve diğ, 2013). Ayrıca maliyetler (yatırım, işletme, yaşam

döngüsü), depolama biriminin ortalama şarj durumu, çeşitli kayıplar gibi parametreler performans analizinde kullanılabilir. PV pompalama sisteminin su talebini karşılaması (güvenilirliği), kapasite faktörü (gerçekte üretilen ile tam kapasitede üretilen enerji oranı), güç kalitesi, bakım ve onarımı, modülerlik ve ölçeklenebilirliği, çevresel etkileri de performansını etkileyen değişkenler olarak dikkate alınabilmektedir.

PV pompalama sistem verimliliğini iyileştirmek ve maliyeti düşürmek amacıyla birçok tasarım ve optimizasyon çalışması yapılmış, deneysel ve analitik yöntemler geliştirilmiştir. Literatürde PV pompalama sistemlerinin performansını inceleyen çalışmalar arasında (Mokeddem ve diğ., 2011), (Fıratoglu ve Yeşilata, 2004), (Kaldellis ve diğ., 2011), (Odeh ve diğ., 2006), (Benghanem ve diğ., 2013), (Hamidat ve diğ., 2003), (Ma ve diğ., 2014), (Argaw, 2004) bulunmaktadır. Kaldellis ve diğ. (2011) sistemin toplam verimini denklem 6.8 ile hesaplamıştır. Depolanan suyun dinamik enerjisinin, mevcut olan güneş enerjisine oranı alınmıştır. Bu oran aynı zamanda, PV panel verimi (η_{PV}), pompa verimi (η_p), su transfer sisteminin hidrolik enerji verimi (η_h) ve sistem bileşenlerinin (şarj kontrolörü, kontrol paneli, pil seti ve kablolama) dengesinin (BOS) verimi (kayıplar) (η_{BOS}) ile ifade edilmektedir.

$$\eta_{tot} = \frac{E_w}{E_{sol}} = \eta_{PV} \cdot \eta_{BOS} \cdot \eta_p \cdot \eta_h \quad (6.8)$$

Su transfer sisteminin hidrolik enerji verimi denklem 6.9'daki gibi tanımlanmıştır. ζ toplam hidrolik kayıp katsayısı, Q hacimsel akış oranı, h ise yüksekliktir.

$$\eta_h = \frac{h}{H} = h / (h + \zeta \cdot Q^2) \quad (6.9)$$

Aktarılan su hacmi küçük olduğu ve su taşıma sistemi dikkatli bir şekilde tasarlandığı durumlar için $\eta_h \approx 1,0$ varsayılmaktadır. Dolayısıyla toplam verim denklem 6.10 şeklinde sadeleştirilmiştir. Bu denklem hidrolik enerji kayıplarını ihmal eder ve kullanılan ekipmanların (PV panelleri, şarj kontrolörü, pil seti, elektrik motoru, su pompası ve kablolar) değerlendirilmesi için kullanılabilir.

$$\eta'_{tot} = \eta_{PV} \cdot \eta_{BOS} \cdot \eta_p \quad (6.10)$$

Odeh ve diğ. (2006) ortalama verim hesaplamalarından sonra performans oranlarını tanımlamıştır. Hesaplanan verim değerleri, standart test koşullarındaki verimlere bölünmüştür. Hamidat ve diğ. (2003) PV pompalama sisteminin performansını analiz ederken, elektriksel ve hidrolik etkinliğini toplam yükseklik ve PV panel alanı

değişkenlerine göre incelemiştir. Ma ve diğ. (2014) ise PV sisteminin performansını incelemek için simülasyon modeli geliştirmiştir. PV sulama sisteminden maksimum performansı elde edebilmek için kontrol de bir diğer önemli konudur. Pompa, panel, pil arasında kontrol sistemi için akıllı algoritmalar, bulanık kurallar, çok amaçlı optimizasyon geliştirilen yöntemler arasındadır (Gopal ve diğ, 2013).

Literatürde tek başına veya şebekeye bağlı PV sistemlerde, ayrıca PV pompalama sistemlerinde performans analizi için kullanılan parametreler incelenmiştir. PV sistemlerini karşılaştırmak ve değerlendirmek için üretilen enerji miktarı, verim ve performans oranı hesaplamaları yapılmaktadır. IEC 61274:1998 standardına göre geliştirilen performans parametreleri bulunmaktadır (IEC, 1998). En uygun performans parametreleri olarak toplam sistem verimi (η_{sys}), dizi verimi (Y_{Array}), nihai verim (Y_{Final}), referans verim (Y_{Ref}), performans oranı (PR), kapasite faktörü (CF), eşleşme faktörü (MF), kullanım faktörü (UF) kullanılmaktadır (Jahn ve diğ, 2000).

Toplam sistem verimi

PV pompalama sisteminin toplam sistem verimi, hidrolik güç ile güneş radyasyonu girdi gücü oranı şeklinde hesaplanabilmektedir (6.11).

$$\eta_{sys} = \frac{P_h}{P_{in}} = \frac{\rho g h Q}{A_{pv} G_t} \quad (6.11)$$

Burada A_{pv} toplam PV dizisi alanı ve G_t PV dizisinin yüzeyine düşen güneş radyasyonudur (Mahmoud ve diğ, 2013).

Dizi verimi

Dizi verimi (Y_{Array}) kWh/kWp veya saat cinsinden hesaplanır. PV dizisinin günlük, aylık veya yıllık enerji çıktısı ile kurulan PV dizisinin standart test koşullarında (STC) maksimum gücü oranlanır. Böylece istenilen enerjinin tedarik edilmesi için PV dizisinin maksimum güç seviyesinde kaç saat çalışması gerektiği hesaplanır (El Fathi ve diğ, 2014). Burada hesaplamalar PV dizisinin ürettiği enerji $E_{DC,out}$ ile yapılmaktadır (6.12) (Ayompe ve diğ, 2011). $P_{PV,rated}$ STC altındaki maksimum güç değeridir ve $P_{max,STC}$ şeklinde de ifade edilebilmektedir.

$$Y_{Array} = \frac{E_{DC,out}}{P_{PV,rated}} \quad (6.12)$$

Nihai verim

Nihai verim (Y_{Final}), yüke aktarılan enerji miktarıdır (Jahn ve diğ, 2000). Spesifik nihai verim olarak da adlandırılan bu parametre, kWh/kWp veya saat cinsinden hesaplanır. Net yıllık, aylık veya günlük enerji çıktısının STC'deki maksimum güce oranı şeklinde bulunur (6.13). Burada $E_{AC,out}$ PV dizisi tarafından üretilen elektrik enerjisi (Wh), $P_{max,STC}$ ise kurulan PV panelinin toplam gücüdür (Wp). Dizi verimiyle nihai verim birbirine yakın kavramlardır ve ikisiyle de farklı boyutlardaki PV sistemlerinin ürettiği enerji miktarları kıyaslanabilir çünkü sistem boyutuyla normalize edilen parametrelerdir (El Fathi ve diğ, 2014). Nihai verimde $E_{AC,out}$ dikkate alınarak DC/AC dönüşümü sonrası elde edilen enerji hesaplanır. Bu değer bazı çalışmalarda E_{real} olarak gösterilmektedir (Ayompe ve diğ, 2011).

$$Y_{Final} = \frac{E_{AC,out}}{P_{max,STC}} \quad (6.13)$$

Referans verim

Referans verim (Y_{Ref}), teorik olarak mevcut enerji miktarıdır (Jahn ve diğ, 2000). PV panelinin yüzeyine düşen toplam radyasyon değerinin G_{opt} (Wh/m^2), referans radyasyon değerine $1000 W/m^2$ (G_{STC}) bölünmesiyle hesaplanmaktadır (6.14). Bu parametre, ortalama pik güneşlenme saatlerini ifade etmekte ve PV tarafından kullanılabilir güneş radyasyonunu tanımlamaktadır (El Fathi ve diğ, 2014).

$$Y_{Ref} = \frac{G_{opt} (Wh/m^2)}{1000 (W/m^2)} \quad (6.14)$$

Performans oranı

Performans oranı (PR) (%), gerçekte kullanılan (üretilen) enerjinin teorik olarak mevcut (beklenen veya nominal) enerji üretim miktarına oranıdır. Nihai verimle referans verim arasındaki oran 6.15 şeklinde hesaplanır (El Fathi ve diğ, 2014). Bu değer, PV sisteminin ideal performansına ne kadar yaklaştığını göstermekte ve bölge, eğim açısı, yönlendirme, nominal güç kapasitesi gözetmeden PV sistemlerini karşılaştırmak için kullanılabilir (Ayompe ve diğ, 2011).

$$PR = \frac{E_{real}}{E_{ideal}} = \frac{Y_{Final}}{Y_{Ref}} = \frac{E_{AC,out} * G_{STC}}{G_{opt} * P_{max,STC}} \quad (6.15)$$

Eğer PV sisteminin boyutları gerekenden küçükse, PR yüksek çıkacak ama kullanıcıya enerji tedarik edilemeyen zamanlar ortaya çıkacaktır. Sistem gerekenden

büyükse, PR değeri etkilenecek ve sıklıkla PV modülleri arasında bağlantı kopması yaşanacaktır. Tek başına sistemlerde depolama birimi yoksa, genellikle güvenilirlik sebebiyle PV dizisinin boyutu büyük seçilmektedir (Jahn ve diğ, 2000).

PR değeri kullanıcının tüketimiyle ve depolama biriminin şarj durumuyla bağlantılıdır. Performans analiz çalışmaları sonucunda, işlevsel performansın yalnızca bileşen verimlerine değil, sistem tasarımına ve yük talebine de bağlı olduğu gösterilmiştir (Jahn ve diğ, 2000).

Kayıplar

Bölgeden ve sistem boyutundan bağımsız olup, PV dizisinin nominal gücündeki tüm kayıpları ifade etmektedir. Bu kayıplar sıcaklık, radyasyonun tam kullanılamaması, biriken kir ve toz, sistem bileşenlerinin verimsizliği veya arızalar nedeniyle oluşmaktadır.

Performans oranı aynı zamanda denklem 6.16'daki gibi çeşitli kayıplar cinsinden de ifade edilebilmektedir (Ayompe ve diğ, 2011). Burada η_{deg} panel bozulma payı, η_{tem} sıcaklık, η_{soil} kirlenme ve η_{inv} invertör nedenli kayıplardır. Panel bozulma payının ve kirlenme kayıplarının değerlendirilmesi zordur çünkü uzun sürede ortaya çıkan küçük etkilerdir. Bu formül Kymakis ve diğ. (2009) veya Tripathi ve diğ. (2014) çalışmasında olduğu gibi ilave kayıplarla genişletebilmektedir. Kymakis ve diğ. (2009) ele aldıkları şebekeye bağlı bir PV sistemi için tüm bu kayıpların yıllık ortalama yüzde değerlerini tahmin etmiş ve göstermiştir.

$$PR = \eta_{deg} \cdot \eta_{tem} \cdot \eta_{soil} \cdot \eta_{inv} \quad (6.16)$$

Yukarıda ifade edilen kayıplar haricinde, PV paneline dik gelmeyen radyasyonun optik yansıma kayıpları, yüksek hücre sıcaklığının neden olduğu termal kayıplar, hava kütlelerinin AM 1.5'ten aşağı düşmesi durumundaki ortaya çıkan akım kayıpları, gölgeleme kayıpları, kablolama kayıpları, invertörün dönüştürme kayıpları olabilmektedir (Ayompe ve diğ, 2011).

Hesaplama yaparken genel olarak kayıplar; dizi yakalama kayıpları (6.17) (sıcaklık, yansıma vb. nedenlerle) ve sistem kayıpları (6.18) (invertör ve kablo kayıpları) şeklinde iki gruba ayrılabilir (El Fathi ve diğ, 2014). Ayrıca hücre sıcaklık kayıpları da (L_T) hesaplanabilmektedir (Ayompe ve diğ, 2011). Genel bir varsayım

olarak, STC üstündeki her 1°C'lik PV hücresi sıcaklık artışı, PV modülünün pik gücünde %0,3 – 0,4 düşüşe neden olmaktadır.

$$L_C = Y_{Ref} - Y_{Array} \quad (6.17)$$

$$L_S = Y_{Array} - Y_{Final} \quad (6.18)$$

Bu çalışmada hem yakalama hem de sistem kayıpları dikkate alınarak, toplam kayıplar ($L = L_C + L_S$) hesaplanmıştır (6.19) (bkz. El Fathi ve diğ, 2014).

$$L = Y_{Ref} - Y_{Final} \quad (6.19)$$

Düşük PR değeri, yüksek L_C kayıpları anlamına gelmektedir (Jahn ve diğ, 2000). Jahn ve diğ. (2000) çalışmasına göre depolama birimi olmayan tek başına PV sistemlerde PR değeri 0,1 – 0,6 arasında iken, depolama biri olan sistemlerde 0,3 – 0,6 arasında olmaktadır. Şebekeye bağlı sistemlerde ise bu oran 0,6 – 0,8 arasında bulunmuştur.

Kapasite faktörü

Kapasite faktörü (CF), gerçekte üretilen yıllık enerji miktarı ile PV sisteminin kurulu toplam (nominal) gücü ile üretilebilecek enerji miktarı arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Kurulu toplam güç ile üretilebilecek enerji miktarı, günde 24 saatten 1 yıl için hesaplanır ($24 \times 365 = 8760 \text{ h}$). Dolayısıyla kapasite faktörü denklem 6.20 ile bulunmaktadır (Milosavljević ve diğ, 2015).

$$CF = \frac{Y_F}{8760 (h)} = \frac{E_{out}}{P_{max,STC} * 8760} \quad (6.20)$$

Eşleşme faktörü

Performans değerlendirmek için kullanılan eşleşme faktörü (MF) (veya yük eşleşme faktörü ϕ), hidrolik yükle elde edilen enerji ile günlük maksimum PV gücü arasındaki oran şeklinde tanımlanır (6.21). Bu parametreyle PV'nin güç üretim kapasitesinin gerçekte ne kadarının kullanıldığı anlaşılabilmektedir (Argaw, 2004). Eşleşme faktörü, teorik modellerle ifade edilerek veya deneysel ölçümlerle (radyasyon ve PV güç çıkışı) grafiksel olarak belirlenmektedir.

$$MF = \frac{\text{Su pompalama için kullanılan fiili güç}}{\text{PV güç kapasitesi}} \quad (6.21)$$

Kullanım faktörü

Tek başına sistemlerin performansını inceleyen kullanım faktörü (UF), tedarik edilen enerjinin potansiyel enerji üretimine oranıdır ve sistemin potansiyelini ne derecede kullandığını incelemektedir (Jahn ve diğ, 2000).

Enerji verimi

Enerji verimi, belli bir zamanda PV dizisi tarafından üretilen elektrik enerjisiyle mevcut güneş enerjisinin ilişkisini göstermektedir. Saatlik, günlük, aylık veya yıllık olarak enerji verimi hesaplamaları yapılabilir. Aylık olarak denklem 6.22'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n (E_D)_i}{S * \sum_{i=1}^n (G_{opt})_i} \quad (6.22)$$

Burada n gün sayısı, E_D gün boyunca üretilen toplam enerji miktarı (Wh), G_{opt} gün boyunca PV panelinin $1 m^2$ 'sine düşen toplam güneş enerjisi (Wh/m^2) ve S değeri PV dizisinin toplam alanıdır (m^2) (Milosavljević ve diğ, 2015).

6.3 Performans Analizleri

Tank, pil ve eğim açısı değişikliklerine göre dikkate alınan 4 farklı senaryo için, sistemin gerçekte ürettiği güç ve depolama biriminin kullanımı incelenmiştir. Simülasyonun, deneme-8 hibrid bulanık zaman serisi modeliyle hesaplanan tahminler ve elde edilen optimal boyutlarla çalıştırılması sonucunda, sistemin performans analizi gerçekleştirilmiştir. Sulama sisteminde performans ölçümü için güvenilirlik, maliyet değerleri, verim parametreleri, depolama biriminin ortalama şarj durumu (SOC), kayıplar, performans oranı, talebi karşılama oranı (fazla ve eksik üretilen güneş enerjisi), kapasite faktörü (gerçek üretim/tam kapasite üretimi), toplam sistem verimi kullanılmıştır. 4 farklı senaryo için performans değerleri hesaplanmış ve karşılaştırma yapılmıştır.

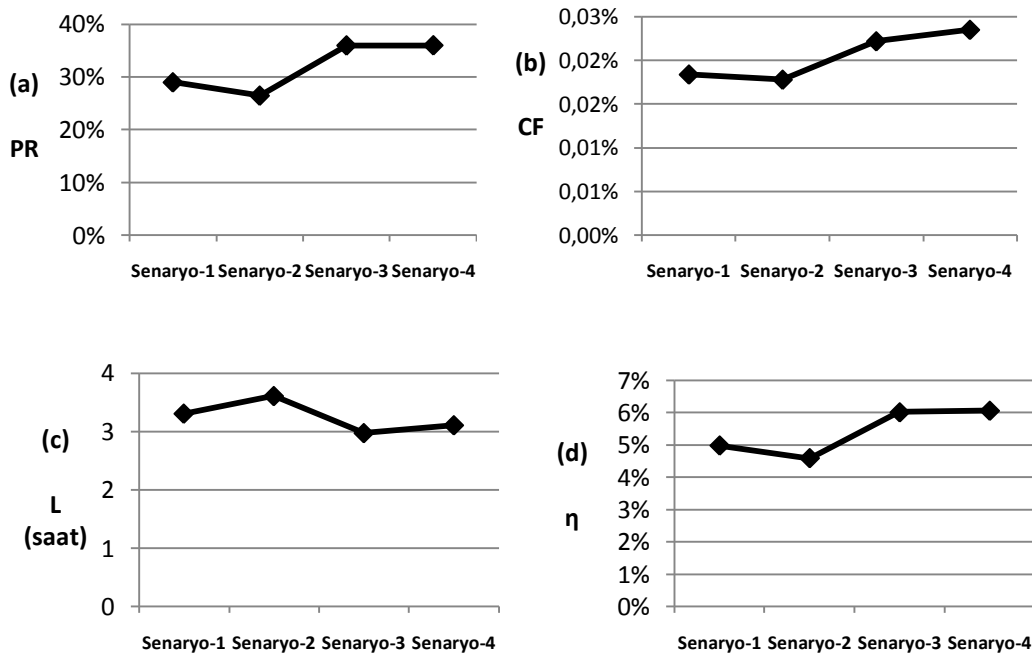
6.3.1 Model-1 sonuçlarına göre aylık performans analizleri

Her senaryoya göre optimal eğim açısı, PV modül sayısı ve depolama birimi kapasitesi dikkate alınarak performans parametreleri hesaplanmıştır. Model-1 öncelikle aylık verilere uygulanarak optimal boyutlandırma yapıldığı için, aylık olarak elde edilen ortalama performans değerleri Çizelge 6.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 6.2 : Model-1 sonuçlarına aylık ortalama performans değerleri.

	Y_{Ref}	Y_{Final}	PR (%)	CF (%)	L (saat)	η (%)
Senaryo-1	4,92	1,61	28,98%	0,0184%	3,310	4,98%
Senaryo-2	5,17	1,56	26,47%	0,0178%	3,612	4,59%
Senaryo-3	4,92	1,94	35,93%	0,0222%	2,976	6,01%
Senaryo-4	5,17	2,06	35,96%	0,0235%	3,111	6,06%

Buna göre referans verim (Y_{Ref}) mevsimsel eğim açısı değişimlerinde daha yüksek elde edilmiştir. Yıllık sabit açıya göre daha fazla güneş enerjisi üretebilme yeteneği kazandığı bu değerle gösterilmiştir. Nihai verim (Y_{Final}) ise en yüksek senaryo-4'te elde edilmiştir. Buna göre mevsimsel eğim açısı ve pille depolama içeren sistemde yüke aktarılan enerji miktarı daha fazla olmuştur. Benzer şekilde performans oranı (PR), kapasite faktörü (CF) ve enerji verimi (η) değerleri, senaryo-4'ün daha yüksek performansa sahip olduğunu göstermiştir. Aylık ortalama toplam kayıplar (L) ise en düşük senaryo-3'te elde edilmiştir. Çizelge 6.2'deki 4 performans göstergesi, Şekil 6.1'de senaryolara göre grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu şekilde performans oranı (a), kapasite faktörü (b), kayıplar (c) ve enerji verimi (d) grafiği ile çizilmiştir.



Şekil 6.1 : Farklı performans parametrelerinin senaryolara göre değişimi.

Tüm bu sonuçlara göre depolama birimi olarak pil kullanımı ve mevsimsel eğim açısı değişimi önerilebilmektedir. Fakat yatırımcının veya sistem tasarımcısının

toplam maliyeti, bakım gerekliliğini ve operasyonel ömür süresini de dikkate alarak pil veya su tankı arasında tercih yapması gerekmektedir.

Depolama biriminin ortalama şarj durumu (SOC) (Şekil H.1), üretilen ve talep edilen enerji karşılaştırması (Şekil H.2), kullanılan enerji (Şekil H.3), eksik kalan enerji (Şekil H.4) ve artan enerji miktarları (Şekil H.5) grafiksel olarak her senaryo için EK H’de gösterilmiştir. Buna göre su tankı çoğunlukla tam dolu, piller ise dönemsel olarak dolu olmaktadır. Üretilen enerji her senaryo için talep edilen enerjiden fazla olup, artan enerji oluşmaktadır. Talebin eksik kaldığı durumlar su tankı içeren sistem için daha az sayıda gözlenmiştir. Artan enerji miktarlarının sulama haricindeki uygulamalar için kullanımı düşünülebilir. Böylece PV dizisinden elde edilen güneş enerjisi, sulama, aydınlatma veya evsel elektrik ihtiyaçları için kullanılabilir.

6.3.2 Model-1 sonuçlarına göre yıllık performans analizleri

Her senaryoya ait yıllık ortalama değerlere göre performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.3’te görülen sonuçlara göre yıllık değerlerde depolama biriminin etkisi olmamakta ve sistem performansı aynı kalmaktadır. Mevsimsel eğim açısı değişimi olan senaryolarda referans verim (Y_{Ref}), nihai verim (Y_{Final}) ve kapasite faktörü (CF) daha yüksek hesaplanmıştır. Fakat performans oranı (PR), toplam kayıplar (L) ve enerji verimi (η) değerleri senaryo-1 ve senaryo-3 için daha başarılı bulunmuştur. Sonuçlara göre yıllık ortalama değerlerin performans göstergesi olarak düşünülmesi yanıltıcı olabilmektedir. Önceki bölümde belirtilen aylık ortalama performansların gerçeği daha çok yansıttığı görülmüştür. Burada amaç, analitik olarak geliştirilen optimal boyutlandırma modelinin (Model-2) performansının, sayısal algoritmayla boyutlandırma hesaplayan Model-1’e göre tutarlı sonuç üretip üretmediğini araştırmaktır. Bu nedenle Çizelge 6.4’teki değerlerle kıyaslanmıştır.

Çizelge 6.3 : Model-1 sonuçlarına yıllık ortalama performans değerleri.

	Y_{Ref}	Y_{Final}	PR (%)	CF (%)	L (saat)	η (%)
Senaryo-1	4,91	4,14	84,36%	0,0473%	0,768	12,84%
Senaryo-2	5,16	4,33	83,85%	0,0494%	0,833	12,77%
Senaryo-3	4,91	4,14	84,36%	0,0473%	0,768	12,84%
Senaryo-4	5,16	4,33	83,85%	0,0494%	0,833	12,77%

6.3.3 Model-2 sonuçlarına göre yıllık performans analizleri

Model-2’de analitik olarak çok amaçlı optimizasyon modeli tanımlanmış ve optimal boyutlar tekno-ekonomik optimizasyon probleminin çözülmesiyle elde edilmiştir. Her senaryoya ait yıllık ortalama değerlere göre performans analizleri gerçekleştirilmiş, hesaplanan performans gösterge değerleri Çizelge 6.4’te özetlenmiştir. Ayrıca bu değerler Model-1 sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Referans verim (Y_{Ref}) ve nihai verim (Y_{Final}) mevsimsel eğim açısı değişimi olan senaryolarda daha yüksektir. Performans oranı (PR) senaryo-3’te en yüksek bulunmuştur. Kapasite faktörü (CF) ise senaryo-4’te en yüksek çıkmıştır. Bununla bağlantılı olarak toplam kayıplar (L), senaryo-3 ve senaryo-4 için en düşük hesaplanmıştır. Yıllık ortalama enerji verimi (η) ise büyükten küçüğe olarak senaryo-3, senaryo-4, senaryo-1, senaryo-2 sıralamasıyla elde edilmiştir.

Çizelge 6.4 : Model-2 sonuçlarına yıllık ortalama performans değerleri.

	Y_{Ref}	Y_{Final}	PR (%)	CF (%)	L (saat)	η (%)
Senaryo-1	4,91	4,04	82,34%	0,0461%	0,869	12,53%
Senaryo-2	5,16	4,23	82,05%	0,0483%	0,928	12,49%
Senaryo-3	4,91	4,14	84,36%	0,0473%	0,768	12,84%
Senaryo-4	5,16	4,33	83,85%	0,0494%	0,833	12,77%

Genel olarak Model-2’nin performans sonuçlarının Model-1 ile elde edilen sonuçlara benzerliği görülmektedir. Senaryo-1 ve senaryo-2 için küçük farklılıklar bulunmakla beraber, senaryo-3 ve senaryo-4 için aynı performans sonuçları elde edilmiştir. Buna göre Model-2’nin tutarlı sonuç ürettiği ve optimal boyutlandırma modeli olarak başarılı olduğu görülmüştür.

6.4 Güneş Radyasyonu Tahmin Yönteminin Performansa Etkisi

Güneş radyasyonu tahmin yöntemleri arasında, klasik zaman serileri, SARIMA modelleri ve bulanık zaman serileri yöntemleri incelenmiş, mevcut yöntemleri iyileştiren hibrid bulanık zaman serisi modelleri geliştirilmiştir. Tüm bu yöntemler geçmiş verilere uygulanarak hata hesaplamaları yapılmıştır. En başarılı olarak seçilen deneme-8 hibrid bulanık zaman serisi modeliyle gelecek yıllara ait tahminler üretilmiştir. Bu tahminler kullanılarak optimal boyutlandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Bu aşamada diğer başarılı yöntemlerle gelecek tahminleri hesaplanıp, tahminlerdeki farkların boyutlandırma sonuçlarına ve sistem performansına etkisi araştırılmıştır. Geliştirilen hibrid bulanık zaman serisi modellerinden deneme-7 ve deneme-4, Singh (2008) ve Chen (2002) bulanık zaman serisi modelleri, klasik zaman serisi modeli olan mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemi, SARIMA modelleri olan $ARIMA(0,1,1)*(0,1,0)_{12}$ ve $ARIMA(1,1,1)*(1,1,0)_{12}$ ile bunların logaritma dönüşümüyle uygulanması mevcut verilerle test edilmiştir. Böylece farklı radyasyon ve sıcaklık tahmin girdileriyle elde edilen optimal boyutlardaki sistemin özelliklerinde ve performansında oluşan değişim incelenmiştir.

Bu aşamada optimal boyutlandırma modellerinden Model-1 ve Senaryo-1 için elde edilen aylık ortalama değerlere göre performans göstergeleri kıyaslanmıştır. Diğer senaryolar ve Model-2 için performans karşılaştırmasının benzer olacağı varsayılarak analiz yapılmamıştır. Öncelikle her model için Antalya'ya ait radyasyon gelecek tahminleri üretilmiştir. Ardından Antalya sıcaklık gelecek tahminleri benzer şekilde hesaplanmıştır. Radyasyon ve sıcaklık tahminleri kullanılarak, PV dizisinin eğim açısı optimizasyonu yapılmış ve bulunan sonuçlara göre eğik radyasyon değerleri hesaplanmıştır. Bu eğik radyasyon değerlerini de kullanarak optimal boyutlandırma modeli çalıştırılmıştır. Sonuç olarak en yüksek güvenilirlik düzeyine ve en düşük maliyete sahip optimal sistem boyutları elde edilmiştir. Her modele ait radyasyon tahmin hatası değeri (MSE), yıllık optimal eğim açısı, optimal PV modül sayısı, optimal su tankı depolama günü sayısı Çizelge 6.5'te listelenmiştir. Ayrıca bu çizelgede, optimal sistem boyutlarına göre oluşturulan sistemin performans göstergeleri de yer almıştır.

Bu hesaplamalar yapılırken deneme-4 tahmin modelinin işlem süresinin çok uzun olduğu tekrar gözlenmiştir (2726,58 saniyede tahmin üretebilmiştir). Bu modelle istenilen güvenilirlik düzeyi olan $DPSP \leq 0,01$ şeklinde uygun konfigürasyon bulunamamıştır. İstenilen güvenilirlik düzeyini düşürünce optimal boyut sonuçları elde edilebilmiştir ($DPSP \leq 0,12$). Benzer şekilde Chen (2002) modeli için güvenilirlik düzeyini düşürünce sonuç edilebilmiştir ($DPSP \leq 0,04$). Zaman serisi modellerinde de $ARIMA(0,1,1)*(0,1,0)_{12}$ için güvenilirlik düzeyini düşürünce sonuç edilebilmiştir ($DPSP \leq 0,45$). Aynı şekilde logaritma dönüşümü sonrası uygulanan $ARIMA(0,1,1)*(0,1,0)_{12}$ modeli için güvenilirlik düzeyini düşürünce sonuç edilebilmiştir ($DPSP \leq 0,45$). $ARIMA(1,1,1)*(1,1,0)_{12}$ için ise gelecek tahminleri en

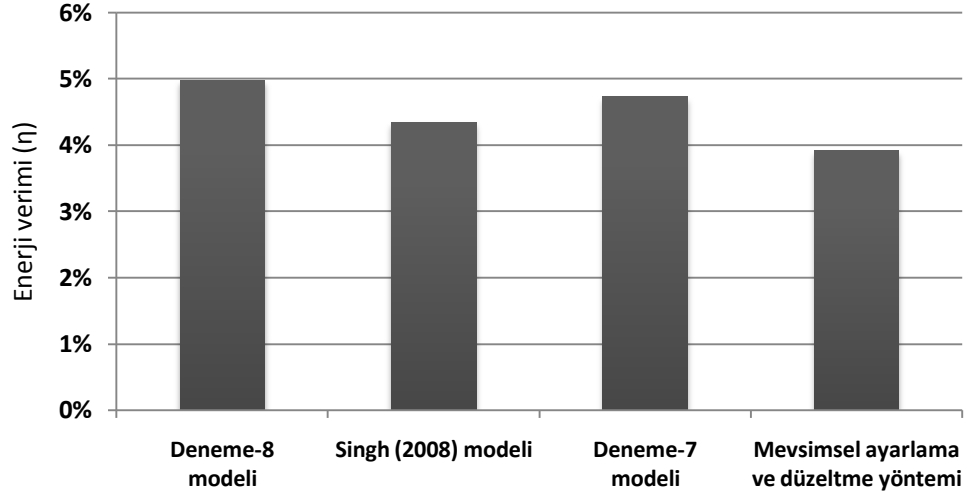
fazla 2022 yılına kadar yapılabilmektedir. Sonraki yıllarda yakınsama olmadığı için tahmin üretilenmemiştir ve bu nedenle model başarısız kabul edilmiştir. Logaritma dönüşümü sonrası uygulanan $ARIMA(1,1,1)*(1,1,0)_{12}$ modeli için de gelecek tahminleri en fazla 2034 yılına kadar yapılabilmektedir. Fakat varsayılan sistem ömrü 2039 yılına kadardır. Tüm gelecek yıllar için sonuç elde edilemediğinden model başarısız kabul edilmiş ve optimal boyutlandırma ile performans analizi süreçleri uygulanamamıştır.

Çizelge 6.5'te listelenen sonuçlara göre güneş radyasyon tahmin yöntemlerinin, PV sulama sistemi performansına etkileri görülmektedir. Tahmin hatasına göre küçükten büyüğe sıralanan yöntemler için performans değerlerinin de ters orantılı olduğu gözlenmiştir. İstenilen güvenilirlik düzeyi olan $DPSP \leq 0,01$ seviyesinde sonuç üretebilen tahmin yöntemleri deneme-8, Singh (2008), deneme-7 ve mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemi olmuştur. Chen (2002) ve deneme-4 yüksek dereceden modeller ancak düşük güvenilirlik seviyesinde sonuç vermiştir. Bu nedenle hesaplanan performans değerlerini, istenilen teknik güvenilirlik azaltıldığında elde etmek mümkün olmuştur. Mevsimsel zaman serisi modelleri olan 4 SARIMA modelinde ise, hem tahmin hataları çok yüksek bulunmuş, hem de güvenilirlik oldukça düşürülünce performans sonucu elde edilebilmiştir. $ARIMA(0,1,1)*(0,1,0)_{12}$ ve logaritma dönüşümü ile $ARIMA(0,1,1)*(0,1,0)_{12}$ modellerinin performans sonuçlarının yüksek olması, hem çok düşük güvenilirlik için hesap yapılması hem de optimal boyutların büyük elde edilmesi nedeniyledir. $ARIMA(1,1,1)*(1,1,0)_{12}$ ve logaritma dönüşümü ile $ARIMA(1,1,1)*(1,1,0)_{12}$ modellerinde ise sistem ömrü kadar gelecek tahmini üretilmediği için boyutlandırma ve performans analizi yapılamamıştır.

Çizelge 6.5 : Tahmin yöntemlerinin performans karşılaştırması.

Model adı	Tahmin hatası (MSE)	Optimal eğim açısı	Npv (adet)	Nsd (gün)	Y_{Final} (kWh /kWp)	PR (%)	CF (%)	L (saat)	η (%)
Deneme-8	0,098	34°	56	2	1,61	28,98%	0,0184%	3,310	4,98%
Singh (2008)	0,361	34°	61	1	1,48	25,51%	0,0169%	3,695	4,35%
Chen (2002), derece=2 (Güvenilirlik düşürüldü)	0,395	33°	64	1	1,37	25,65%	0,0156%	2,986	4,78%
Deneme-7	2,029	34°	59	1	1,53	27,55%	0,0175%	3,391	4,73%
Deneme-4, derece=2 (Güvenilirlik düşürüldü)	93,382	33°	72	3	1,11	21,11%	0,0127%	2,934	4,19%
Mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemi	171842,3	36°	57	2	1,61	24,33%	0,0184%	4,641	3,92%
ARIMA(1,1,1)*(1,1,0)₁₂ (Gelecek tahmini üretmedi)	328879,1	-	-	-	-	-	-	-	-
ARIMA(0,1,1)*(0,1,0)₁₂ (Güvenilirlik düşürüldü)	377838,8	28°	69	1	0,75	32,76%	0,0085%	0,777	7,46%
Log. dönüşümü ile ARIMA(1,1,1)*(1,1,0)₁₂ (Gelecek tahmini üretmedi)	440864,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Log. dönüşümü ile ARIMA(0,1,1)*(0,1,0)₁₂ (Güvenilirlik düşürüldü)	479852,2	31°	74	5	0,70	73,45%	0,0080%	0,858	6,86%

En düşük tahmin hatasına sahip olan deneme-8 hibrid bulanık zaman serisi modelinin, istenilen güvenilirlik düzeyinde en yüksek performansı sağladığı görülmüştür. İstenilen güvenilirlikte sonuç üreten modellerin enerji verimi karşılaştırması Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Buna göre 2.sırada deneme-7 modeli, 3.sırada Singh (2008) modeli ve son olarak mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemi başarılı olmuştur. Tahmin modelinin başarısı düştükçe, başka deyişle tahmin hatası arttıkça, hesaplanan optimal boyutlar da değişmiştir. Buna bağlı olarak, performans değerlerinin tahmini düşmüştür. Örneğin deneme-8 ile deneme-7 ele alındığında; deneme-7 ile tahmin hatası yaklaşık 20 kat artmış ve enerji verimi %5 düşmüştür. Deneme-8 ile Singh (2008) modelleri ele alındığında ise; Singh (2008) ile tahmin hatası yaklaşık 4 kat artmış ve enerji verimi %12 düşmüştür.



Şekil 6.2 : Tahmin modellerinin enerji verimi karşılaştırması.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, herhangi bir ülkenin sosyal ve ekonomik gelişimi için hayati öneme sahiptir. Günümüzde küresel enerji talebinin %80'i fosil yakıtlar tarafından karşılanmaktadır. Ancak petrolün azalması, artan nüfus ve dolayısıyla artan enerji talebi nedeniyle, güç üretimi yeni bir döneme girmiştir. Bu dönemde iklim değişimi de dikkate alınarak, hidrokarbona dayanan bir ekonomi ile enerjinin etkin kullanımı hedeflenmektedir. Düşük karbon içeren uygulamalar için sürdürülebilir bir gelişime ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle doğal enerji kaynakları (güneş, rüzgar, biyokütle gibi) öne çıkmış ve bu önemli potansiyel, çeşitli devlet teşvikleri ve projelerle değerlendirilmeye başlanmıştır. Bu kaynakların tasarım optimizasyonu sağlanarak elektrik enerjisinin etkin kullanımı gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca yenilenebilir kaynaklar sayesinde daha esnek ve dinamik bir yapı elde edilebilir, güç üretiminden talebin karşılandığı seviyeye kadar dağıtılmış üretim yönetimi sağlanabilir ve böylece talebe daha etkin şekilde cevap verilebilmektedir (Luna-Rubio ve diğ., 2012).

Yenilenebilir kaynakların içinde güneş enerjisi, üretimi sırasında zararlı gazların salınımı olmaması ve bu tür sistemlerin bakım ve onarım maliyetlerinin düşük olması gibi avantajlara sahiptir. Güneş (PV) panelleri sayesinde güneş ışığı doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Ancak güneş enerjisi verimli bir enerji kaynağı olmasına rağmen, uygulamada geride kalmıştır. Bunun nedeni, ilk kurulum maliyetinin yüksek olması ve hava durumu koşullarına oldukça bağımlı olmasıdır. Hava durumuna bağlı olarak rastsal değişkenlik olması maliyetlerini etkilemekte ve düşük kapasiteli uygulamalar olmasına neden olmaktadır (Pedro ve Coimbra, 2012). Bu nedenle güneş enerjisinin tahmini önem kazanmaktadır. Tahmin yöntemleri, mevcut enerji kaynaklarının etkin kullanımı, güvenli ve ekonomik güç sistemi tasarımı için temel görev olmaktadır (Bracale ve diğ., 2013).

Ancak elektrik yük profili ve sistem bileşenlerinin doğrusal olmayan özellikleri, enerji sistemlerinin tasarımını zorlaştırmaktadır. Tekno-ekonomik olarak uygulanabilirliği araştırılırken her bir bileşenin uygun boyutlandırılması gerekmektedir (Luna-Rubio ve diğ., 2012). Dolayısıyla yenilenebilir enerji

kaynaklarının kullanımı temel olarak optimal boyutlandırma yöntemlerine bağlı olmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, bir güneş enerjisi sisteminden üretilebilecek enerjinin tahmini için radyasyon (ışınım) değerlerinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Literatürde bulunan çeşitli tahmin modelleri incelenerek, radyasyon verisinin düzensiz yapısına en uygun olan ve en az hata üreten yöntemler tercih edilmiştir. Birçok model karşılaştırması sonucu, gerçek veriye uygulanacak zaman serisi ve bulanık zaman serisi modellerinin seçimi yapılmıştır. Bulanık zaman serileri aşağıdaki özelliklere sahip olduğu ve klasik yöntemlerden üstün olduğu için tercih edilmiştir.

- Normallik, durağanlık, en az 50 veri koşulu şart değildir ve az veriyle çalışabilir.
- Fark alma gerektirmez ve Box-Jenkins gibi deneme yanılma süreci yoktur.
- Doğrusal olmayan, belirsiz veriyle çalışabilir. Bu veriyi bileşenlerine ayırtmak şart değildir.
- Dilsel veriyle çalışabilir.
- Bulanık ilişkilerle işlem yapar, fonksiyonlar yoktur.
- Tahmin doğruluğu yüksektir.

Geliştirilen hibrid bulanık zaman serisi modelleri (8 deneme model) test edilmiştir. Bu modeller literatürdeki mevcut BZS çalışmalarının başarılı olan adımlarının birleştirilmesi ve geliştirilmesi ile elde edilmiştir. Tahmin doğruluk sonuçlarına göre geliştirilen hibrid modellerin başarısı gösterilmiştir. Klasik zaman serisi ve mevcut bulanık zaman serisi modellerine göre birçok özellik iyileştirilmiştir. Öncelikle ön analiz ile interpolasyon kullanarak eksik veriler tahmin edilmiş, durağanlık araştırılmış ve gerekli dönüşümler yapılmıştır. Mevsimsel veri olması nedeniyle mevsimsellikten arındırma için indeksler kullanılmıştır. Geliştirilen bulanık zaman serilerinde evrensel küme tanımı keyfilikten uzaklaştırılmış ve istatistiksel olarak tanımlanmıştır. Ayrıca yüzde ve değişim değerlerine göre tanımlanarak da test edilmiştir. Evrensel küme farklı uzunluktaki aralıklara parçalanmış, sıklığa göre tekrar parçalama yapılabilmiştir. En az hatayı veren optimal aralıkların bulunması için genetik algoritmalar uygulanmıştır. Üçgen bulanık sayılar yerine yamuk bulanık sayılar kullanılmıştır. Yüksek dereceden bulanık ilişkiler test edilmiş, tekrar eden ilişkiler değerlendirilmiş ve böylece bilgi eksikliği önlenmiştir. Bulanık ilişkilerin kronolojik sıraya göre veya indeks-tabanlı olarak farklı ağırlıklandırılması da test

edilmiştir. Bulanıklık kaldırma aşamasında kitle merkezi yönteminin yanı sıra α -kesiti kullanılmıştır. Modeller örnek dönem için çalıştırılmış, gelecek tahminleri örnek-sonrası dönem için gerçekleştirilmiştir. Kalıntı analizi ve rastsallık kontrolleri yapılmıştır. Tüm bu aşamalar MATLAB'ta yazılan kod ve programlar sayesinde hızlı uygulanabilmektedir. Geçmiş ölçüm verileri toplanmış, seçilen modeller yardımıyla tahminler üretilmiştir. Türkiye'ye ait verilerle elde edilen tahmin sonuçlarından enerji üretim tahmin hesaplaması ve bu tahminlerin bir güneş enerjisi uygulamasında kullanılması hedeflenmiştir. Bunun için tarımsal sulamada sıkça kullanılan PV su pompalama sistemleri için büyüklük optimizasyonu incelenerek, su ihtiyacı, güvenilirlik ve ekonomiklik boyutları değerlendirilerek optimal sistem boyutunu (panel sayısı ve depolama birimi kapasitesi) ve optimal eğim açısını öneren modeller geliştirilmiştir. Tek başına (şebekeden bağımsız) bir PV su pompalama ve sulama sistemi için hem performans hem de ekonomiklik açısından optimal tasarım hedeflenmiştir.

Bu kapsamda maksimum güvenilirlik ve minimum maliyet sağlayacak şekilde boyutlandırma uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Literatürde sistem performansı ve güvenilirliği genellikle LLP, LPSP gibi parametrelere dayanarak sayısallaştırılmıştır. Maliyet ise yaşam döngüsü maliyeti (LCC), net şimdiki değer (NPV), seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE) gibi parametreler yardımıyla ele alınmıştır. Bu çalışmada ise güvenilirlik DPSP ve ekonomik analiz LCC parametresiyle ifade edilmiştir. Burada birbirini etkileyen ve çelişen iki amaç mevcuttur. İki amacı da aynı anda dikkate alarak, çok amaçlı optimizasyon modelleri geliştirilmiş ve analitik olarak çözüm yolları araştırılmıştır. Sayısal algoritma çalıştırılan Model-1 ile analitik olarak çözülen Model-2 arasında karşılaştırma yapılmıştır. Bu modeller, tahmin edilen aylık güneş radyasyon ve sıcaklık verilerini girdi olarak kabul etmiştir ve buna bağlı olarak güneş enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır. Bir diğer girdi ise karşılanması gereken enerji talebidir. Sulama için gereken su ihtiyacı, dolayısıyla pompalanacak su miktarı ile pompalama için gereken enerjinin bilinmesi veya tahmin edilmesi gereklidir. Bu tez çalışmasında, tarım alanındaki ekinin su ihtiyacını belirlemek için kullanılan CROPWAT isimli program kullanılmıştır. Ayrıca PV su pompalama sistemi, simülasyon ve yazılımlar (Calculationsolar, PV*Sol, Sunny Design, ATV312 Solar Sizer, HYBRID2, RETScreen, SKELION, PVSYST, HOMER, MATLAB-Simulink vs.) yardımıyla modellenenilmekte, performans analizleri

yapılabilmektedir. Ek olarak, bu tez çalışmasında depolama birimi seçimi (su tankı veya pil) ve eğim açısı değişimi de farklı senaryolarda ele alınarak performans ve maliyet açısından değerlendirilmiştir. Yıllık ve mevsimsel olarak optimal eğim açısını hesaplayan algoritma geliştirilmiştir.

Bu çalışmada yalnızca tek başına PV sulama sistemi ele alınmıştır. Gelecek çalışmalarda diğer mevcut sistemlere (güneşi takip eden hareketli sistem, dizel sistem, hibrid sistemler, dağınık üretim, vb.) göre PV sulama sisteminin etkinliği ve maliyeti kıyaslanabilecektir. Farklı bir senaryo olarak dizel pompa veya elektrikli pompanın kullanımı ele alınabilir. Böylece PV sistemlerle hem güvenilirlik hem de maliyet karşılaştırması sonucunda, PV kullanımının uzun dönemde etkin olan seçenek olduğu gösterilebilecektir. Burada sabit eğimli güneş panelleri yerine güneşi 2 ekseninde takip eden hareketli sistem kullanılabilir. Bu nedenle gelecek çalışma olarak mevsimsel eğim açısı yerine aylık olarak açı değişimi ve güneşi 1 ya da 2 ekseninde takip eden hareketli sistemler incelenebilir. Güneşi takip eden sistemler performansı arttıracak gibi maliyetleri de arttıracaktır. Sabit veya mevsimsel eğim açısına sahip sistemlerle karşılaştırmalı analizi yapılabilir. Yakıtlı çalışan dizel sistem de karşılaştırmak için kullanılabilir. PV sulama sisteminin avantajları gösterilebilecektir. Başka sistemlerle karşılaştırma yapılan çalışmalar bu konuda örnek alınabilecektir (Abu-Aligah, 2011). Ayrıca piller gibi kullanılan tüm sistem bileşenleri, yeni teknolojiler bulundukça geliştirilmekte ve maliyetleri düşürülebilmektedir. Örneğin fazla üretilen güneş enerjisini depolamak için tümüyle sıvıdan piller geliştirilmiştir. Gelecekte bu ucuz ve verimli bileşenlerin sisteme dahil edilmesiyle daha düşük maliyete sahip PV sistemler kurulabilecektir.

Gelecek çalışmalar için performans analizinde kullanılan PVSYST yazılımı yerine, MATLAB/Simulink ile anlık sonuç üreten bir PV pompalama sisteminin tasarımı gerçekleştirmek hedeflenmiştir. Böylece daha detaylı sonuçlar üreten bir simülasyon modeli elde edilebilecektir. Geliştirilen tahmin yöntemleri ve optimal boyutlandırma modelleri bölgeden bağımsız olarak kolaylıkla uygulanabilen yöntemlerdir. Bu çalışmada seçilen Antalya verilerinin haricinde, başka bir bölgeye veya bitkiye ait verilerle de uygulama yapılabilir. Ayrıca hibrid bulanık zaman serisi yöntemleri daha yüksek dereceden ilişkiler ve çok faktörlü olarak geliştirilebilecektir. Örneğin Chen ve Hwang (2000) çalışmasındaki gibi bulut yoğunluğu ikinci faktör olarak hesaplamalara dahil edilebilecektir. Bu çalışmada kullanılan klasik (tip-1) bulanık

kümeler yerine, tip-2 veya sezgici bulanık kümelerle yeni tahmin modelleri geliştirilebilecektir. Test edilen radyasyon verisi aylık seviyededir fakat günlük, saatlik ve hatta güneş enerjisi uygulamasının ihtiyacına bağlı olarak dakikalık sıklıkta veriyle tahminler hesaplanabilecektir. Geliştirilen tahmin yöntemleri radyasyon dışında, yük talebi tahminleri için de uygulanabilecektir. Optimal boyutlandırma aşamasında ise analitik modelin çözümü için diğer çok amaçlı optimizasyon yöntemleri uygulanabilecektir. Amaçların ağırlıklandırılması için uzman görüşlerinden yararlanıp, teknik ve ekonomik açıdan farklı ağırlıklar atanabilecektir. Üçüncü olarak çevresel amaç ilave edilebilecektir. Bulanık zaman serisi tahminlerinde bulanıklık kaldırılmadan, optimal boyutlandırma modeline girdi olarak kullanılması, optimizasyon sürecinin bulanık mantık yaklaşımlarıyla gerçekleşmesi de gelecek çalışmalarda geliştirilebilecektir.

Bu çalışmada incelenen sistem yalnızca PV içermektedir. Fakat optimizasyon modeli, PV/rüzgar gibi birden fazla enerji kaynağını içeren hibrid sistemler için geliştirilebilir. Ayrıca termal, rüzgar, biyokütle gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları için de geliştirilen tahmin yöntemleri ve optimal boyutlandırma modelleri uyarlanabilir. Ek olarak, bu çalışmada tek başına PV sistemi ele alınmıştır ancak modeller şebekeye bağlı veya hibrid sistemlere uygun şekilde geliştirilebilir. Şebekeye bağlı sistemlerde fazla elektrik üretiminin şebekeye satışı sağlanabilir. Mevcut sistemde otonomi günleri için su tankı veya piller ile fazla enerji depolanmıştır ancak kapasitesini aşan enerji üretimleri de olmuştur. Bu durumlarda fazla elektrik üretiminin şebekeye satışı modele eklenerek gelecek çalışmalarda geliştirilebilir. Son olarak PV sulama sisteminden elde edilen fazla enerjinin aydınlatma amacıyla kullanılması düşünülebilir. Bunu gerçekleştiren çalışmalar mevcuttur. Benzer şekilde fazla üretilen elektrik, ev ihtiyaçları için de kullanılabilir. Böylece enerji kayıpları azalacak ve sistemden çok amaçlı olarak faydalanılabilecektir.

KAYNAKLAR

- Abdul Karim, S.N.A., Ahmed, S.A., Nischitha, V., Bhatt, S., Raj, S.K. ve Chandrashekarappa, K.N.** (2013). FAO 56 model and remote sensing for the estimation of crop-water requirement in main branch canal of the Bhadra command area, Karnataka State. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41 (4), 883-894.
- Abu-Aligah, M.** (2011). Design of photovoltaic water pumping system and compare it with diesel powered pump. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 5 (3), 273-280.
- Adeniran, K.A., Amodu, M.F., Amodu, M.O. ve Adeniji, F.A.** (2010). Water requirements of some selected crops in Kampe dam irrigation project. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 1 (4), 119-125.
- Ahmad, M.J. ve Tiwari, G.N.** (2009). Optimization of tilt angle for solar collector to receive maximum radiation. *The Open Renewable Energy Journal*, 2, 19-24.
- Akgül, I.** (2003a). *Geleneksel Zaman Serisi Yöntemleri*. İstanbul: Der Yayınları.
- Akgül, I.** (2003b). *Zaman Serilerinin Analizi ve ARIMA Modelleri*. İstanbul: Der Yayınları.
- Aksoy, B., Ener Rüsen, S. ve Akınoğlu, B.G.** (2011). A simple correlation to estimate global solar irradiation on a horizontal surface using METEOSAT satellite images. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 35, 125-137.
- Aktaş, A. ve Yılmaz, E.** (2012). A suitable model to estimate global solar radiation in Black Sea shoreline countries. *Energy Sources, Part A*, 34 (17), 1628-1636.
- Aktaş, C. ve Akkurt, H.** (2006). ARCH modelleri ve Türkiye'ye ait otomobil üretimi verilerinin farklı varyanslığının incelenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16, 87-106.
- Al Riza, D.F. ve Gilani, S.I.H.** (2014). Standalone photovoltaic system sizing using peak sun hour method and evaluation by TRNSYS simulation. *International Journal of Renewable Energy Research*, 4 (1), 109-114.
- Aladağ, Ç.H., Başaran, M.A., Eğrioğlu, E., Yolcu, U. ve Uslu, V.R.** (2009). Forecasting in high order fuzzy times series by using neural networks to define fuzzy relations. *Expert Systems with Applications*, 36 (3), 4228-4231.
- Aladağ, Ç.H., Eğrioğlu, E., Günay, S. ve Yolcu, U.** (2010a). Yüksek dereceli bulanık zaman serisi modeli ve IMKB uygulaması. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi-A: Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 11 (2), 95-101.

- Aladağ, Ç.H., Yolcu, U. ve Eğrioğlu, E.** (2010b). A high order fuzzy time series forecasting model based on adaptive expectation and artificial neural networks. *Mathematics and Computers in Simulation*, 81 (4), 875-882.
- Aladağ, Ç.H., Yolcu, U., Eğrioğlu, E. ve Dalar, A.Z.** (2012). A new time invariant fuzzy time series forecasting method based on particle swarm optimization. *Applied Soft Computing*, 12 (10), 3291-3299.
- Alharbi, M.A.** (2013). *Daily global solar radiation forecasting using ANN and extreme learning machine: A case study in Saudi Arabia*. (Yüksek lisans tezi). Dalhousie University, Department of Electrical and Computer Engineering, Nova Scotia.
- Ali, M.H.** (2010). Crop Water Requirement and Irrigation Scheduling. In *Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management* (Vol.1, pp.399-452). New York: Springer.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. ve Smith, M.** (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Irrigation and Drainage Paper*, 56, Rome.
- Altın, A.** (2007). Dodurga barajına giren su miktarının Box-Jenkins tekniği ile modellenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (1), 81-100.
- Amer, E.H. ve Younes, M.A.** (2006). Estimating the monthly discharge of a photovoltaic water pumping system: Model verification. *Energy Conversion and Management*, 47 (15-16), 2092-2102.
- Angstrom, A.** (1924). Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50 (210), 121-126.
- Arab, A.H., Benghanem, M. ve Gharbi, A.** (2005). Dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque. *La Revue des Energies Renouvelables*, 8, 19-26.
- Arab, A.H., Chenlo, F., Mukadam, K. ve Balenzategui, J.L.** (1999). Performance of PV water pumping systems. *Renewable Energy*, 18 (2), 191-204.
- Argaw, N.** (2004). *Renewable Energy Water Pumping Systems Handbook*. Denver, Colorado: National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Arun, P., Banerjee, R. ve Bandyopadhyay, S.** (2009). Optimum sizing of photovoltaic battery systems incorporating uncertainty through design space approach. *Solar Energy*, 83 (7), 1013-1025.
- Ashok, S.** (2007). Optimised model for community-based hybrid energy system. *Renewable Energy*, 32 (7), 1155-1164.
- Atanassov, K.T.** (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20 (1), 87-96.
- Atiyas, İ., Çetin, T. ve Gülen, G.** (2012). Alternative Energy Options for Turkey. In *Reforming Turkish Energy Markets, Political Economy, Regulation*

- and Competition in the Search for Energy Policy* (pp.103-155). New York: Springer Science+Business Media.
- Atlas, M.** (2008). Çok amaçlı programlama çözüm tekniklerinin sınıflandırılması. *Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (1), 47-68.
- Attia, A-F., Abdel-Hamid, R. ve Quassim, M.** (2005). Prediction of solar activity based on neuro-fuzzy modeling. *Solar Physics*, 227 (1), 177-191.
- Avazbeigi, M., Doulabi, S.H.H. ve Karimi, B.** (2010). Choosing the appropriate order in fuzzy time series: A new N-factor fuzzy time series for prediction of the auto industry production. *Expert Systems with Applications*, 37 (8), 5630-5639.
- Aydın, I., Karaköse, M. ve Akın, E.** (2009). The prediction algorithm based on fuzzy logic using time series data mining method. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 51, 91-98.
- Ayompe, L.M., Duffy, A., McCormack, S.J. ve Conlon, M.** (2011). Measured performance of a 1.72 kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland. *Energy Conversion and Management*, 52 (2), 816-825.
- Azimli, A.** (2011). *Matematiksel Optimizasyon*. İstanbul: Papatya Yayınevi.
- Bacher, P.** (2012). *Models for efficient integration of solar energy*. (Doktora tezi). Technical University of Denmark, Informatics and Mathematical Modeling, Denmark.
- Bacher, P., Madsen, H. ve Nielsen, H.A.** (2009). Online short-term solar power forecasting. *Solar Energy*, 83 (10), 1772-1783.
- Bacher, P., Madsen, H., Perers, B. ve Nielsen, H.A.** (2013). A non-parametric method for correction of global radiation observations. *Solar Energy*, 88, 13-22.
- Badoud, A.E., Khemliche, M., Bouamama, B.O., Bacha, S. ve Villa, L.F.L.** (2013). Bond graph modeling and optimization of photovoltaic pumping system: Simulation and experimental results. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 36, 84-103.
- Bai, E., Wong, W.K., Chu, W.C., Xia, M. ve Pan, F.** (2011). A heuristic time-invariant model for fuzzy time series forecasting. *Expert Systems with Applications*, 38 (3), 2701-2707.
- Bakelli, Y., Arab, A.H. ve Azoui, B.** (2011). Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept. *Solar Energy*, 85 (2), 288-294.
- Bakırcı, K.** (2006). Optimum toplayıcı eğim açısının aylara göre değişimi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 47 (562), 26-30.
- Bakırcı, K.** (2007). Yatay yüzeye gelen global güneş ışınımının tahmini. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 27 (1), 7-11.
- Bakırcı, K.** (2012). General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (8), 6149-6159.

- Bakos, G.C. ve Tsagas, N.F.** (2003). Technoeconomic assessment of a hybrid solar/wind installation for electrical energy saving. *Energy and Buildings*, 35 (2), 139-145.
- Balouktsis, A., Karapantsios, T.D., Antoniadis, A., Paschaloudis, D., Bezergiannidou, A. ve Bilalis, N.** (2006). Sizing stand-alone photovoltaic systems. *International Journal of Photoenergy*, 2006, 1-8.
- Barra, L., Catalanotti, S., Fontana, F. ve Lavorante, F.** (1984). An analytical method to determine the optimal size of a photovoltaic plant. *Solar Energy*, 33 (6), 509-514.
- Baş, E.** (2011). *Bulanık zaman serisi çözümlemesi için genetik algoritmaya dayalı yeni bir yaklaşım.* (Yüksek lisans tezi). On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Bataineh, K. ve Dalalah, D.** (2012). Optimal configuration for design of stand-alone PV system. *Smart Grid and Renewable Energy*, 3 (2), 139-147.
- Belfkira, R., Zhang, L. ve Barakat, G.** (2011). Optimal sizing study of hybrid wind/PV/diesel power generation unit. *Solar Energy*, 85 (1), 100-110.
- Belmili, H., Haddadi, M., Bacha, S., Almi, M.F. ve Bendib, B.** (2014). Sizing stand-alone photovoltaic-wind hybrid system: Techno-economic analysis and optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 821-832.
- Benghanem, M.** (2011). Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia. *Applied Energy*, 88 (4), 1427-1433.
- Benghanem, M. ve Arab, A.H.** (2007). Photovoltaic water pumping systems for Algeria. *Desalination*, 209 (1), 50-57.
- Benghanem, M. ve Mellit, A.** (2010). Radial Basis Function Network-based prediction of global solar radiation data: Application for sizing of a stand-alone photovoltaic system at Al-Madinah, Saudi Arabia. *Energy*, 35 (9), 3751-3762.
- Benghanem, M., Daffallah, K.O., Alamri, S.N. ve Joraid, A.A.** (2014). Effect of pumping head on solar water pumping system. *Energy Conversion and Management*, 77, 334-339.
- Benghanem, M., Daffallah, K.O., Joraid, A.A., Alamri, S.N. ve Jaber, A.** (2013). Performances of solar water pumping system using helical pump for a deep well: A case study for Madinah, Saudi Arabia. *Energy Conversion and Management*, 65, 50-56.
- Benghanem, M., Mellit, A. ve Alamri, S.N.** (2009). ANN-based modelling and estimation of daily global solar radiation data: A case study. *Energy Conversion and Management*, 50 (7), 1644-1655.
- Benlarbi, K., Mokrani, L. ve Nait-Said, M.S.** (2004). A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water pumping system. *Solar Energy*, 77 (2), 203-216.

- Benmouiza, K. ve Cheknane, A.** (2013). Forecasting hourly global solar radiation using hybrid *k*-means and nonlinear autoregressive neural network models. *Energy Conversion and Management*, 75, 561-569.
- Bernal-Aguştín, J.L. ve Dufo-López, R.** (2009a). Multi-objective design and control of hybrid systems minimizing costs and unmet load. *Electric Power Systems Research*, 79 (1), 170-180.
- Bernal-Aguştín, J.L. ve Dufo-López, R.** (2009b). Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (8), 2111-2118.
- Bernecker, D., Riess, C., Angelopoulou, E. ve Hornegger, J.** (2012). Towards improving solar irradiance forecasts with methods from computer vision. In *Computer Vision in Applications Workshop*.
- Beyazgül, M., Kayam, Y. ve Engelsman, F.** (2000). Estimation methods for crop water requirements in the Gediz Basin of western Turkey. *Journal of Hydrology*, 229 (1-2), 19-26.
- Bhardwaj, S., Sharma, V., Srivastava, S., Sastry, O.S., Bandyopadhyay, B., Chandel, S.S. ve Gupta, J.R.P.** (2013). Estimation of solar radiation using a combination of hidden Markov model and generalized fuzzy model. *Solar Energy*, 93, 43-54.
- Bian, Z., Sha, Y. ve Lv, W.** (2010). Fuzzy multi-objective decision making method with incomplete weighting factors information in the solar investment project evaluation. *Sixth International Conference on Natural Computation*, 5, 2759-2763.
- Bilgili, M. ve Özgören, M.** (2011). Daily total global solar radiation modeling from several meteorological data. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 112 (3-4), 125-138.
- Bircan, H. ve Karagöz, Y.** (2003). Box-Jenkins modelleri ile aylık döviz kuru tahmini üzerine bir uygulama. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6 (2), 49-62.
- Boland, J.** (1995). Time-series analysis of climatic variables. *Solar Energy*, 55 (5), 377-388.
- Borowy, B.S. ve Salameh, Z.M.** (1994). Optimum photovoltaic array size for a hybrid wind/PV system. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 9 (3), 482-488.
- Bouzidi, B.** (2012). Effet de la variation de l'angle d'inclinaison du générateur sur le rendement des systèmes photovoltaïques: Application aux systèmes de pompage de l'eau. *Revue des Energies Renouvelables*, 15 (3), 521-531.
- Bouzidi, B.** (2013). New sizing method of PV water pumping systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 4, 1-10.
- Bouzidi, B., Haddadi, M. ve Belmokhtar, O.** (2009). Assessment of a photovoltaic pumping system in the areas of the Algerian Sahara. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (4), 879-886.

- Bowerman, B.L., O'Connell, R.T. ve Koehler, A.B.** (2005). *Forecasting, Time Series, and Regression: An Applied Approach* (4th ed.). USA: Thomson Brooks/Cole.
- Bozkurt, H.Y.** (2013). *Zaman Serileri Analizi*. Bursa: Ekin Basım Yayın Dağıtım.
- Boztepe, M.** (2009). Fotovoltaik sistemler. *EES 487 Yeni Enerji Kaynakları Ders Notları*. Erişim: 27 Eylül, 2014, <http://www.solar-academy.com/menus/Fotovoltaik-Sistemler.023954.pdf>
- Bracale, A., Caramia, P., Carpinelli, G., Di Fazio, A.R. ve Ferruzzi, G.** (2013). A Bayesian method for short-term probabilistic forecasting of photovoltaic generation in smart grid operation and control. *Energies*, 6 (2), 733-747.
- Brouwer, C. ve Heibloem, M.** (1986). Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. In *Training Manual* (No.3). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Bulut, H. ve Büyükalaca, O.** (2003). Diyarbakır ili için güneş verilerinin analizi ve tipik güneş ışınlam değerlerinin türetilmesi. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası, III. GAP ve SANAYİ Kongresi*.
- Cabral, C.V.T., Filho, D.O., Diniz, A.S.A.C., Martins, J.H., Toledo, O.M. ve Neto, L.V.B.M.** (2010). A stochastic method for stand-alone photovoltaic system sizing. *Solar Energy*, 84 (9), 1628-1636.
- Cai, Q.S., Zhang, D., Wu, B. ve Leung, S.C.H.** (2013). A novel stock forecasting model based on fuzzy time series and genetic algorithm. *Procedia Computer Science*, 18, 1155-1162.
- Campana, P.E., Li, H. ve Yan, J.** (2013). Dynamic modelling of a PV pumping system with special consideration on water demand. *Applied Energy*, 112, 635-645.
- Cano, A., Jurado, F., Sánchez, H., Fernández, L.M. ve Castañeda, M.** (2014). Optimal sizing of stand-alone hybrid systems based on PV/WT/FC by using several methodologies. *Journal of the Energy Institute*, 87 (4), 330-340.
- Cano, D., Monget, J.M., Albuissou, M., Guillard, H., Regas, N. ve Wald, L.** (1986). A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data. *Solar Energy*, 37 (1), 31-39.
- Cao, S.** (2010). Total daily solar irradiance prediction using recurrent neural networks with determinants. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 1-4.
- Cao, S., Weng, W., Chen, J., Liu, W., Yu, G. ve Cao, J.** (2009). Forecast of solar irradiance using chaos optimization neural networks. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 1-4.
- Capizzi, G., Bonanno, F. ve Tina, G.M.** (2011). Experiences on the design of stand alone photovoltaic system by deterministic and probabilistic methods. *IEEE International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Ischia, 328-335.

- Capizzi, G., Napoli, C. ve Bonanno, F.** (2012). Innovative second-generation wavelets construction with recurrent neural networks for solar radiation forecasting. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 23 (11), 1805-1815.
- Casares, F.J., Lopez-Luque, R., Posadillo, R. ve Varo-Martinez, M.** (2014). Mathematical approach to the characterization of daily energy balance in autonomous photovoltaic solar systems. *Energy*, 72, 393-404.
- Castañeda, M., Cano, A., Jurado, F., Sánchez, H. ve Fernández, L.M.** (2013). Sizing optimization, dynamic modeling and energy management strategies of a stand-alone PV/hydrogen/battery-based hybrid system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (10), 3830-3845.
- Castañer, L. ve Silvestre, S.** (2002). *Modelling Photovoltaic Systems using PSpice*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Chaabene, M.** (2008). Measurements based dynamic climate observer. *Solar Energy*, 82 (9), 763-771.
- Chaabene, M. ve Ammar, M.B.** (2008). Neuro-fuzzy dynamic model with Kalman filter to forecast irradiance and temperature for solar energy systems. *Renewable Energy*, 33 (7), 1435-1443.
- Chang, P-T.** (1997). Fuzzy seasonality forecasting. *Fuzzy Sets and Systems*, 90 (1), 1-10.
- Chang, Y-P.** (2010). Optimal the tilt angles for photovoltaic modules in Taiwan. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 32 (9), 956-964.
- Chapman, R.N.** (1990). The synthesis of solar radiation data for sizing stand-alone photovoltaic systems. *Conference Record of the Twenty First IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2, 965-970.
- Che, H.Z., Shi, G.Y., Zhang, X.Y., Arimoto, R., Zhao, J.Q., Xu, L., Wang, B. ve Chen, Z.H.** (2005). Analysis of 40 years of solar radiation data from China, 1961-2000. *Geophysical Research Letters*, 32 (6), 2341-2352.
- Chen, C., Duan, S., Cai, T. ve Liu, B.** (2011). Online 24-h solar power forecasting based on weather type classification using artificial neural network. *Solar Energy*, 85 (11), 2856-2870.
- Chen, M-Y.** (2014). A high-order fuzzy time series forecasting model for internet stock trading. *Future Generation Computer Systems*, 37, 461-467.
- Chen, M-Y. ve Chen, B-T.** (2013). Online fuzzy time series analysis based on entropy discretization and a Fast Fourier Transform. *Applied Soft Computing*, 14 (B), 156-166.
- Chen, S.X., Gooi, H.B. ve Wang, M.Q.** (2012). Sizing of energy storage for microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3 (1), 142-151.
- Chen, S.X., Gooi, H.B. ve Wang, M.Q.** (2013). Solar radiation forecast based on fuzzy logic and neural networks. *Renewable Energy*, 60, 195-201.
- Chen, S-G.** (2012). An efficient sizing method for a stand-alone PV system in terms of the observed block extremes. *Applied Energy*, 91 (1), 375-384.

- Chen, S-M.** (1996). Forecasting enrollments based on fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, 81 (3), 311-319.
- Chen, S-M.** (2002). Forecasting enrollments based on high-order fuzzy time series. *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 33 (1), 1-16.
- Chen, S-M. ve Chen, C-D.** (2011). Handling forecasting problems based on high-order fuzzy logical relationships. *Expert Systems with Applications*, 38 (4), 3857-3864.
- Chen, S-M. ve Chung, N-Y.** (2006a). Forecasting enrollments of students by using fuzzy time series and genetic algorithms. *Information and Management Sciences*, 17 (3), 1-17.
- Chen, S-M. ve Chung, N-Y.** (2006b). Forecasting enrollments using high-order fuzzy time series and genetic algorithms. *International Journal of Intelligent Systems*, 21 (5), 485-501.
- Chen, S-M. ve Hsu, C-C.** (2004). A new method to forecast enrollments using fuzzy time series. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 2 (3), 234-244.
- Chen, S-M. ve Hwang, J-R.** (2000). Temperature prediction using fuzzy time series. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 30 (2), 263-275.
- Chen, S-M. ve Tanuwijaya, K.** (2011). Multivariate fuzzy forecasting based on fuzzy time series and automatic clustering techniques. *Expert Systems with Applications*, 38 (8), 10594-10605.
- Chen, S-M. ve Wang, N-Y.** (2010). Fuzzy forecasting based on fuzzy-trend logical relationship groups. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 40 (5), 1343-1358.
- Chen, T-L., Cheng, C-H. ve Teoh, H-J.** (2007). Fuzzy time-series based on Fibonacci sequence for stock price forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 380, 377-390.
- Chen, T-L., Cheng, C-H. ve Teoh, H-J.** (2008). High-order fuzzy time-series based on multi-period adaptation model for forecasting stock markets. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387 (4), 876-888.
- Cheng, C-H., Chang, J-R. ve Yeh, C-A.** (2006a). Entropy-based and trapezoid fuzzification-based fuzzy time series approaches for forecasting IT project cost. *Technological Forecasting & Social Change*, 73 (5), 524-542.
- Cheng, C-H., Chen, T-L. ve Chiang, C-H.** (2006b). Trend-weighted fuzzy time-series model for TAIEX forecasting. *Neural Information Processing, Lecture Notes in Computer Science*, 4234, 469-477.
- Cheng, C-H., Chen, T-L., Teoh, H-J. ve Chiang, C-H.** (2008a). Fuzzy time-series based on adaptive expectation model for TAIEX forecasting. *Expert Systems with Applications*, 34 (2), 1126-1132.

- Cheng, C-H., Cheng, G-W. ve Wang, J-W.** (2008b). Multi-attribute fuzzy time series method based on fuzzy clustering. *Expert Systems with Applications*, 34 (2), 1235-1242.
- Cheng, C-H., Huang, S-F. ve Teoh, H-J.** (2011). Predicting daily ozone concentration maxima using fuzzy time series based on a two-stage linguistic partition method. *Computers and Mathematics with Applications*, 62 (4), 2016-2028.
- Cheng, C-H., Teoh, H-J. ve Chen, T-L.** (2007a). Forecasting stock price index using fuzzy time-series based on rough set. *Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 3, 336-340.
- Cheng, C-H., Teoh, H-J. ve Chen, T-L.** (2007b). High-order fuzzy time series based on rough set for forecasting TAIEX. *Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics (Hong Kong)*, 3, 1354-1358.
- Chiang, C-T., Lee, Y-S., Li, X.R. ve Liao, C-C.** (2012). A RSCMAC based forecasting for solar irradiance from local weather information. *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Brisbane, Australia, 1-7.
- Chikh, M., Mahrane, A. ve Bouachri, F.** (2011). PVSST 1.0 sizing and simulation tool for PV systems. *Energy Procedia*, 6, 75-84.
- Chou, H-L., Chen, J-S., Cheng, C-H. ve Teoh, H-J.** (2010). Forecasting tourism demand based on improved fuzzy time series model. *Intelligent Information and Database Systems, Lecture Notes in Computer Science*, 5990, 399-407.
- Chou, M-T.** (2008). A fuzzy time series model to forecast the BDI. *Fourth International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management*, 50-53.
- Chow, C.W., Urquhart, B., Lave, M., Dominguez, A., Kleissl, J., Shields, J. ve Washom, B.** (2011). Intra-hour forecasting with a total sky imager at the UC San Diego solar energy testbed. *Solar Energy*, 85 (11), 2881-2893.
- Chow, S.K.H., Lee, E.W.M. ve Li, D.H.W.** (2012). Short-term prediction of photovoltaic energy generation by intelligent approach. *Energy and Buildings*, 55, 660-667.
- Chowdhury, B.H.** (1990). Short-term prediction of solar irradiance using time-series analysis. *Energy Sources*, 12 (2), 199-219.
- Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B.V. ve Leahy, M.** (2010). A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied Energy*, 87 (4), 1059-1082.
- Cornejo, C.** (2003). *Use of an evapotranspiration model and a geographic information system (GIS) to estimate the irrigation potential of the trasvase system in the Santa Elena Peninsula, Guayas, Ecuador.* (Yüksek lisans tezi). University of Florida.

- Corrêa, T.P., Seleme Jr., S.I. ve Silva, S.R.** (2012). Efficiency optimization in stand-alone photovoltaic pumping system. *Renewable Energy*, 41, 220-226.
- Cuadros, F., López-Rodríguez, F., Marcos, A. ve Coello, J.** (2004). A procedure to size solar-powered irrigation (photoirrigation) schemes. *Solar Energy*, 76 (4), 465-473.
- Çam, E. ve Yıldız, O.** (2006). Prediction of Wind Speed and Power in the Central Anatolian Region of Turkey by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS). *Turkish Journal Engineering and Environmental Science*, 30, 35-41.
- Çemrek, F. ve Daloğlu, G.** (2010). Türkiye ve Dünya çinko cevher üretiminin zaman serisi analizi ile incelenmesi. 19. *İstatistik Araştırma Sempozyumu, Ana Teması İdari Kayıtlar ve İstatistik*, TÜİK, Ankara.
- Çuhadar, M., Güngör, İ. ve Göksu, A.** (2009). Turizm talebinin yapay sinir ağları ile tahmini ve zaman serisi yöntemleri ile karşılaştırmalı analizi: Antalya iline yönelik bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14 (1), 99-114.
- Daud, A-K. ve Ismail, M.S.** (2012). Design of isolated hybrid systems minimizing costs and pollutant emissions. *Renewable Energy*, 44, 215-224.
- David, M., Lauret, P. ve Boland, J.** (2013). Evaluating tilted plane models for solar radiation using comprehensive testing procedures, at a southern hemisphere location. *Renewable Energy*, 51, 124-131.
- Day, M.Y.** (1995). *Research of Applying Genetic Algorithms to Fuzzy Forecasting-Focus on Sales Forecasting*. (Yüksek lisans tezi). Tamkang Üniversitesi, Taipei, Tayvan, ROC.
- Dazhi, Y., Jirutitijaroen, P. ve Walsh, W.M.** (2012). Hourly solar irradiance time series forecasting using cloud cover index. *Solar Energy*, 86 (12), 3531-3543.
- Demain, C., Journée, M. ve Bertrand, C.** (2013). Evaluation of different models to estimate the global solar radiation on inclined surfaces. *Renewable Energy*, 50, 710-721.
- Demirel, Ö., Kakilli, A. ve Tektaş, M.** (2010). ANFIS ve ARMA modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (3), 601-610.
- Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS).** (2008). *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers* (2nd ed.). London, UK: The German Energy Society (DGS LV Berlin BRB), Earthscan Publications.
- Diaf, S., Diaf, D., Belhamel, M., Haddadi, M. ve Louche, A.** (2007). A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system. *Energy Policy*, 35 (11), 5708-5718.
- Diagne, M., David, M., Lauret, P. ve Boland, J.** (2012). Solar irradiation forecasting: State-of-the-art and proposition for future developments for small-scale insular grids. *World Renewable Energy Forum, WREF*

2012, Including World Renewable Energy Congress XII and Colorado Renewable Energy Society (CRES) Annual Conference, 4802-4809.

- Diagne, M., David, M., Lauret, P., Boland, J. ve Schmutz, N.** (2013). Review of solar irradiance forecasting methods and a proposition for small-scale insular grids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 65-76.
- Dinçer, İ., Dilmac, S., Ture, E. ve Edin, M.** (1996). A simple technique for estimating solar radiation parameters and its application for Gebze. *Energy Conversion and Management*, 37 (2), 183-198.
- Dong, Z., Yang, D., Reindl, T. ve Walsh, W.M.** (2013). Short-term solar irradiance forecasting using exponential smoothing state space model. *Energy*, 55, 1104-1113.
- Doorenbos, J. ve Pruitt, W.O.** (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Irrigation and Drainage Paper*, 24, Rome.
- Duffie, J.A. ve Beckman, W.A.** (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (4th ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Dufo-López, R. ve Bernal-Agustín, J.L.** (2008). Multi-objective design of PV-wind-diesel-hydrogen-battery systems. *Renewable Energy*, 33 (12), 2559-2572.
- Dufo-López, R., Bernal-Agustín, J.L., Yusta-Loyo, J.M., Domínguez-Navarro, J.A., Ramírez-Rosado, I.J., Lujano, J. ve Aso, I.** (2011). Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV-wind-diesel systems with batteries storage. *Applied Energy*, 88 (11), 4033-4041.
- Dursun, M. ve Özden, S.** (2012). Application of solar powered automatic water pumping in Turkey. *International Journal of Computer & Electrical Engineering*, 4 (2), 161-164.
- Dursun, M. ve Özden, S.** (2014). An efficient improved photovoltaic irrigation system with artificial neural network based modeling of soil moisture distribution - A case study in Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 102, 120-126.
- Duru, O. ve Yoshida, S.** (2009). Comparative analysis of fuzzy time series and judgmental forecasting: an empirical study of forecasting dry bulk shipping index. *International Symposium on Forecasting*.
- Duru, O. ve Yoshida, S.** (2012). Modeling principles in fuzzy time series forecasting. *IEEE Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering & Economics (CIFEr)*, 1-7.
- Ecerkale, K., Küçükdeniz, T. ve Esnaf, Ş.** (2010). Comparison of fuzzy time series based on difference parameters and two-factor time-variant fuzzy time series models for aviation fuel production forecasting. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 4 (4), 57-63.
- Egido, M. ve Lorenzo, E.** (1992). The sizing of stand alone PV-system: A review and a proposed new method. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 26 (1-2), 51-69.

- Eğrioğlu, E., Aladağ, Ç.H., Başaran, M.A., Yolcu, U. ve Uslu, V.R.** (2011a). A new approach based on the optimization of the length of intervals in fuzzy time series. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 22 (1), 15-19.
- Eğrioğlu, E., Aladağ, Ç.H. ve Yolcu, U.** (2013). Fuzzy time series forecasting with a novel hybrid approach combining fuzzy c-means and neural networks. *Expert Systems with Applications*, 40 (3), 854-857.
- Eğrioğlu, E., Aladağ, Ç.H., Yolcu, U., Başaran, M.A. ve Uslu, V.R.** (2009a). A new hybrid approach based on SARIMA and partial high order bivariate fuzzy time series forecasting model. *Expert Systems with Applications*, 36 (4), 7424-7434.
- Eğrioğlu, E., Aladağ, Ç.H., Yolcu, U., Uslu, V.R. ve Başaran, M.A.** (2009b). A new approach based on artificial neural networks for high order multivariate fuzzy time series. *Expert Systems with Applications*, 36 (7), 10589-10594.
- Eğrioğlu, E., Aladağ, Ç.H., Yolcu, U., Uslu, V.R. ve Başaran, M.A.** (2010). Finding an optimal interval length in high order fuzzy time series. *Expert Systems with Applications*, 37 (7), 5052-5055.
- Eğrioğlu, E., Aladağ, Ç.H., Yolcu, U., Uslu, V.R. ve Erilli, N.A.** (2011b). Fuzzy time series forecasting method based on Gustafson–Kessel fuzzy clustering. *Expert Systems with Applications*, 38 (8), 10355-10357.
- Ekren, B.Y. ve Ekren, O.** (2009). Simulation based size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage under various load and auxiliary energy conditions. *Applied Energy*, 86 (9), 1387–1394.
- Ekren, O. ve Ekren, B.Y.** (2010). Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using simulated annealing. *Applied Energy*, 87 (2), 592-598.
- El Fathi, A., Nkhaili, L., Bennouna, A. ve Outzourhit, A.** (2014). Performance parameters of a standalone PV plant. *Energy Conversion and Management*, 86, 490-495.
- Endo, E. ve Kurokawa, K.** (1994). Sizing procedure for photovoltaic systems. *IEEE First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the Twenty Fourth, IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 1, 1196-1199.
- EPA.** (2003). Irrigation Water Management. In *National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Agriculture* (EPA 841-B-03-004, pp.157-202). United States: Environmental Protection Agency (EPA).
- Erbs, D.G., Klein, S.A. ve Duffie, J.A.** (1982). Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. *Solar Energy*, 28 (4), 293-302.
- Erdoğan, N.K. ve Uzgören, N.** (2009). Box-Ljung ve nonparametrik regresyon yöntemlerinin etkinliklerinin karşılaştırılması: IMKB-100 endeksine yönelik bir uygulama. *Ekonometri ve İstatistik*, 10, 1-19.

- Erilli, N.A., Körez, M.K., Öner, Y. ve Alakuş, K.** (2012). Kritik (kriz) dönem enflasyon hesaplamalarında bulanık regresyon tahminlemesi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 13 (2), 239-253.
- Ertekin, C. ve Yaldız, O.** (1999). Estimation of monthly average daily global radiation on horizontal surface for Antalya (Turkey). *Renewable Energy*, 17 (1), 95-102.
- Ertekin, C. ve Yaldız, O.** (2000). Comparison of some existing models for estimating global solar radiation for Antalya (Turkey). *Energy Conversion & Management*, 41 (4), 311-330.
- Espinar, B., Aznarte, J.L., Girard, R., Moussa, A.M. ve Kariniotakis, G.** (2010). Photovoltaic Forecasting: A state of the art. *Proceedings 5th European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference*, 250-255.
- Evren, R. ve Ülengin, F.** (1992). *Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- Evseev, E.G. ve Kudish, A.I.** (2009). The assessment of different models to predict the global solar radiation on a surface tilted to the south. *Solar Energy*, 83 (3), 377-388.
- Fabrizio, E.** (2008). *Modelling of multi-energy systems in buildings*. (Doktora tezi). Politecnico di Torino and Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, SCUDO and MEGA, Energetica and Génie Civil.
- Feng, J.** (2012). A new method for ionospheric short-term forecast using similar-day modeling. *10th International Symposium on Antennas, Propagation & EM Theory (ISAPE)*, 472-474.
- Fernandez-Jimenez, L.A., Muñoz-Jimenez, A., Falces, A., Mendoza-Villena, M., Garcia-Garrido, E., Lara-Santillan, P.M., Zorzano-Alba, E. ve Zorzano-Santamaria, P.J.** (2012). Short-term power forecasting system for photovoltaic plants. *Renewable Energy*, 44, 311-317.
- Fıratoglu, Z.A. ve Yeşilata, B.** (2004). New approaches on the optimization of directly coupled PV pumping systems. *Solar Energy*, 77 (1), 81-93.
- Fok, D., van Dijk, D. ve Franses, P.H.** (2005). Forecasting aggregates using panels of nonlinear time series. *International Journal of Forecasting*, 21 (4), 785-794.
- Fuller, W.A.** (1996). *Introduction to Statistical Time Series* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Gangwar, S.S. ve Kumar, S.** (2012). Partitions based computational method for high-order fuzzy time series forecasting. *Expert Systems with Applications*, 39 (15), 12158-12164.
- Gansler, R.A., Klein, S.A. ve Beckman, W.A.** (1995). Investigation of minute solar radiation data. *Solar Energy*, 55 (1), 21-27.
- Garg, B., Beg, M.M.S. ve Ansari, A.Q.** (2013). Fuzzy time series model to forecast rice production. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ)*, 1-8.

- Gentry, T.W., Wilamowski, B.M. ve Weatherford, L.R.** (1995). A comparison of traditional forecasting techniques and neural networks. *Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks*, 5, 765-770.
- Gherbi, A.D., Amrouche, B., Arab, A.H. ve Salhi, H.** (2014). Motor-pump subsystem's modelling tool for photovoltaic pumping system study, design and analysis. *International Journal of Control, Energy and Electrical Engineering (CEEE)*, 2, 6 sayfa.
- Gholipour, A., Lucas, C., Araabi, B.N. ve Shafiee, M.** (2005). Solar activity forecast: Spectral analysis and neurofuzzy prediction. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67 (6), 595-603.
- Ghoneim, A.A.** (2006). Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. *Energy Conversion and Management*, 47 (11-12), 1449-1463.
- Glasnovic, Z. ve Margeta, J.** (2007a). A model for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems. *Solar Energy*, 81 (7), 904-916.
- Glasnovic, Z. ve Margeta, J.** (2007b). Optimization of irrigation with photovoltaic pumping system. *Water Resources Management*, 21 (8), 1277-1297.
- Goh, T.N. ve Tan, K.J.** (1977). Stochastic modeling and forecasting of solar radiation data. *Solar Energy*, 19 (6), 755-757.
- Gómez, V. ve Casanovas, A.** (2003). Fuzzy modeling of solar irradiance on inclined surfaces. *Solar Energy*, 75 (4), 307-315.
- Gopal, C., Mohanraj, M., Chandramohan, P. ve Chandrasekar, P.** (2013). Renewable energy source water pumping systems – A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 351-370.
- Gordon, J.M. ve Reddy, T.A.** (1988). Time series analysis of hourly global horizontal solar radiation. *Solar Energy*, 41 (5), 423-429.
- Göktaş, Ö.** (2005). *Teorik ve Uygulamalı Zaman Serileri Analizi*. İstanbul: Beşir Kitabevi.
- Güler, D.** (2011). *Fuzzy time series and related applications*. (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Statistics Program, İzmir.
- Güven, Ş.Y. ve Şenol, R.** (2005). Güneş pili destekli çevre aydınlatma ve sulama sisteminin örnek bir uygulaması. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 46 (548), 13-20.
- Hadj Arab, A., Chenlo, F. ve Benghanem, M.** (2004). Loss-of-load probability of photovoltaic water pumping systems. *Solar Energy*, 76 (6), 713-723.
- Haktanır, D.** (2004). Hava kirlenmesini önleyebilecek yenilenebilir enerjilerle yakıt hücreleri. Erişim: 05 Aralık, 2013, <http://www.ktemo.org>
- Hamidat, A. ve Benyoucef, B.** (2008). Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems. *Renewable Energy*, 33 (5), 933-942.
- Hamidat, A. ve Benyoucef, B.** (2009). Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage. *Energy Policy*, 37 (4), 1489-1501.

- Hamidat, A., Benyoucef, B. ve Hartani, T.** (2003). Small-scale irrigation with photovoltaic water pumping system in Sahara regions. *Renewable Energy*, 28 (7), 1081-1096.
- Hammer, A., Heinemann, D., Lorenz, E. ve Lücke, B.** (1999). Short-term forecasting of solar radiation: A statistical approach using satellite data. *Solar Energy*, 67 (1-3), 139-150.
- Handoyo, E.A., Ichsani, D. ve Prabowo.** (2013). The optimal tilt angle of a solar collector. *Energy Procedia*, 32, 166-175.
- Hang, C., Peng-Jiang, G. ve Whu-Shun, C.** (2012). Forecasting research of long-term solar irradiance and output power for photovoltaic generation system. *Computational and Information Sciences (ICCIS), 2012 Fourth International Conference*, 1224-1227.
- Hassanzadeh, M., Etezadi-Amoli, M. ve Fadali, M.S.** (2010). Practical approach for sub-hourly and hourly prediction of PV power output. *North American Power Symposium (NAPS)*, 1-5.
- Haurant, P., Oberti, P. ve Muselli, M.** (2011). Multicriteria selection aiding related to photovoltaic plants on farming fields on Corsica island: A real case study using the ELECTRE outranking framework. *Energy Policy*, 39 (2), 676-688.
- Heinemann, D., Lorenz, E. ve Girodo, M.** (2006). Forecasting of solar radiation. In E. Dunlop, L. Wald, M. Suri (Eds.). *Solar Resource Management for Electricity Generation from Local Level to Global Scale* (pp.83–94). New York: Nova Science Publishers.
- Helikson, H.J., Haman, D.Z. ve Baird, C.D.** (1991). *Pumping Water for Irrigation Using Solar Energy*. Fact Sheet EES-63, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Hernández, J.C., Medina, A. ve Jurado, F.** (2007). Optimal allocation and sizing for profitability and voltage enhancement of PV systems on feeders. *Renewable Energy*, 32 (10), 1768-1789.
- Hocaoğlu, F.O.** (2010). Novel analytical hourly solar radiation models for photovoltaic based system sizing algorithms. *Energy Conversion and Management*, 51 (12), 2921-2929.
- Hocaoğlu, F.O., Gerek, Ö.N. ve Kurban, M.** (2008). Hourly solar radiation forecasting using optimal coefficient 2-D linear filters and feed-forward neural networks. *Solar Energy*, 82 (8), 714-726.
- Hosoda, Y. ve Namerikawa, T.** (2012). Short-term photovoltaic prediction by using $\mathcal{H}_\infty$ filtering and clustering. *Proceedings of SICE Annual Conference*, Japan, 119-124.
- Hosseini, S.M., Fard, M.Y. ve Baboli, S.M.** (2011). A new method for stock price index forecasting using fuzzy time series. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5 (12), 894-898.
- Huang, J., Korolkiewicz, M., Agrawal, M. ve Boland, J.** (2013). Forecasting solar radiation on an hourly time scale using a Coupled AutoRegressive and Dynamical System (CARDS) model. *Solar Energy*, 87, 136–149.

- Huang, R., Huang, T. ve Gadh, R.** (2012). Solar generation prediction using the ARMA model in a laboratory-level micro-grid. *Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2012 IEEE Third International Conference on Digital Object Identifier (Taiwan)*, 528-533.
- Huarng, K.** (2001a). Effective lengths of intervals to improve forecasting in fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, 123 (3), 387-394.
- Huarng, K.** (2001b). Heuristic models of fuzzy time series for forecasting. *Fuzzy Sets and Systems*, 123 (1), 369-386.
- Huarng, K-H. ve Yu, H-K.** (2004). A dynamic approach to adjusting lengths of intervals in fuzzy time series forecasting. *Journal of Intelligent Data Analysis*, 8 (1), 3-27.
- Huarng, K-H. ve Yu, H-K.** (2005). A Type 2 fuzzy time series model for stock index forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 353, 445-462.
- Huarng, K-H. ve Yu, T.H-K.** (2006a). Ratio-based lengths of intervals to improve fuzzy time series forecasting. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 36 (2), 328-340.
- Huarng, K-H. ve Yu, T.H-K.** (2006b). The application of neural networks to forecast fuzzy time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 363 (2), 481-491.
- Huarng, K-H., Yu, T.H-K. ve Hsu, Y.W.** (2007). A multivariate heuristic model for fuzzy time-series forecasting. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 37 (4), 836 – 846.
- Hwang, J-R., Chen, S-M. ve Lee, C-H.** (1998). Handling forecasting problems using fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, 100 (1-3), 217-228.
- Hyndman, R.J., Koehler, A.B., Keith Ord, J. ve Snyder, R.D.** (2005). Prediction intervals for exponential smoothing using two new classes of state space models. *Journal of Forecasting*, 24 (1), 17-37.
- Hyndman, R.J., Koehler, A.B., Snyder, R.D. ve Grose, S.** (2002). A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods. *International Journal of Forecasting*, 18 (3), 439-454.
- Ibrahim, D.** (1995a). Optimum tilt angle for solar collectors used in Cyprus. *Renewable Energy*, 6 (7), 813-819.
- Ibrahim, D.** (2006). *Güneş Enerjisi Uygulamaları*. İstanbul: Bileşim Yayınevi.
- Ibrahim, O.E.E.** (1995b). Sizing stand-alone photovoltaic systems for various locations in Sudan. *Applied Energy*, 52 (2-3), 133-140.
- Ichikawa, T., Ichiyanagi, K., Yukita, K. ve Goto, Y.** (2010). Forecasting time series of solar energy and wind power by using wide meteorological data and pattern matching method. *International Journal of Energy and Environment*, 4 (4), 229-236.
- IEC (International Electrotechnical Commission).** (1998). Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis. Geneva, Switzerland: IEC Standard 61724.

- Inceoğlu, F.E.** (2010). *Bulanık zaman serisi yöntemleri ile IMKB öngörüsü.* (Yüksek lisans tezi). On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, Samsun.
- Inman, R.H., Pedro, H.T.C. ve Coimbra, C.F.M.** (2013). Solar forecasting methods for renewable energy integration. *Progress in Energy and Combustion Science*, 39 (6), 535-576.
- Inoussa, G., Peng, H. ve Wu, J.** (2012). Nonlinear time series modeling and prediction using functional weights wavelet neural network-based state-dependent AR model. *Neurocomputing*, 86 (1), 59–74.
- Iqbal, M., Azam, M., Naeem, M., Khwaja, A.S. ve Anpalagan, A.** (2014). Optimization classification, algorithms and tools for renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 640-654.
- Ismail, M.S., Moghavvemi, M. ve Mahlia, T.M.I.** (2013). Techno-economic analysis of an optimized photovoltaic and diesel generator hybrid power system for remote houses in a tropical climate. *Energy Conversion and Management*, 69, 163-173.
- Ismail, M.S., Moghavvemi, M. ve Mahlia, T.M.I.** (2014). Genetic algorithm based optimization on modeling and design of hybrid renewable energy systems. *Energy Conversion and Management*, 85, 120-130.
- Jafri, Y.Z.** (2007). *Recent trends in time series modelling and prediction of wind data: statistical and fuzzy reasoning approach.* (Doktora tezi). University of Balochistan, Quetta, Pakistan.
- Jahn, U., Mayer, D., Heidenreich, M., Dahl, R., Castello, S., Clavadetscher, L., Frölich, A., Grimmig, B., Nasse, W., Sakuta, K., Sugiura, T., van der Borg, N. ve van Otterdijk, K.** (2000). International Energy Agency PVPS Task 2: Analysis of the operational performance of the IEA database PV systems. *Proceedings of the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Glasgow, UK, 2673-2677.
- Jakhrani, A.Q., Othman, A-K., Rigit, A.R.H., Samo, S.R. ve Kamboh, S.A.** (2012). A novel analytical model for optimal sizing of standalone photovoltaic systems. *Energy*, 46 (1), 675-682.
- Javadi, M.R., Jalilvand, A., Noroozian, R. ve Valizadeh, M.** (2011). Optimal design and economic assessment of battery based stand-alone wind/PV generating system using ABC. *IEEE Proceedings of the 3rd Conference on Thermal Power Plants (CTPP)*, Tehran, 1-7.
- Jiang, Y.** (2009). Estimation of monthly mean daily diffuse radiation in China. *Applied Energy*, 86 (9), 1458-1464.
- Jilani, T.A. ve Burney, S.M.A.** (2007). M-factor high order fuzzy time series forecasting for road accident data. *Analysis and Design of Intelligent Systems using Soft Computing Techniques, Advances in Soft Computing*, 41, 246-254.

- Jilani, T.A. ve Burney, S.M.A.** (2008a). A refined fuzzy time series model for stock market forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387 (12), 2857-2862.
- Jilani, T.A. ve Burney, S.M.A.** (2008b). Multivariate stochastic fuzzy forecasting models. *Expert Systems with Applications*, 35 (3), 691-700.
- Joshi, B.P. ve Kumar, S.** (2011). A computational method of forecasting based on intuitionistic fuzzy sets and fuzzy time series. *Proceedings of the International Conference on SocProS 2011, Advances in Intelligent and Soft Computing*, 131, 993-1000.
- Kaabeche, A., Belhamel, M. ve Ibtiouen, R.** (2011). Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/wind power generation system. *Energy*, 36 (2), 1214-1222.
- Kacira, M., Şimşek, M., Babur, Y. ve Demirkol, S.** (2004). Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Şanlıurfa, Turkey. *Renewable Energy*, 29 (8), 1265-1275.
- Kaçan, E. ve Ülgen, K.** (2012). Güneş enerjisi toplayıcılarında eğim ve yönlendirmenin yararlanabilirliğe etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (4), 837-846.
- Kaldellis, J.K., Meidanis, E. ve Zafirakis, D.** (2011). Experimental energy analysis of a stand-alone photovoltaic-based water pumping installation. *Applied Energy*, 88 (12), 4556-4562.
- Kaldellis, J.K., Spyropoulos, G.C., Kavadias, K.A. ve Koronaki, L.P.** (2009). Experimental validation of autonomous PV-based water pumping system optimum sizing. *Renewable Energy*, 34 (4), 1106-1113.
- Kalogirou, S.A.** (2014). *Solar Energy Engineering : Processes and Systems*. Elsevier Inc.
- Kaplani, E. ve Kaplanis, S.** (2012). A stochastic simulation model for reliable PV system sizing providing for solar radiation fluctuations. *Applied Energy*, 97, 970-981.
- Karaman, E. ve Fırat, M.Z.** (2013). Kontrol günü süt verimlerinin zaman serisi yöntemi ile modellenmesi. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 19 (4), 659-664.
- Kaushik, A. ve Singh, A.K.** (2013). Long term forecasting with fuzzy time series and neural network: a comparative study using sugar production data. *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT)*, 4 (7), 2299-2305.
- Kaushika, N.D., Gautam, N.K. ve Kaushik, K.** (2005). Simulation model for sizing of stand-alone solar PV system with interconnected array. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 85 (4), 499-519.
- Kayacan, E., Ulutaş, B. ve Kaynak, O.** (2010). Grey system theory-based models in time series prediction. *Expert Systems with Applications*, 37 (2), 1784-1789.
- Kaye, R.J.** (1994). A new approach to optimal sizing of components in stand-alone photovoltaic power systems. *IEEE 1st World Conference on*

- Kaygusuz, K.** (2011). Prospect of concentrating solar power in Turkey: The sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (1), 808–814.
- Kaynar, O. ve Taştan, S.** (2009). Zaman serisi analizinde MLP yapay sinir ağları ve ARIMA modelinin karşılaştırılması. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33 (162), 161-172.
- Kazem, H.A., Khatib, T. ve Sopian, K.** (2013). Sizing of a standalone photovoltaic/battery system at minimum cost for remote housing electrification in Sohar, Oman. *Energy and Buildings*, 61, 108-115.
- Kelley, L.C., Gilbertson, E., Sheikh, A., Eppinger, S.D. ve Dubowsky, S.** (2010). On the feasibility of solar-powered irrigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (9), 2669-2682.
- Kenna, J. ve Gillett, B.** (1985). *Solar Water Pumping: A Handbook*. Intermediate Technology Publications.
- Khalil, S.A. ve Shaffie, A.M.** (2013). A comparative study of total, direct and diffuse solar irradiance by using different models on horizontal and inclined surfaces for Cairo, Egypt. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 853-863.
- Khatib, T., Mohamed, A. ve Sopian, K.** (2013). A review of photovoltaic systems size optimization techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 454-465.
- Khatib, T., Mohamed, A., Sopian, K. ve Mahmoud, M.** (2012). A new approach for optimal sizing of standalone photovoltaic systems. *International Journal of Photoenergy*, 2012, ID 391213, 7 sayfa.
- Klein, S.A.** (1977). Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. *Solar Energy*, 19 (4), 325-329.
- Knežević, M., Perović, N., Životić, L., Ivanov, M. ve Topalović, A.** (2013). Simulation of winter wheat water balance with Cropwat and ISAREG models. *Agriculture & Forestry*, 59 (1), 41-53.
- Koç, A.C. ve Güner, Ü.** (2005). Mevcut sulama projelerinin FAO kriterleriyle yeniden değerlendirilmesi: Tavas Ovası örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9, 93-106.
- Koç, S.** (2008). *Bulanık zaman serisi yöntemlerinde aralık tahminlerinin karşılaştırılması için yeni ölçütler ve hava kirliliği verisi üzerine bir uygulama*. (Yüksek lisans tezi). On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, Samsun.
- Kolhe, M.** (2009). Techno-economic optimum sizing of a stand-alone solar photovoltaic system. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 24 (2), 511-519.
- Kostylev, V. ve Pavlovski, A.** (2011). Solar power forecasting performance - towards industry standards. In: *1st Int. Workshop on the Integration of Solar Power into Power Systems*, Aarhus, Denmark.

- Kou, Q., Klein, S.A. ve Beckman, W.A.** (1998). A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems. *Solar Energy*, 64 (1-3), 33-40.
- Koutroulis, E., Kolokotsa, D., Potirakis, A. ve Kalaitzakis, K.** (2006). Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms. *Solar Energy*, 80 (9), 1072-1088.
- Kökçen, A.** (2010). *Koşullu varyans modelleri: Finansal zaman serileri üzerine uygulama*. (Yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, Adana.
- Köksal, M.A.** (2012). *Güneş enerjisiyle su pompalama üzerine bir araştırma*. (Yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana.
- Kratzenberg, M.G., Colle, S. ve Beyer, H.G.** (2008). Solar radiation prediction based on the combination of a numerical weather prediction model and a time series prediction model. *1st International Congress on Heating, Cooling, and Buildings, Proceedings of the EUROSUN*, Lisbon, Portugal.
- Krismadinata, Rahim, N.A., Ping, H.W. ve Selvaraj, J.** (2013). Photovoltaic module modeling using Simulink/Matlab. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 537-546.
- Kumar, N., Ahuja, S., Kumar, V. ve Kumar, A.** (2010). Fuzzy time series forecasting of wheat production. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 2 (3), 635-640.
- Kumar, R. ve Umanand, L.** (2005). Estimation of global radiation using clearness index model for sizing photovoltaic system. *Renewable Energy*, 30 (15), 2221-2233.
- Kymakis, E., Kalykakis, S. ve Papazoglou, T.M.** (2009). Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete. *Energy Conversion and Management*, 50 (3), 433-438.
- Labeed, S. ve Lorenzo, E.** (2004). The impact of solar radiation variability and data discrepancies on the design of PV systems. *Renewable Energy*, 29 (7), 1007-1022.
- Lajnef, T., Abid, S. ve Ammous, A.** (2013). Design and simulation of photovoltaic water pumping system. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2 (4), 161-164.
- Lalwani, M., Kothari, D.P. ve Singh, M.** (2010). Investigation of solar photovoltaic simulation softwares. *International Journal of Applied Engineering Research, Dindigul*, 1 (3), 585-601.
- Lalwani, M., Kothari, D.P. ve Singh, M.** (2011). Size optimization of stand-alone photovoltaic system under local weather conditions in India. *International Journal of Applied Engineering Research*, 1 (4), 951-961.
- Landeras, G., López, J.J., Kisi, Ö. ve Shiri, J.** (2012). Comparison of Gene Expression Programming with neuro-fuzzy and neural network

computing techniques in estimating daily incoming solar radiation in the Basque Country (Northern Spain). *Energy Conversion and Management*, 62, 1-13.

- Lave, M. ve Kleissl, J.** (2011). Optimum fixed orientations and benefits of tracking for capturing solar radiation in the continental United States. *Renewable Energy*, 36 (3), 1145-1152.
- Lee, H-S. ve Chou, M-T.** (2004). Fuzzy forecasting based on fuzzy time series. *International Journal of Computer Mathematics*, 81 (7), 781-789.
- Lee, K., Yoo, H. ve Levermore, G.J.** (2013). Quality control and estimation hourly solar irradiation on inclined surfaces in South Korea. *Renewable Energy*, 57, 190-199.
- Lee, L-W., Wang, L-H. ve Chen, S-M.** (2007). Temperature prediction and TAIEX forecasting based on fuzzy logical relationships and genetic algorithms. *Expert Systems with Applications*, 33 (3), 539-550.
- Lee, L-W., Wang, L-H. ve Chen, S-M.** (2008). Temperature prediction and TAIEX forecasting based on high-order fuzzy logical relationships and genetic simulated annealing techniques. *Expert Systems with Applications*, 34 (1), 328-336.
- Lee, L-W., Wang, L-H., Chen, S-M. ve Leu, Y-H.** (2006). Handling forecasting problems based on two-factors high-order fuzzy time series. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 14 (3), 468-477.
- Lee, M.H., Nor, M.E., Suhartono, Sadaei, H.J., Rahman, N.H.A. ve Kamisan, N.A.B.** (2012). Fuzzy time series: An application to tourism demand forecasting. *American Journal of Applied Sciences*, 9 (1), 132-140.
- Leu, Y., Lee, C-P. ve Jou, Y-Z.** (2009). A distance-based fuzzy time series model for exchange rates forecasting. *Expert Systems with Applications*, 36 (4), 8107-8114.
- Li, C., Chiang, T-W. ve Yeh, L-C.** (2013a). A novel self-organizing complex neuro-fuzzy approach to the problem of time series forecasting. *Neurocomputing*, 99, 467-476.
- Li, C., Ge, X., Zheng, Y., Xu, C., Ren, Y., Song, C. ve Yang, C.** (2013b). Techno-economic feasibility study of autonomous hybrid wind/PV/battery power system for a household in Urumqi, China. *Energy*, 55, 263-272.
- Li, D.H.W. ve Lam, J.C.** (2004). Predicting solar irradiance on inclined surfaces using sky radiance data. *Energy Conversion and Management*, 45 (11-12), 1771-1783.
- Li, M. ve Guo, P.** (2014). A multi-objective optimal allocation model for irrigation water resources under multiple uncertainties. *Applied Mathematical Modelling*, 38 (19-20), 4897-4911.
- Li, S-T. ve Chen, Y-P.** (2004). Natural partitioning-based forecasting model for fuzzy time-series. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 3, 1355-1359.

- Li, S-T. ve Cheng, Y-C.** (2007). Deterministic fuzzy time series model for forecasting enrollments. *Computers and Mathematics with Applications*, 53 (12), 1904-1920.
- Li, Y.Z. ve Niu, J-C.** (2009). Forecast of power generation for grid-connected photovoltaic system based on Markov chain. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 1-4.
- Li, Y.Z., Nie, R-Q. ve Niu, J-C.** (2012). Forecast of power generation for grid-connected photovoltaic system based on knowledge representation of rough sets. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 1-4.
- Li, Y-Z., He, L. ve Nie, R-Q.** (2009). Short-term forecast of power generation for grid-connected photovoltaic system based on advanced grey-Markov chain. *International Conference on Energy and Environment Technology*, 2, 275-278.
- Li, Y-Z., Luan, R. ve Niu, J-C.** (2008). Forecast of power generation for grid-connected photovoltaic system based on grey model and Markov chain. *3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 1729-1733.
- Li, Y-Z., Wang, Z. ve Niu, J-C.** (2013c). Forecast of power generation for grid-connected photovoltaic system based on grey theory and verification model. *4th International Conference on Intelligent Control and Information Processing*, 129-133.
- Lim, J.H.** (2012). Optimal combination and sizing of a new and renewable hybrid generation system. *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, 5 (2), 43-59.
- Lin, M., Wang, Z., Liu, Y., Chen, M. ve Meng, F.** (2012). Power prediction model of grid-connected photovoltaic and power flow analysis. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 1-4.
- Liu, B.Y.H. ve Jordan, R.C.** (1960). The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy*, 4 (3), 1-19.
- Liu, B.Y.H. ve Jordan, R.C.** (1961). Daily insolation on surfaces tilted toward the Equator. *ASHRAE Journal*, 3 (10), 53-59.
- Liu, H-T.** (2007). An improved fuzzy time series forecasting method using trapezoidal fuzzy numbers. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 6 (1), 63-80.
- Liu, H-T.** (2009). An integrated fuzzy time series forecasting system. *Expert Systems with Applications*, 36 (6), 10045-10053.
- Liu, H-T. ve Wei, M-L.** (2010). An improved fuzzy forecasting method for seasonal time series. *Expert Systems with Applications*, 37 (9), 6310-6318.
- Liu, H-T., Wei, N-C. ve Yang, C-G.** (2009). Improved time-variant fuzzy time series forecast. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 8 (1), 45-65.

- Liu, X., Bai, E., Fang, J. ve Luo, L.** (2010). Time-variant slide fuzzy time-series method for short-term load forecasting. *IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS)*, 1, 65-68.
- Lorenz, E., Hurka, J., Heinemann, D. ve Beyer, H.G.** (2009). Irradiance forecasting for the power prediction of grid-connected photovoltaic systems. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2 (1), 2-10.
- Lorenzo, E. ve Narvarte, L.** (2000). On the usefulness of stand-alone PV sizing methods. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 8 (4), 391-409.
- Luna-Rubio, R., Trejo-Perea, M., Vargas-Vázquez, D. ve Ríos-Moreno, G.J.** (2012). Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies. *Solar Energy*, 86 (4), 1077-1088.
- Lundholm, S.C.** (2013). *Verification of global radiation forecasts from the ensemble prediction system at DMI*. (Doktora tezi). University of Copenhagen, Denmark.
- Ma, T., Yang, H. ve Lu, L.** (2014). Solar photovoltaic system modeling and performance prediction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 304-315.
- Ma, T., Yang, H., Lu, L. ve Peng, J.** (2015). Pumped storage-based standalone photovoltaic power generation system: Modeling and techno-economic optimization. *Applied Energy*, 137, 649-659.
- Maghraby, H.A.M., Shwehdi, M.H. ve Al-Bassam, G.K.** (2002). Probabilistic assessment of photovoltaic (PV) generation systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 17 (1), 205-208.
- Mahmoud, M.M., Kukhun, W.R. ve Daud, A-K.** (2013). Efficiency improvement of a dual PV water pumping system on a desert well by solar matched load control. *International Journal of Energy Engineering*, 3 (5), 151-157.
- Mahmudov, E.N.** (2011). *Approximation and Optimization of Discrete and Differential Inclusions*. Amsterdam: Elsevier.
- Mahnam, M. ve Fatemi Ghomi, S.M.T.** (2012). A particle swarm optimization algorithm for forecasting based on time variant fuzzy time series. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 23 (4), 269-276.
- Makridakis, S. ve Wheelwright, S.C.** (1989). *Forecasting Methods for Management* (5th ed.). John Wiley&Sons, Inc.
- Maleki, A. ve Askarzadeh, A.** (2014). Optimal sizing of a PV/wind/diesel system with battery storage for electrification to an off-grid remote region: A case study of Rafsanjan, Iran. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 147-153.
- Mandal, P., Madhira, S.T.S., Ul haque, A., Meng, J. ve Pineda, R.L.** (2012). Forecasting power output of solar photovoltaic system using wavelet

transform and artificial intelligence techniques. *Procedia Computer Science*, 12, 332-337.

- Manolakos, D., Papadakis, G., Papantonis, D. ve Kyritsis, S.** (2004). A stand-alone photovoltaic power system for remote villages using pumped water energy storage. *Energy*, 29 (1), 57-69.
- Markvart, T. ve Castañer, L.** (2003). *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*. Oxford, UK: Elsevier Ltd.
- Markvart, T., Fragaki, A. ve Ross, J.N.** (2006). PV system sizing using observed time series of solar radiation. *Solar Energy*, 80 (1), 46-50.
- Marquez, R. ve Coimbra, C.F.M.** (2011). Forecasting of global and direct solar irradiance using stochastic learning methods, ground experiments and the NWS database. *Solar Energy*, 85 (5), 746-756.
- Marquez, R. ve Coimbra, C.F.M.** (2013). Intra-hour DNI forecasting based on cloud tracking image analysis. *Solar Energy*, 91, 327–336.
- Marquez, R., Gueorguiev, V.G. ve Coimbra, C.F.M.** (2012). Forecasting of global horizontal irradiance using sky cover indices. *Journal of Solar Energy Engineering*, 135 (1).
- Martin, L., Zarzalejo, L.F., Polo, J., Navarro, A., Marchante, R. ve Cony, M.** (2010). Prediction of global solar irradiance based on time series analysis: Application to solar thermal power plants energy production planning. *Solar Energy*, 84 (10), 1772–1781.
- Mathiesen, P. ve Kleissl, J.** (2011). Evaluation of numerical weather prediction for intra-day solar forecasting in the continental United States. *Solar Energy*, 85 (5), 967-977.
- Mauricio, J.A.** (2008). Computing and using residuals in time series models. *Journal of Computational Statistics & Data Analysis*, 52 (3), 1746-1763.
- Meese, R. ve Geweke, J.** (1984). A comparison of autoregressive univariate forecasting procedures for macroeconomic time series. *Journal of Business and Economic Statistics*, 2, 191-200.
- Mehler, E.D., Zervas, P.L., Sarimveis, H., Palyvos, J.A. ve Markatos, N.C.** (2010). Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays. *Renewable Energy*, 35 (11), 2468-2475.
- Mellit, A.** (2007a). Sizing of a stand-alone photovoltaic system based on neural networks and genetic algorithms: Application for remote areas. *Istanbul University Journal of Electrical & Electronics Engineering*, 7 (2), 459-469.
- Mellit, A.** (2007b). Sizing of photovoltaic systems: a review. *Revue des Energies Renouvelables*, 10 (4), 463-472.
- Mellit, A., Hadj Arab, A., Khorissi, N. ve Salhi, H.** (2007). An ANFIS-based forecasting for solar radiation data from sunshine duration and ambient temperature. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1-6.

- Mellit, A. ve Benghanem, M.** (2007). Sizing of stand-alone photovoltaic systems using neural network adaptive model. *Desalination*, 209 (1-3), 64-72.
- Mellit, A. ve Kalogirou, S.A.** (2008). Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34 (5), 574-632.
- Mellit, A. ve Pavan, A.M.** (2010). A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy. *Solar Energy*, 84 (5), 807-821.
- Mellit, A., Kalogirou, S.A., Shaari, S., Salhi, H. ve Hadj Arab, A.** (2008). Methodology for predicting sequences of mean monthly clearness index and daily solar radiation data in remote areas: Application for sizing a stand-alone PV system. *Renewable Energy*, 33 (7), 1570-1590.
- Menges, H.O., Ertekin, C. ve Sonmete, M.H.** (2006). Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 47 (18-19), 3149-3173.
- Mermoud, A.** (2006). *Technico-economical Optimization of Photovoltaic Pumping Systems Pedagogic and Simulation Tool Implementation in the PVsyst Software*. Research Report of the Institute for Environmental Sciences, University of Geneva.
- Messenger, R.A. ve Ventre, J.** (2005). *Photovoltaic Systems Engineering* (2nd ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
- Michanos, S.P., Tsakoumis, A.C., Fessas, P., Vladov, S.S. ve Mladenov, V.M.** (2003). Short-term load forecasting using a chaotic time series. *International Symposium on Signals, Circuits and Systems (SCS)*, 2, 437-440.
- Mihalakakou, G., Santamouris, M. ve Asimakopoulos, D.N.** (2000). The total solar radiation time series simulation in Athens, using neural networks. *Theoretical and Applied Climatology*, 66 (3-4), 185-197.
- Milosavljević, D.D., Pavlović, T.M. ve Piršl, D.S.** (2015). Performance analysis of a grid-connected solar PV plant in Niš, republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 423-435.
- Mokeddem, A., Midoun, A., Kadri, D., Hiadsi, S. ve Raja, I.A.** (2011). Performance of a directly-coupled PV water pumping system. *Energy Conversion and Management*, 52 (10), 3089-3095.
- Mondol, J.D., Yohanis, Y.G. ve Norton, B.** (2006). Optimal sizing of array and inverter for grid-connected photovoltaic systems. *Solar Energy*, 80 (12), 1517-1539.
- Monteiro, C., Santos, T., Fernandez-Jimenez, L.A., Ramirez-Rosado, I.J. ve Terreros-Olarte, M.S.** (2013). Short-term power forecasting model for photovoltaic plants based on historical similarity. *Energies*, 6 (5), 2624-2643.
- Montgomery, D.C., Jennings, C.L. ve Kulahci, M.** (2008). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

- Morales, T.D.** (2010). Design of small photovoltaic (PV) solar-powered water pump systems. *United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS), Technical Note No. 28*, 1-64. Erişim: 17 Eylül, 2014, http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_046471.pdf
- Mora-López, L., Martínez-Marchena, I., Piliouline, M. ve Sidrach-de-Cardona, M.** (2011). Binding statistical and machine learning models for short-term forecasting of global solar radiation. *Advances in Intelligent Data Analysis X, Lecture Notes in Computer Science, 7014*, 294-305.
- Mora-López, L.L. ve Sidrach-de-Cardona, M.** (1998). Multiplicative ARMA models to generate hourly series of global irradiation. *Solar Energy*, 63 (5), 283-291.
- Moreno-Muñoz, A., De la Rosa, J.J.G., Posadillo, R. ve Pallarés, V.** (2008). Short term forecasting of solar radiation. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 1537-1541.
- Mori, H. ve Takahashi, A.** (2012). A data mining method for selecting input variables for forecasting model of global solar radiation. *IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition*, 1-6.
- Mori, H. ve Urano, S.** (1996). Short-term load forecasting with chaos time series analysis. *International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems (ISAP)*, 133-137.
- Muzathik, A.M., Ibrahim, M.Z., Samo, K.B. ve Wan Nik, W.B.** (2011). Estimation of global solar irradiation on horizontal and inclined surfaces based on the horizontal measurements. *Energy*, 36 (2), 812-818.
- Nikhil, P.G. ve Subhakar, D.** (2012). An improved algorithm for photovoltaic system sizing. *Energy Procedia*, 14, 1134-1142.
- Notton, G., Lazarov, V. ve Stoyanov, L.** (2010). Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations, inverter efficiency characteristics and locations. *Renewable Energy*, 35 (2), 541-554.
- Notton, G., Poggi, P. ve Cristofari, C.** (2006). Predicting hourly solar irradiances on inclined surfaces based on the horizontal measurements: Performances of the association of well-known mathematical models. *Energy Conversion and Management*, 47 (13-14), 1816-1829.
- Odeh, I., Yohanis, Y.G. ve Norton, B.** (2006). Influence of pumping head, insolation and PV array size on PV water pumping system performance. *Solar Energy*, 80 (1), 51-64.
- Oi, A.** (2005). *Design and Simulation of Photovoltaic Water Pumping System*. (Yüksek lisans tezi). California Polytechnic State University, Electrical Engineering, California.
- Orgill, J.F. ve Hollands, K.G.T.** (1977). Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface. *Solar Energy*, 19 (4), 357-359.

- Orhunbilge, N.** (1999). *Zaman Serileri Analizi Tahmin ve Fiyat İndeksleri*. İstanbul: Avcıol Basım-Yayın.
- Oudjana, S.H., Hellal, A. ve Hajd Mahammed, I.** (2013). Power forecasting of photovoltaic generation. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 78, 499-503.
- Ould-Amrouche, S., Rekioua, D. ve Hamidat, A.** (2010). Modelling photovoltaic water pumping systems and evaluation of their CO₂ emissions mitigation potential. *Applied Energy*, 87 (11), 3451-3459.
- Own, C-M. ve Yu, P-T.** (2005). Forecasting fuzzy time series on a heuristic high-order model. *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 36, 705-717.
- Özgören, M., Bilgili, M. ve Şahin, B.** (2012). Estimation of global solar radiation using ANN over Turkey. *Expert Systems with Applications*, 39 (5), 5043-5051.
- Öztürk, H.** (2012). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Öztürk, M., Özek, N. ve Berkama, B.** (2012). Isparta için aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu tahmininde mevcut olan bazı modellerin karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (1), 13-27.
- Page, J.K.** (1961). The estimation of monthly mean values of daily total short-wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40°N-40°S. *Proceedings of the U.N. Conference on New Sources of Energy*, S98 (4), 378-390.
- Pandey, A.K., Sinha, A.K. ve Srivastava, V.K.** (2008). A comparative study of neural-network & fuzzy time series forecasting techniques - case study: wheat production forecasting. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 8 (9), 382-387.
- Pandey, P.K. ve Soupir, M.L.** (2012). A new method to estimate average hourly global solar radiation on the horizontal surface. *Atmospheric Research*, 114-115, 83-90.
- Paoli, C., Voyant C., Muselli, M. ve Nivet, M-L.** (2009). Solar radiation forecasting using ad-hoc time series preprocessing and neural networks. *Emerging Intelligent Computing Technology and Applications, Lecture Notes in Computer Science*, 5754, 898-907.
- Paoli, C., Voyant C., Muselli, M. ve Nivet, M-L.** (2010). Forecasting of preprocessed daily solar radiation time series using neural networks. *Solar Energy*, 84 (12), 2146-2160.
- Parida, B., Iniyar, S. ve Goic, R.** (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (3), 1625-1636.
- Pedro, H.T.C. ve Coimbra, C.F.M.** (2012). Assessment of forecasting techniques for solar power production with no exogenous inputs. *Solar Energy*, 86 (7), 2017-2028.

- Pelet, X., Favrat, D. ve Leyland, G.** (2005). Multiobjective optimisation of integrated energy systems for remote communities considering economics and CO₂ emissions. *International Journal of Thermal Sciences*, 44 (12), 1180-1189.
- Pelland, S., Galanis, G. ve Kallos, G.** (2011). Solar and photovoltaic forecasting through post-processing of the Global Environmental Multiscale numerical weather prediction model. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21 (3), 284-296.
- Perez, R., Lorenz, E., Pelland, S., Beauharnois, M., Van Knowe, G., Hemker Jr., K., Heinemann, D., Remund, J., Müller, S.C., Traunmüller, W., Steinmauer, G., Pozo, D., Ruiz-Arias, J.A., Lara-Fanego, V., Raminier-Santigosa, L., Gaston-Romero, M. ve Pomares, L.M.** (2013). Comparison of numerical weather prediction solar irradiance forecasts in the US, Canada and Europe. *Solar Energy*, 94, 305-326.
- Podestá, G.P., Núñez, L., Villanueva, C.A. ve Skansi, M.A.** (2004). Estimating daily solar radiation in the Argentine Pampas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 123 (1-2), 41-53.
- Posadillo, R. ve Luque, R.L.** (2008). Approaches for developing a sizing method for stand-alone PV systems with variable demand. *Renewable Energy*, 33 (5), 1037-1048.
- Pouzols, F.M. ve Barros, A.B.** (2010). Automatic clustering-based identification of autoregressive fuzzy inference models for time series. *Neurocomputing*, 73 (10-12), 1937-1949.
- Protogeropoulos, C., Brinkworth, B.J. ve Marshall, R.H.** (1997). Sizing and techno-economical optimization for hybrid solar photovoltaic/wind power systems with battery storage. *International Journal of Energy Research*, 21 (6), 465-479.
- Qiu, W., Liu, X. ve Li, H.** (2011). A generalized method for forecasting based on fuzzy time series. *Expert Systems with Applications*, 38 (8), 10446-10453.
- Qiu, W., Liu, X. ve Wang, L.** (2012). Forecasting shanghai composite index based on fuzzy time series and improved C-fuzzy decision trees. *Expert Systems with Applications*, 39 (9), 7680-7689.
- Radmehr, F. ve Gharneh, N.S.** (2012). Forecasting method based on high order fuzzy time series and simulated annealing technique. *South African Journal of Industrial Engineering*, 23 (2), 176-190.
- Rahoma, W.A., Rahoma, U.A. ve Hassan, A.H.** (2011). Application of neuro-fuzzy techniques for solar radiation. *Journal of Computer Science*, 7 (10), 1605-1611.
- Rehman, S. ve Al-Hadhrani, L.M.** (2010). Study of a solar PV-diesel-battery hybrid power system for a remotely located population near Rafha, Saudi Arabia. *Energy*, 35 (12), 4986-4995.
- Reikard, G.** (2009). Predicting solar radiation at high resolutions: A comparison of time series forecasts. *Solar Energy*, 83 (3), 342-349.

- Rekioua, D. ve Matagne, E.** (2012). *Optimization of Photovoltaic Power Systems, Modelization, Simulation and Control*. London: Springer-Verlag London Limited.
- Risser, V.V. ve Fuentes, M.K.** (1983). Linear regression analysis of flat-plate photovoltaic system performance data. *Proceedings of the Fifth International Photovoltaic Solar Energy Conference*, Athens, Greece.
- Rivington, M., Bellocchi, G., Matthews, K.B. ve Buchan, K.** (2005). Evaluation of three model estimations of solar radiation at 24 UK stations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132 (3-4), 228-243.
- Rizzo, R., Piegari, L., Tricoli, P., Munteanu, C. ve Topa, V.** (2009). Sizing of photovoltaic sources and storage devices for stand-alone power plants. *IEEE Bucharest PowerTech*, 1-6.
- Rowlands, I.H., Kemery, B.P. ve Beausoleil-Morrison, I.** (2011). Optimal solar-PV tilt angle and azimuth: An Ontario (Canada) case-study. *Energy Policy*, 39 (3), 1397-1409.
- Ru, Y., Kleissl, J. ve Martinez, S.** (2012). Storage size determination for grid-connected photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 4 (1), 68-81.
- Sahin, A.Z. ve Rehman, S.** (2012). Economical feasibility of utilizing photovoltaics for water pumping in Saudi Arabia. *International Journal of Photoenergy*, 2012, ID 542416, 9 sayfa.
- Saïdou, M., Mohamadou, K. ve Gregoire, S.** (2013). Photovoltaic Water Pumping System in Niger. In R.D. Rugescu (Ed.). *Application of Solar Energy* (pp.183-194). InTech.
- Salima, G. ve Chavula, G.M.S.** (2012). Determining Angstrom constants for estimating solar radiation in Malawi. *International Journal of Geosciences*, 3 (2), 391-397.
- Sallem, S., Chaabene, M. ve Kamoun, M.B.A.** (2009). Energy management algorithm for an optimum control of a photovoltaic water pumping system. *Applied Energy*, 86 (12), 2671-2680.
- Sammis, T., Sharma, P., Shukla, M.K., Wang, J. ve Miller, D.** (2012). A water-balance drip-irrigation scheduling model. *Agricultural Water Management*, 113, 30-37.
- Semaoui, S., Hadj Arab, A., Bacha, S. ve Azoui, B.** (2013). Optimal sizing of a stand-alone photovoltaic system with energy management in isolated areas. *Energy Procedia*, 36, 358-368.
- Seme, S. ve Štumberger, G.** (2011). A novel prediction algorithm for solar angles using solar radiation and differential evolution for dual-axis sun tracking purposes. *Solar Energy*, 85 (11), 2757-2770.
- Senol, R.** (2012). An analysis of solar energy and irrigation systems in Turkey. *Energy Policy*, 47, 478-486.
- Sevüktekin, M. ve Nargeleçekenler, M.** (2010). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizi*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

- Sfetsos, A.** (2000). A comparison of various forecasting techniques applied to mean hourly wind speed time series. *Renewable Energy*, 21 (1), 23-35.
- Sfetsos, A. ve Coonick, A.H.** (2000). Univariate and multivariate forecasting of hourly solar radiation with artificial intelligence techniques. *Solar Energy*, 68 (2), 169-178.
- Shah, M.** (2012). Fuzzy based trend mapping and forecasting for time series data. *Expert Systems with Applications*, 39 (7), 6351-6358.
- Shapiro, A.F.** (2005). Fuzzy regression models. *ARC*, 1-17.
- Sharafi, M. ve Elmekkawy, T.Y.** (2014). Multi-objective optimal design of hybrid renewable energy systems using PSO-simulation based approach. *Renewable Energy*, 68, 67-79.
- Sharma, N. ve Siddhartha, V.** (2012). Stochastic techniques used for optimization in solar systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (3), 1399-1411.
- Shivrath, Y., Narayana, P.B., Thirumalasetty, S. ve Narsaiah, E.L.** (2012). Design & Integration of Wind-Solar Hybrid Energy System for Drip Irrigation Pumping Application. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2 (4), 2947-2950.
- Short, T.D. ve Oldach, R.** (2003). Solar powered water pumps: The past, the present - and the future? *Journal of Solar Energy Engineering*, 125 (1), 76-82.
- Silvestre, S.** (2003). Review of System Design and Sizing Tools. In T. Markvart & L. Castañer (Eds.). *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications* (pp.543-561). UK: Elsevier Ltd.
- Singh, H.** (2013). *Sizing of photovoltaic array and battery using simplex method for stand alone photovoltaic system.* (Yüksek lisans tezi). Thapar University, Electrical & Instrumentation Engineering Department, Power Systems & Electric Drives, India.
- Singh, P. ve Borah, B.** (2013a). An efficient time series forecasting model based on fuzzy time series, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26 (10), 2443-2457.
- Singh, P. ve Borah, B.** (2013b). High-order fuzzy-neuro expert system for time series forecasting. *Knowledge-Based Systems*, 46, 12-21.
- Singh, S.R.** (2007a). A robust method of forecasting based on fuzzy time series. *Applied Mathematics and Computation*, 188 (1), 472-484.
- Singh, S.R.** (2007b). A simple method of forecasting based on fuzzy time series. *Applied Mathematics and Computation*, 186 (1), 330-339.
- Singh, S.R.** (2008). A computational method of forecasting based on fuzzy time series. *Mathematics and Computers in Simulation*, 79 (3), 539-554.
- Singh, S.R.** (2009). A computational method of forecasting based on high-order fuzzy time series. *Expert Systems with Applications*, 36 (7), 10551-10559.
- Sinton, C.W., Butler, R., Winnett, R.** (2005). Guide to solar-powered water pumping systems in New York State. *New York State Energy*

Research and Development Authority. Erişim: 18 Eylöl, 2014, http://water.epa.gov/infrastructure/sustain/upload/2005_1_27_publications_solarpumpingguide.pdf

- Siraki, A.G. ve Pillay, P.** (2012). Study of optimum tilt angles for solar panels in different latitudes for urban applications. *Solar Energy*, 86 (6), 1920-1928.
- Sivanandam, S.N., Sumathi, S. ve Deepa, S.N.** (2007). *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*. Springer-Verlag.
- Skeiker, K.** (2009). Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria. *Energy Conversion and Management*, 50 (9), 2439-2448.
- Smith, M.** (1992). CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Irrigation and Drainage Paper*, 46, Rome.
- Snyder, R.D., Koehler, A.B., Hyndman, R.J. ve Keith Ord, J.** (2004). Exponential smoothing models: Means and variances for lead-time demand. *European Journal of Operational Research*, 158 (2), 444-455.
- SoDa Service for Solar Radiation Data.** Erişim: 23 Ocak, 2014, www.soda-is.com
- Song, Q.** (1999). Seasonal forecasting in fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, 107 (2), 235-236.
- Song, Q.** (2003). A note on fuzzy time series model selection with sample autocorrelation functions. *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 34, 93-107.
- Song, Q. ve Chissom, B.S.** (1993a). Forecasting enrollments with fuzzy time series – Part I. *Fuzzy Sets and Systems*, 54 (1), 1-9.
- Song, Q. ve Chissom, B.S.** (1993b). Fuzzy time series and its models. *Fuzzy sets and Systems*, 54 (3), 269-277.
- Song, Q. ve Chissom, B.S.** (1994). Forecasting enrollments with fuzzy time series – Part II. *Fuzzy Sets and Systems*, 62 (1), 1-8.
- Song, Q., Leland, R.P. ve Chissom, B.S.** (1997). Fuzzy stochastic fuzzy time series and its models. *Fuzzy Sets and Systems*, 88 (3), 333-341.
- řtěpnička, M., Pavliska, V., Novák, V., Perfilieva, I., Vavřičková, L. ve Tornanová, I.** (2009). Time series analysis and prediction based on fuzzy rules and the fuzzy transform. *Proceedings of the Joint 2009 International Fuzzy Systems Association World Congress and 2009 European Society of Fuzzy Logic and Technology Conference*, Lisbon, Portugal.
- Stevenson, M. ve Porter, J.E.** (2009). Fuzzy time series forecasting using percentage change as the universe of discourse. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 31, 152-155.
- Stoppato, A., Cavazzini, G., Ardizzon, G. ve Rossetti, A.** (2014). A PSO (particle swarm optimization)-based model for the optimal management of a small PV(Photovoltaic)-pump hydro energy storage in a rural dry area. *Energy*, 76, 168-174.

- Su, C-H., Cheng, C-H. ve Tsai, W-L.** (2013). Fuzzy time series model based on fitting function for forecasting TAIEX index. *International Journal of Hybrid Information Technology*, 6 (1), 111-122.
- Su, Y., Chan, L-C., Shu, L. ve Tsui, K-L.** (2012). Real-time prediction models for output power and efficiency of grid-connected solar photovoltaic systems. *Applied Energy*, 93, 319-326.
- Sudirman, R., Ashenayi, K. ve Golbaba, M.** (2012). Comparison of methods used for forecasting solar radiation. *IEEE Green Technologies Conference*, 1-3.
- Suhartono ve Lee, M.H.** (2011). A hybrid approach based on Winter's model and weighted fuzzy time series for forecasting trend and seasonal data. *Journal of Mathematics and Statistics*, 7 (3), 177-183.
- Suhartono, Lee, M.H. ve Javedani, H.** (2011). A weighted fuzzy integrated time series for forecasting tourist arrivals. *Informatics Engineering and Information Science, Communications in Computer and Information Science*, 252, 206-217.
- Sulaiman, M.Y., Hlaing Oo, W.M., Wahab, M.A. ve Sulaiman, Z.A.** (1997). Analysis of residuals in daily solar radiation time series. *Renewable Energy*, 11 (1), 97-105.
- Sulaiman, S.I., Abdul Rahman, T.K., Musirin, I., Shaari, S. ve Sopian, K.** (2012). An intelligent method for sizing optimization in grid-connected photovoltaic system. *Solar Energy*, 86 (7), 2067-2082.
- Sullivan, J. ve Woodall, W.H.** (1994). A comparison of fuzzy forecasting and Markov modeling. *Fuzzy Sets and Systems*, 64 (3), 279-293.
- Suzuki, T., Goto, Y., Terazono, T., Wakao, S. ve Oozeki, T.** (2013). Forecasting of solar irradiance with Just-In-Time modeling. *Electrical Engineering in Japan*, 182 (4), 19-28.
- Şah, M. ve Degtiarev, K.Y.** (2005). Forecasting enrollment model based on first-order fuzzy time series. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 1, 375-378.
- Şen, Z.** (1998). Fuzzy algorithm for estimation of solar irradiation from sunshine duration. *Solar energy*, 63 (1), 39-49.
- Şen, Z.** (2007). Simple nonlinear solar irradiation estimation model. *Renewable Energy*, 32 (2), 342-350.
- Şen, Z.** (2008). *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques: Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy*. Springer-Verlag.
- Şen, Z. ve Cebeci, Ş.M.** (2008). Solar irradiation estimation by monthly principal component analysis. *Energy Conversion and Management*, 49 (11), 3129-3134.
- Şener, F.** (2005). *Yük tahmin yöntemleri ve Ankara merkez metropol alan için regresyon analizi yöntemi kullanılarak uygulanması*. (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.

- Şenol, R.** (2012). An analysis of solar energy and irrigation systems in Turkey. *Energy Policy*, 47, 478-486.
- Tapakis, R., Michaelides, S. ve Charalambides, A.G.** (2014). Computations of diffuse fraction of global irradiance: Part 1 - Analytical modelling. *Solar Energy*. Basım aşamasında.
- Tazvinga, H., Xia, X. ve Zhang, J.** (2013). Minimum cost solution of photovoltaic–diesel–battery hybrid power systems for remote consumers. *Solar Energy*, 96, 292-299.
- Teoh, H-J., Chen, T-L. ve Cheng, C-H.** (2007). Frequency-weighted fuzzy time-series based on Fibonacci sequence for TAIEX forecasting. *Emerging Technologies in Knowledge Discovery and Data Mining, Lecture Notes in Computer Science*, 4819, 27-34.
- Teoh, H-J., Chen, T-L., Cheng, C-H. ve Chu, H-H.** (2009). A hybrid multi-order fuzzy time series for forecasting stock markets. *Expert Systems with Applications*, 36 (4), 7888-7897.
- Terzi, Ö., Küçüksille, E.U., Ergin, G. ve İlker, A.** (2011). Veri madenciliği süreci kullanılarak güneş ışınımı tahmini. *SDU International Technologic Science*, 3 (2), 29-37.
- Tıraşoğlu, M.** (2012). HEGY mevsimsel birim kök testi: Türkiye’de TÜFE ve TÜFE harcama grupları için bir uygulama. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1 (1), 49-65.
- Tiris, M. ve Tiris, C.** (1997). Analysis of solar radiation data for Gebze, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 38 (2), 179-186.
- Topçu, S. ve Oney, S.** (1994). The estimation of hourly total irradiation for cloudy sky in İstanbul. *Renewable Energy*, 4 (2), 223-226.
- Topçuoğlu, K.** (2010). Manisa istasyonu yağışlarının stokastik modellemesi. *Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2 (13), 55-62.
- Tozan, H.** (2009). *Hybrid fuzzy/grey and ANFIS approaches to bullwhip effect in supply chains*. (Doktora tezi). Marmara University, Engineering Management Programme, İstanbul.
- Tozan, H. ve Vayvay, Ö.** (2008). Fuzzy and neuro-fuzzy forecasting approaches to whiplash effect in supply chains. *Journal of Naval Science and Engineering*, 4 (1), 27-42.
- Tozan, H. ve Vayvay, Ö.** (2009). A hybrid fuzzy time series and ANFIS approach to demand variability in supply chain networks. *Journal of Naval Science and Engineering*, 5 (2), 20-34.
- Tripathi, B., Yadav, P., Rathod, S. ve Kumar, M.** (2014). Performance analysis and comparison of two silicon material based photovoltaic technologies under actual climatic conditions in Western India. *Energy Conversion and Management*, 80, 97-102.
- Tsai, C-C. ve Wu, S-J.** (1999). A study for second-order modeling of fuzzy time series. *IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings*, 2, 719-725.

- Tsalides, Ph. ve Thanailakis, A.** (1986). Loss-of-load probability and related parameters in optimum computer-aided design of stand-alone photovoltaic systems. *Solar Cells*, 18 (2), 115-127.
- Tsaur, R-C.** (2012). A fuzzy time series-Markov chain model with an application to forecast the exchange rate between the Taiwan and US dolar. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 8 (7B), 4931-4942.
- Tsaur, R-C., O Yang, J-C. ve Wang, H-F.** (2005). Fuzzy relation analysis in fuzzy time series model. *Computers and Mathematics with Applications*, 49 (4), 539-548.
- Tseng, F-M. ve Tzeng, G-H.** (2002). A fuzzy seasonal ARIMA model for forecasting. *Fuzzy Sets and Systems*, 126 (3), 367-376.
- Tseng, F-M., Tzeng, G-H. ve Yu, H-C.** (1999). Fuzzy seasonal time series for forecasting the production value of the mechanical industry in Taiwan. *Technological Forecasting and Social Change*, 60 (3), 263-273.
- Tseng, F-M., Tzeng, G-H., Yu, H-C. ve Yuan, B.J.C.** (2001). Fuzzy ARIMA model for forecasting the foreign exchange market. *Fuzzy Sets and Systems*, 118 (1), 9-19.
- Türk Toğrul, İ.** (2009). Estimation of solar radiation from Angstroms coefficients by using geographical and meteorological data in Bishkek, Kyrgyzstan. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 29 (2), 99-108.
- Uçal Sarı, İ.** (2012). *Yatırım analizinde bulanık model önerileri*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Uçal Sarı, İ. ve Öztayşi, B.** (2012). Forecasting energy demand using fuzzy seasonal time series. In C. Kahraman (Ed.). *Computational Intelligence Systems in Industrial Engineering, Atlantis Computational Intelligence Systems* (Vol.6, pp.251-269). France: Atlantis Press.
- Uçar, Y., Kadayıfçı, A., Yılmaz, H.İ. ve Yardımcı, N.** (2005). Isparta koşullarında fasulyenin (*Phaseolus vulgaris* L.) su tüketimi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (35), 1-7.
- Upadhyay, S. ve Sharma, M.P.** (2014). A review on configurations, control and sizing methodologies of hybrid energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 47-63.
- Url-1** <www.enerji.gov.tr>, alındığı tarih: 05.12.2013.
- Url-2** <www.eie.gov.tr>, alındığı tarih: 05.12.2013.
- Url-3** <firstgreenconsulting.wordpress.com>, alındığı tarih: 05.12.2013.
- Url-4** <support.sas.com/documentation/cdl/en/etsug/60372/HTML/default/viewer.htm#etsug_arima_sect056.htm>, alındığı tarih: 05.12.2013.
- Url-5** <www.soda-is.com>, alındığı tarih: 23.01.2014.
- Url-6** <people.duke.edu/~rnau/arimrule.htm>, alındığı tarih: 17.05.2014.
- Url-7** <www.shunttech.com/tescom-solar-sulama-sistemi>, alındığı tarih: 26.09.2014.

- Url-8 <ambtech.in/solar_Waterpumping.html>, alındığı tarih: 26.09.2014.
- Url-9 <solarpower-mart.com/mppt_controller>, alındığı tarih: 03.10.2014.
- Url-10<users.cecs.anu.edu.au/~Andres.Cuevas/Sun/Irrad/Irradiation.html>, alındığı tarih: 05.11.2014.
- Url-11<www.letitgo.com.au/solar-engineering/19--estimating-solar-system-yields.html>, alındığı tarih: 17.05.2014.
- Uslu, V.R. ve Yolcu, U. (2010). Mevsimsel bulanık zaman serisi yaklaşımı ile Samsun ili kükürdioksit (SO₂) miktarının öngörüsü. *19. İstatistik Araştırma Sempozyumu*, TÜİK, Samsun.
- Uslu, V.R., Baş, E., Yolcu, U. ve Eğrioğlu, E. (2013). A new fuzzy time series analysis approach by using differential evolution algorithm and chronologically-determined weights. *Journal of Social and Economic Statistics*, 2 (1), 18-30.
- Uslu, V.R., Yolcu, U., Eğrioğlu, E., Aladağ, Ç.H. ve Başaran, M.A. (2012). Yüksek dereceli bulanık zaman serisi yaklaşımı ile Türkiye enflasyon öngörüsü. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27 (1), 85-95.
- Ünsal, M.G. ve Kasap, R. (2010). ARMA(1,1) modeli için artık tiplerinin hesaplanmasında kullanılan matrislerin incelenmesi. *19. İstatistik Araştırma Sempozyumu, Ana Teması İdari Kayıtlar ve İstatistik*, TÜİK, Ankara.
- Ünsal, M.G. ve Kasap, R. (2012). Residual types in time series and their applications. *Gazi University Journal of Science*, 25 (2), 409-416.
- Vartiainen, E. (2000). A new approach to estimating the diffuse irradiance on inclined surfaces. *Renewable Energy*, 20 (1), 45-64.
- Vecan, D. (2011). *Measurement and comparison of solar radiation estimation models for İzmir/Turkey: İzmir Institute of Technology case*. (Yüksek lisans tezi). İzmir Institute of Technology, Mechanical Engineering, İzmir.
- Vick, B.D. ve Clark, R.N. (2009). *Determining the optimum solar water pumping system for domestic use, livestock watering or irrigation*. Boulder, Colorado: American Solar Energy Society.
- Voyant, C., Muselli, M., Paoli, C. ve Nivet, M-L. (2012). Numerical weather prediction (NWP) and hybrid ARMA/ANN model to predict global radiation. *Energy*, 39 (1), 341-355.
- Voyant, C., Muselli, M., Paoli, C. ve Nivet, M-L. (2013a). Hybrid methodology for hourly global radiation forecasting in Mediterranean area. *Renewable Energy*, 53, 1-11.
- Voyant, C., Paoli, C., Muselli, M. ve Nivet, M-L. (2013b). Multi-horizon solar radiation forecasting for Mediterranean locations using time series models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 44-52.
- Wang, C-C. (2011). A comparison study between fuzzy time series model and ARIMA model for forecasting Taiwan export. *Expert Systems with Applications*, 38 (8), 9296-9304.

- Wang, J., Xie, Y., Zhu, C. ve Xu, X.** (2011). Solar radiation prediction based on phase space reconstruction of wavelet neural network. *Procedia Engineering*, 15, 4603-4607.
- Wang, L., Liu, X. ve Pedrycz, W.** (2013). Effective intervals determined by information granules to improve forecasting in fuzzy time series. *Expert Systems with Applications*, 40 (14), 5673-5679.
- Wang, N-Y. ve Chen, S-M.** (2009). Temperature prediction and TAIFEX forecasting based on automatic clustering techniques and two-factors high-order fuzzy time series. *Expert Systems with Applications*, 36 (2), 2143-2154.
- Wenxian, L.** (1988). A general correlation for estimating the monthly average daily direct radiation incident on a horizontal surface in Yunnan Province, China. *Solar Energy*, 41 (1), 1-3.
- Wisseem, Z., Gueorgui, K. ve Hédi, K.** (2012). Modeling and technical-economic optimization of an autonomous photovoltaic system. *Energy*, 37 (1), 263-272.
- Wong, H-L., Tu, Y-H. ve Wang, C-C.** (2010a). Application of fuzzy time series models for forecasting the amount of Taiwan export. *Expert Systems with Applications*, 37 (2), 1465-1470.
- Wong, W-K., Bai, E. ve Chu, A.W-C.** (2010b). Adaptive time-variant models for fuzzy-time-series forecasting. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 40 (6), 1531-1542.
- Wong, Y.W. ve Sumathy, K.** (1999). Solar thermal water pumping systems: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3 (2-3), 185-217.
- Wu, J. ve Chan, C.K.** (2011). Prediction of hourly solar radiation using a novel hybrid model of ARMA and TDNN. *Solar Energy*, 85 (5), 808-817.
- Wu, J. ve Chan, C.K.** (2013). Prediction of hourly solar radiation with multi-model framework. *Energy Conversion and Management*, 76, 347-355.
- Yadav, A.K. ve Chandel, S.S.** (2013). Tilt angle optimization to maximize incident solar radiation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 503-513.
- Yadav, A.K. ve Chandel, S.S.** (2014). Solar radiation prediction using Artificial Neural Network techniques: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 772-781.
- Yang, H., Lu, L. ve Zhou, W.** (2007). A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system. *Solar Energy*, 81 (1), 76-84.
- Yanling, G., Changzheng, C. ve Bo, Z.** (2012). Blind source separation for forecast of solar irradiance. *Second International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA)*, 1392-1395.
- Yeh, C-A.** (2004). *New fuzzy time series approaches for forecasting in expenditure of information project.* (Yüksek lisans tezi). National Yunlin University of Science and Technology, Institute of Information Management, Taiwan, Republic of China.

- Yeşilata, B. ve Fıratoğlu, Z.A.** (2008). Effect of solar radiation correlations on system sizing: PV pumping case. *Renewable Energy*, 33 (1), 155-161.
- Yılmaz, D. ve Güler, N.F.** (2006). Kaotik zaman serisinin analizi üzerine bir araştırma. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (4), 759-779.
- Yılmaz, E.** (2013). Estimation of horizontal solar radiation in Bolu (Turkey). *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 35 (11), 1053-1055.
- Yolcu, U.** (2008). *Yapay sinir ağına dayalı yüksek dereceli bulanık zaman serisi öngörü modeli*. (Yüksek lisans tezi). On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, Samsun.
- Yolcu, U.** (2011). *Bulanık zaman serilerinde çok değişkenli çözümleme*. (Doktora tezi). On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, Samsun.
- Yolcu, U., Eğrioglu, E., Uslu, V.R., Aladağ, Ç.H. ve Başaran, M.A.** (2008). Aralık uzunluğunun optimizasyonuna dayalı bulanık zaman serisi yaklaşımı ve bir uygulama. *17. İstatistik Araştırma Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, TÜİK, 126-134.
- Yolcu, U., Eğrioglu, E., Uslu, V.R., Başaran, M.A. ve Aladağ, Ç.H.** (2009). A new approach for determining the length of intervals for fuzzy time series. *Applied Soft Computing*, 9 (2), 647-651.
- Yu, H-K.** (2005a). A refined fuzzy time-series model for forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 346 (3-4), 657-681.
- Yu, H-K.** (2005b). Weighted fuzzy time series models for TAIEX forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 349 (3-4), 609-624.
- Zadeh, L.A.** (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zaharim, A., Razali, A.M., Gim, T.P. ve Sopian, K.** (2009). Time series analysis of solar radiation data in the tropics. *European Journal of Scientific Research*, 25 (4), 672-678.
- Zanescio, I., Moehlecke, A., Medeiros, G.S., Mallmann, A.P. ve Ponce-Alcantara, S.** (2004). Analytic method for sizing stand-alone PV systems in Brazil. *Proceedings 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Paris.
- Zeng, J. ve Qiao, W.** (2013). Short-term solar power prediction using a support vector machine. *Renewable Energy*, 52, 118-127.
- Zhang, G.P.** (2003). Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*, 50, 159 – 175.
- Zhang, J., Liu, J., Campana, P.E., Zhang, R., Yan, J. ve Geo, X.** (2014). Model of evapotranspiration and groundwater level based on photovoltaic water pumping system. *Applied Energy*, 136, 1132-1137.
- Zhang, L., Barakat, G. ve Yassine, A.** (2012). Deterministic optimization and cost analysis of hybrid PV/wind/battery/diesel power system. *International Journal of Renewable Energy Research*, 2 (4), 686-696.

- Zhang, Y.L., Qin, B.Q. ve Chen, W.M.** (2004). Analysis of 40 year records of solar radiation data in Shanghai, Nanjing and Hangzhou in Eastern China. *Theoretical and Applied Climatology*, 78 (4), 217-227.
- Zheng, Z.W., Chen, Y.Y., Huo, M.M. ve Zhao, B.** (2011). An overview: the development of prediction technology of wind and photovoltaic power generation. *Energy Procedia*, 12, 601-608.
- Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L. ve Yang, H.** (2010). Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems. *Applied Energy*, 87 (2), 380-389.

EKLER

EK A : Deneme-1 modeli algoritması

EK B : Deneme-8 modeli algoritması

EK C : Radyasyon test verisinde gerçek değerler ile deneme-8 modeli tahminleri

EK D : İllere göre radyasyon tahmin hataları

EK E : İllere göre sıcaklık tahmin hataları

EK F : Örnek PV sulama sistemi için veriler

EK G : PVSYST yazılımıyla elde edilen 2005 yılı Antalya senaryo-1 sonuçları

EK H : Senaryolara göre performans sonuçları

EK A : Deneme-1 modeli algoritması

```
tic
clc
clear all
close all
data=xlsread('deneme.xlsx','Sayfa1');
x=data(:,2)';
datacount=size(x,2); % istatistiksel evrensel küme tanımı
if datacount<=30
    s=std(x,0);
    DL=min(x)-s*tinv(0.95,datacount)/sqrt(datacount);
    DU=max(x)+s*tinv(0.95,datacount)/sqrt(datacount);
elseif datacount>30
    s=std(x,1);
    DL=min(x)-s*norminv(0.95)/sqrt(datacount);
    DU=max(x)+s*norminv(0.95)/sqrt(datacount);
end
U1=[DL,DU];
L=1000;
U=[floor(DL/L)*L,(floor(DU/L)+1)*L];
n=(U(2)-U(1))/L;
for i=0:(n-1) % eşit aralıkların tanımlanması
    u(i+1,1)=U(1)+L*(i);
    u(i+1,2)=u(i+1,1)+L;
end
A=[];
for i=1:size(x,2)
    for j=1:n
        if x(i)>=u(j,1) && x(i)<=u(j,2)
            A(i)=j;
        end
    end
end
density=hist(A); % veri sıklığına göre aralıkları tekrar parçalama
density(:,~any(density,1))=[];
[col]=find(density==max(density));
if numel(col)>1
    col=col(1,numel(col));
end
i=col;
density(col)=0; col=0;
[col]=find(density==max(density));
if numel(col)>1
    col=col(1,numel(col));
end
j=col;
density(col)=0; col=0;
[col]=find(density==max(density));
if numel(col)>1
    col=col(1,numel(col));
end
k=col;
L4=(u(i,2)-u(i,1))/4;
new_u4(1,1)=u(i,1);
new_u4(1,2)=new_u4(1,1)+L4;
new_u4(2,1)=new_u4(1,2);
new_u4(2,2)=new_u4(1,2)+L4;
new_u4(3,1)=new_u4(2,2);
new_u4(3,2)=new_u4(2,2)+L4;
new_u4(4,1)=new_u4(3,2);
new_u4(4,2)=new_u4(3,2)+L4;
```

```

L3=(u(j,2)-u(j,1))/3;
new_u3(1,1)=u(j,1);
new_u3(1,2)=new_u3(1,1)+L3;
new_u3(2,1)=new_u3(1,2);
new_u3(2,2)=new_u3(1,2)+L3;
new_u3(3,1)=new_u3(2,2);
new_u3(3,2)=new_u3(2,2)+L3;
L2=(u(k,2)-u(k,1))/2;
new_u2(1,1)=u(k,1);
new_u2(1,2)=new_u2(1,1)+L2;
new_u2(2,1)=new_u2(1,2);
new_u2(2,2)=new_u2(1,2)+L2;
u(i,:)=0; u(j,:)=0; u(k,:)=0;
for p=1:size(u,1)
    if u(p,2)<=new_u4(1,1)
        u=insertrows(u,new_u4,p);
    end
end
for p=1:size(u,1)
    if u(p,2)<=new_u3(1,1)
        u=insertrows(u,new_u3,p);
    end
end
for p=1:size(u,1)
    if u(p,2)<=new_u2(1,1)
        u=insertrows(u,new_u2,p);
    end
end
for i=1:size(u,1)
    m(i)=(u(i,1)+u(i,2))/2;
end
u=sort(u);
u=unique(u,'rows');
u(~any(u,2),:)=[];
AA=[];
for i=1:size(x,2) % üçgen bulanık sayıların tanımlanması
    for j=1:size(u,1)
        if x(i)>=u(j,1) && x(i)<=u(j,2)
            AA(i)=j;
        end
    end
end
B=[];
for i=1:(size(AA,2)-1) % bulanık ilişkilerin tanımlanması
    B=[B;AA(i) AA(i+1)];
end
k=0; recurrence=[]; M=[]; W=[]; final=[];
for i=1:size(B,1) % bulanık ilişki grupları, ağırlıklandırma
    k=B(i,1);
    recurrence(k)=size(find(B(:,1)==k),1);
    if recurrence(k)==1
        final(:, :, k)=[m(B(i,2))];
    end
    if recurrence(k)>1 % bulanık ilişkileri ağırlıklandırma
        temp1=B(i,1);
        temp2=B(i,2);
        M=[M;temp1 temp2];
        [row]=find(M(:,1)==k);
        s=size(M(row,2),1);
        for p=1:s
            W=[W;p/(s*(s+1)/2)];
        end
    end
end

```

```

        end
        temp3=m(M(row,2))*W; % bulanıklığı kaldırma
        final(:, :, k)=[temp3];
        W=[];
    end
end
F=[];
for i=2:size(AA,2) % son tahminler
    F(i)=final(:, :, AA(i-1));
end
xlswrite(deneme.xlsx',{'Forecasts-1'}, 'Sayfa1', 'C1')
xlswrite(deneme.xlsx',F', 'Sayfa1', 'C2');
toc

```

EK B : Deneme-8 modeli algoritması

```

tic
clc
clear all
close all
data=xlsread('deneme.xlsx', 'Sayfa1');
x=data(:,2)';
xi=x;
datacount=size(x,2); % istatistiksel evrensel küme tanımı
if datacount<=30
    s=std(x,0);
    DL=min(x)-s*tnv(0.95,datacount)/sqrt(datacount);
    DU=max(x)+s*tnv(0.95,datacount)/sqrt(datacount);
elseif datacount>30
    s=std(x,1);
    DL=min(x)-s*norminv(0.95)/sqrt(datacount);
    DU=max(x)+s*norminv(0.95)/sqrt(datacount);
end
U1=[DL, DU];
for L=1:(DU-DL)
    U=[floor(DL/L)*L, (floor(DU/L)+1)*L];
    n=(U(2)-U(1))/L;
    for i=0:(n-1) % eşit aralıkların tanımlanması
        u(i+1,1)=U(1)+L*(i);
        u(i+1,2)=u(i+1,1)+L;
    end
    % veri sıklığına göre aralıkları tekrar parçalama
    say1=zeros(1,size(u,1));
    for i=1:size(x,2)
        for j=1:size(u,1)
            if x(i)>=u(j,1) && x(i)<=u(j,2)
                A(i)=j;
                say1(j)=say1(j)+1;
            end
        end
    end
    [row]=find(say1==max(say1));
    say1=[];
    if size(row,2)>1
        rnd_number=randi([1 size(row,2)],1,1);
        row=row(rnd_number);
    end
    k=(u(row,2)-u(row,1))/4;
    u(row,2)=u(row,1)+k;
    u_new2=[u(row,2) u(row,2)+k];

```

```

u_new3=[u(row,2)+k u(row,2)+2*k];
u_new4=[u(row,2)+2*k u(row,2)+3*k];
u=insertrows(u,u_new2,row);
u=insertrows(u,u_new3,row+1);
u=insertrows(u,u_new4,row+2);
say2=zeros(1,size(u,1));
for i=1:size(x,2)
    for j=1:size(u,1)
        if x(i)>=u(j,1) && x(i)<=u(j,2)
            A(i)=j;
            say2(j)=say2(j)+1;
        end
    end
end
[row]=find(say2==max(say2));
say2=[];
if size(row,2)>1
    rnd_number=randi([1 size(row,2)],1,1);
    row=row(rnd_number);
end
k=(u(row,2)-u(row,1))/3;
u(row,2)=u(row,1)+k;
u_new2=[u(row,2) u(row,2)+k];
u_new3=[u(row,2)+k u(row,2)+2*k];
u=insertrows(u,u_new2,row);
u=insertrows(u,u_new3,row+1);
say3=zeros(1,size(u,1));
for i=1:size(x,2)
    for j=1:size(u,1)
        if x(i)>=u(j,1) && x(i)<=u(j,2)
            A(i)=j;
            say3(j)=say3(j)+1;
        end
    end
end
[row]=find(say3==max(say3));
say3=[];
if size(row,2)>1
    rnd_number=randi([1 size(row,2)],1,1);
    row=row(rnd_number);
end
k=(u(row,2)-u(row,1))/2;
u(row,2)=u(row,1)+k;
u_new2=[u(row,2) u(row,2)+k];
u=insertrows(u,u_new2,row);
for i=1:size(u,1) % yamuk bulanık sayıların tanımlanması
    TFN(:, :, i)=[u(i,1)-L u(i,1) u(i,2) u(i,2)+L];
end
Ai=[];
for i=1:size(x,2)
    for j=1:size(u,1)
        if x(i)>=u(j,1) && x(i)<=u(j,2)
            Ai(i)=j;
        end
    end
end
% geliştirilmiş ardışık hesaplama algoritması
for i=3:(size(xi,2)-1)
    R=0; S=0;
    D(i)=abs(abs(xi(i)-xi(i-1))-abs(xi(i-1)-xi(i-2)));
    Q1(i)=xi(i)+D(i)/2;
end

```

```

QQ1(i)=xi(i)-D(i)/2;
Q2(i)=xi(i)+D(i)/3;
QQ2(i)=xi(i)-D(i)/3;
Q3(i)=xi(i)+D(i)/4;
QQ3(i)=xi(i)-D(i)/4;
Q4(i)=xi(i)+D(i)/5;
QQ4(i)=xi(i)-D(i)/5;
Q5(i)=xi(i)+D(i)/6;
QQ5(i)=xi(i)-D(i)/6;
Q6(i)=xi(i)+D(i)/7;
QQ6(i)=xi(i)-D(i)/7;
Q7(i)=xi(i)+D(i)/8;
QQ7(i)=xi(i)-D(i)/8;
Q8(i)=xi(i)+D(i)/9;
QQ8(i)=xi(i)-D(i)/9;
Q9(i)=xi(i)+D(i)/10;
QQ9(i)=xi(i)-D(i)/10;
H1(i)=xi(i)+D(i);
HH1(i)=xi(i)-D(i);
H2(i)=xi(i)+2*D(i);
HH2(i)=xi(i)-2*D(i);
H3(i)=xi(i)+3*D(i);
HH3(i)=xi(i)-3*D(i);
H4(i)=xi(i)+4*D(i);
HH4(i)=xi(i)-4*D(i);
H5(i)=xi(i)+5*D(i);
HH5(i)=xi(i)-5*D(i);
H6(i)=xi(i)+6*D(i);
HH6(i)=xi(i)-6*D(i);
H7(i)=xi(i)+7*D(i);
HH7(i)=xi(i)-7*D(i);
H8(i)=xi(i)+8*D(i);
HH8(i)=xi(i)-8*D(i);
H9(i)=xi(i)+9*D(i);
HH9(i)=xi(i)-9*D(i);
H10(i)=xi(i)+10*D(i);
HH10(i)=xi(i)-10*D(i);
temp=Ai(i+1);
if Q1(i)>=u(temp,1) && Q1(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q1(i); S=S+1;
end
if QQ1(i)>=u(temp,1) && QQ1(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ1(i); S=S+1;
end
if Q2(i)>=u(temp,1) && Q2(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q2(i); S=S+1;
end
if QQ2(i)>=u(temp,1) && QQ2(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ2(i); S=S+1;
end
if Q3(i)>=u(temp,1) && Q3(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q3(i); S=S+1;
end
if QQ3(i)>=u(temp,1) && QQ3(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ3(i); S=S+1;
end
if Q4(i)>=u(temp,1) && Q4(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q4(i); S=S+1;
end
if QQ4(i)>=u(temp,1) && QQ4(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ4(i); S=S+1;
end

```

```

end
if Q5(i)>=u(temp,1) && Q5(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q5(i); S=S+1;
end
if QQ5(i)>=u(temp,1) && QQ5(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ5(i); S=S+1;
end
if Q6(i)>=u(temp,1) && Q6(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q6(i); S=S+1;
end
if QQ6(i)>=u(temp,1) && QQ6(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ6(i); S=S+1;
end
if Q7(i)>=u(temp,1) && Q7(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q7(i); S=S+1;
end
if QQ7(i)>=u(temp,1) && QQ7(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ7(i); S=S+1;
end
if Q8(i)>=u(temp,1) && Q8(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q8(i); S=S+1;
end
if QQ8(i)>=u(temp,1) && QQ8(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ8(i); S=S+1;
end
if Q9(i)>=u(temp,1) && Q9(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q9(i); S=S+1;
end
if QQ9(i)>=u(temp,1) && QQ9(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ9(i); S=S+1;
end
if H1(i)>=u(temp,1) && H1(i)<=u(temp,2)
    R=R+H1(i); S=S+1;
end
if HH1(i)>=u(temp,1) && HH1(i)<=u(temp,2)
    R=R+HH1(i); S=S+1;
end
if H2(i)>=u(temp,1) && H2(i)<=u(temp,2)
    R=R+H2(i); S=S+1;
end
if HH2(i)>=u(temp,1) && HH2(i)<=u(temp,2)
    R=R+HH2(i); S=S+1;
end
if H3(i)>=u(temp,1) && H3(i)<=u(temp,2)
    R=R+H3(i); S=S+1;
end
if HH3(i)>=u(temp,1) && HH3(i)<=u(temp,2)
    R=R+HH3(i); S=S+1;
end
if H4(i)>=u(temp,1) && H4(i)<=u(temp,2)
    R=R+H4(i); S=S+1;
end
if HH4(i)>=u(temp,1) && HH4(i)<=u(temp,2)
    R=R+HH4(i); S=S+1;
end
if H5(i)>=u(temp,1) && H5(i)<=u(temp,2)
    R=R+H5(i); S=S+1;
end
if HH5(i)>=u(temp,1) && HH5(i)<=u(temp,2)
    R=R+HH5(i); S=S+1;
end

```

```

    if H6(i)>=u(temp,1) && H6(i)<=u(temp,2)
        R=R+H6(i); S=S+1;
    end
    if HH6(i)>=u(temp,1) && HH6(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH6(i); S=S+1;
    end
    if H7(i)>=u(temp,1) && H7(i)<=u(temp,2)
        R=R+H7(i); S=S+1;
    end
    if HH7(i)>=u(temp,1) && HH7(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH7(i); S=S+1;
    end
    if H8(i)>=u(temp,1) && H8(i)<=u(temp,2)
        R=R+H8(i); S=S+1;
    end
    if HH8(i)>=u(temp,1) && HH8(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH8(i); S=S+1;
    end
    if H9(i)>=u(temp,1) && H9(i)<=u(temp,2)
        R=R+H9(i); S=S+1;
    end
    if HH9(i)>=u(temp,1) && HH9(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH9(i); S=S+1;
    end
    if H10(i)>=u(temp,1) && H10(i)<=u(temp,2)
        R=R+H10(i); S=S+1;
    end
    if HH10(i)>=u(temp,1) && HH10(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH10(i); S=S+1;
    end
    %  $\alpha$ -kesit bulanıklık kaldırma
    F(i+1)=(R+((TFN(:,2,temp)+TFN(:,3,temp))/2))/(S+1);
end
sum=0;
for i=4:size(x,2)
    sum1=(F(i)-x(i))^2;
    sum=sum+sum1;
end
MSE(L)=sum/(size(F,2)-3);
u=[];
end
[column]=find(MSE==min(MSE)); % optimal aralık uzunluğunun bulunması
ve algoritmanın bu uzunluğa göre tekrar hesaplanması
L=column;
U=[floor(DL/L)*L, (floor(DU/L)+1)*L];
n=(U(2)-U(1))/L;
for i=0:(n-1)
    u(i+1,1)=U(1)+L*(i);
    u(i+1,2)=u(i+1,1)+L;
end
for j=1:size(u,1)
    say1(j)=0;
end
for i=1:size(x,2)
    for j=1:size(u,1)
        if x(i)>=u(j,1) && x(i)<=u(j,2)
            A(i)=j;
            say1(j)=say1(j)+1;
        end
    end
end
end
end

```



```

[row]=find(say1==max(say1));
if size(row,2)>1
    rnd_number=randi([1 size(row,2)],1,1);
    row=row(rnd_number);
end
k=(u(row,2)-u(row,1))/4;
u(row,2)=u(row,1)+k;
u_new2=[u(row,2) u(row,2)+k];
u_new3=[u(row,2)+k u(row,2)+2*k];
u_new4=[u(row,2)+2*k u(row,2)+3*k];
u=insertrows(u,u_new2,row);
u=insertrows(u,u_new3,row+1);
u=insertrows(u,u_new4,row+2);
for j=1:size(u,1)
    say2(j)=0;
end
for i=1:size(x,2)
    for j=1:size(u,1)
        if x(i)>=u(j,1) && x(i)<=u(j,2)
            A(i)=j;
            say2(j)=say2(j)+1;
        end
    end
end
[ row]=find(say2==max(say2));
if size(row,2)>1
    rnd_number=randi([1 size(row,2)],1,1);
    row=row(rnd_number);
end
k=(u(row,2)-u(row,1))/3;
u(row,2)=u(row,1)+k;
u_new2=[u(row,2) u(row,2)+k];
u_new3=[u(row,2)+k u(row,2)+2*k];
u=insertrows(u,u_new2,row);
u=insertrows(u,u_new3,row+1);
for j=1:size(u,1)
    say3(j)=0;
end
for i=1:size(x,2)
    for j=1:size(u,1)
        if x(i)>=u(j,1) && x(i)<=u(j,2)
            A(i)=j;
            say3(j)=say3(j)+1;
        end
    end
end
[ row]=find(say3==max(say3));
if size(row,2)>1
    rnd_number=randi([1 size(row,2)],1,1);
    row=row(rnd_number);
end
k=(u(row,2)-u(row,1))/2;
u(row,2)=u(row,1)+k;
u_new2=[u(row,2) u(row,2)+k];
u=insertrows(u,u_new2,row);
for i=1:size(u,1)
    TFN(:, :, i)=[u(i,1)-L u(i,1) u(i,2) u(i,2)+L];
end
Ai=[];
for i=1:size(x,2)
    for j=1:size(u,1)

```

```

        if x(i)>=u(j,1) && x(i)<=u(j,2)
            Ai(i)=j;
        end
    end
end
for i=3:(size(xi,2)-1)
    R=0; S=0;
    D(i)=abs(abs(xi(i)-xi(i-1))-abs(xi(i-1)-xi(i-2)));
    Q1(i)=xi(i)+D(i)/2;
    QQ1(i)=xi(i)-D(i)/2;
    Q2(i)=xi(i)+D(i)/3;
    QQ2(i)=xi(i)-D(i)/3;
    Q3(i)=xi(i)+D(i)/4;
    QQ3(i)=xi(i)-D(i)/4;
    Q4(i)=xi(i)+D(i)/5;
    QQ4(i)=xi(i)-D(i)/5;
    Q5(i)=xi(i)+D(i)/6;
    QQ5(i)=xi(i)-D(i)/6;
    Q6(i)=xi(i)+D(i)/7;
    QQ6(i)=xi(i)-D(i)/7;
    Q7(i)=xi(i)+D(i)/8;
    QQ7(i)=xi(i)-D(i)/8;
    Q8(i)=xi(i)+D(i)/9;
    QQ8(i)=xi(i)-D(i)/9;
    Q9(i)=xi(i)+D(i)/10;
    QQ9(i)=xi(i)-D(i)/10;
    H1(i)=xi(i)+D(i);
    HH1(i)=xi(i)-D(i);
    H2(i)=xi(i)+2*D(i);
    HH2(i)=xi(i)-2*D(i);
    H3(i)=xi(i)+3*D(i);
    HH3(i)=xi(i)-3*D(i);
    H4(i)=xi(i)+4*D(i);
    HH4(i)=xi(i)-4*D(i);
    H5(i)=xi(i)+5*D(i);
    HH5(i)=xi(i)-5*D(i);
    H6(i)=xi(i)+6*D(i);
    HH6(i)=xi(i)-6*D(i);
    H7(i)=xi(i)+7*D(i);
    HH7(i)=xi(i)-7*D(i);
    H8(i)=xi(i)+8*D(i);
    HH8(i)=xi(i)-8*D(i);
    H9(i)=xi(i)+9*D(i);
    HH9(i)=xi(i)-9*D(i);
    H10(i)=xi(i)+10*D(i);
    HH10(i)=xi(i)-10*D(i);
    temp=Ai(i+1);
    if Q1(i)>=u(temp,1) && Q1(i)<=u(temp,2)
        R=R+Q1(i); S=S+1;
    end
    if QQ1(i)>=u(temp,1) && QQ1(i)<=u(temp,2)
        R=R+QQ1(i); S=S+1;
    end
    if Q2(i)>=u(temp,1) && Q2(i)<=u(temp,2)
        R=R+Q2(i); S=S+1;
    end
    if QQ2(i)>=u(temp,1) && QQ2(i)<=u(temp,2)
        R=R+QQ2(i); S=S+1;
    end
    if Q3(i)>=u(temp,1) && Q3(i)<=u(temp,2)
        R=R+Q3(i); S=S+1;
    end
end

```

```

end
if QQ3(i)>=u(temp,1) && QQ3(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ3(i); S=S+1;
end
if Q4(i)>=u(temp,1) && Q4(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q4(i); S=S+1;
end
if QQ4(i)>=u(temp,1) && QQ4(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ4(i); S=S+1;
end
if Q5(i)>=u(temp,1) && Q5(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q5(i); S=S+1;
end
if QQ5(i)>=u(temp,1) && QQ5(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ5(i); S=S+1;
end
if Q6(i)>=u(temp,1) && Q6(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q6(i); S=S+1;
end
if QQ6(i)>=u(temp,1) && QQ6(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ6(i); S=S+1;
end
if Q7(i)>=u(temp,1) && Q7(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q7(i); S=S+1;
end
if QQ7(i)>=u(temp,1) && QQ7(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ7(i); S=S+1;
end
if Q8(i)>=u(temp,1) && Q8(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q8(i); S=S+1;
end
if QQ8(i)>=u(temp,1) && QQ8(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ8(i); S=S+1;
end
if Q9(i)>=u(temp,1) && Q9(i)<=u(temp,2)
    R=R+Q9(i); S=S+1;
end
if QQ9(i)>=u(temp,1) && QQ9(i)<=u(temp,2)
    R=R+QQ9(i); S=S+1;
end
if H1(i)>=u(temp,1) && H1(i)<=u(temp,2)
    R=R+H1(i); S=S+1;
end
if HH1(i)>=u(temp,1) && HH1(i)<=u(temp,2)
    R=R+HH1(i); S=S+1;
end
if H2(i)>=u(temp,1) && H2(i)<=u(temp,2)
    R=R+H2(i); S=S+1;
end
if HH2(i)>=u(temp,1) && HH2(i)<=u(temp,2)
    R=R+HH2(i); S=S+1;
end
if H3(i)>=u(temp,1) && H3(i)<=u(temp,2)
    R=R+H3(i); S=S+1;
end
if HH3(i)>=u(temp,1) && HH3(i)<=u(temp,2)
    R=R+HH3(i); S=S+1;
end
if H4(i)>=u(temp,1) && H4(i)<=u(temp,2)
    R=R+H4(i); S=S+1;
end
end

```

```

    if HH4(i)>=u(temp,1) && HH4(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH4(i); S=S+1;
    end
    if H5(i)>=u(temp,1) && H5(i)<=u(temp,2)
        R=R+H5(i); S=S+1;
    end
    if HH5(i)>=u(temp,1) && HH5(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH5(i); S=S+1;
    end
    if H6(i)>=u(temp,1) && H6(i)<=u(temp,2)
        R=R+H6(i); S=S+1;
    end
    if HH6(i)>=u(temp,1) && HH6(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH6(i); S=S+1;
    end
    if H7(i)>=u(temp,1) && H7(i)<=u(temp,2)
        R=R+H7(i); S=S+1;
    end
    if HH7(i)>=u(temp,1) && HH7(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH7(i); S=S+1;
    end
    if H8(i)>=u(temp,1) && H8(i)<=u(temp,2)
        R=R+H8(i); S=S+1;
    end
    if HH8(i)>=u(temp,1) && HH8(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH8(i); S=S+1;
    end
    if H9(i)>=u(temp,1) && H9(i)<=u(temp,2)
        R=R+H9(i); S=S+1;
    end
    if HH9(i)>=u(temp,1) && HH9(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH9(i); S=S+1;
    end
    if H10(i)>=u(temp,1) && H10(i)<=u(temp,2)
        R=R+H10(i); S=S+1;
    end
    if HH10(i)>=u(temp,1) && HH10(i)<=u(temp,2)
        R=R+HH10(i); S=S+1;
    end
    F(i+1)=(R+((TFN(:,2,temp)+TFN(:,3,temp))/2))/(S+1);
end
% en iyi tahminlerin excele yazdırılması
xlswrite('deneme.xlsx',{ 'Forecasts-8'}, 'Sayfa1', 'J1')
xlswrite('deneme.xlsx',F, 'Sayfa1', 'J2');
toc

```

EK C : Radyasyon test verisinde gerçek değerler ile deneme-8 modeli tahminleri

Çizelge C.1 : 1985-2005 yılları için gerçek aylık değerler ile tahminler.

	Yıl \ Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1985	Gerçek değer	56,71	93,20	132,00	196,77	265,84	287,37	298,44	265,71	212,30	119,39	77,48	60,84
	Tahmin değeri	0	0	0	202,61	274,30	287,66	298,41	267,85	204,37	121,71	76,23	63,37
1986	Gerçek değer	57,45	69,20	95,87	201,77	241,48	267,10	320,00	268,26	191,47	107,71	67,98	48,32
	Tahmin değeri	59,03	54,07	95,57	207,47	236,47	265,59	321,61	270,31	190,72	111,52	65,62	48,52
1987	Gerçek değer	41,71	83,82	104,50	160,35	224,23	278,87	283,61	237,16	214,83	113,06	70,33	43,19
	Tahmin değeri	40,95	85,51	95,19	155,63	217,75	280,38	281,58	221,85	220,86	112,21	71,42	42,63
1988	Gerçek değer	66,90	81,96	134,65	144,67	227,31	251,21	288,39	265,06	200,70	90,99	55,81	54,29
	Tahmin değeri	72,15	78,49	129,40	133,53	236,55	191,25	299,76	262,62	203,84	96,78	54,04	54,40
1989	Gerçek değer	66,29	109,82	128,87	194,47	206,61	255,68	272,19	251,58	172,57	111,39	67,13	56,42
	Tahmin değeri	71,47	116,21	131,77	204,08	156,72	262,22	277,69	244,88	169,10	109,92	67,36	55,42
1990	Gerçek değer	64,23	89,71	162,39	189,60	203,90	272,83	276,61	249,58	192,50	120,00	76,37	40,13
	Tahmin değeri	63,89	92,62	141,85	215,99	155,40	262,73	275,46	248,26	191,03	119,49	77,42	30,12
1991	Gerçek değer	57,58	64,29	81,61	117,43	180,45	262,77	254,87	242,13	156,50	105,00	57,07	32,87
	Tahmin değeri	59,16	52,44	94,63	112,93	158,55	267,04	206,53	245,95	166,46	88,26	59,19	33,69
1992	Gerçek değer	53,06	79,32	114,48	171,47	216,65	231,23	232,81	260,35	201,73	123,74	73,97	34,84
	Tahmin değeri	54,41	79,99	114,82	169,96	216,14	190,68	222,62	263,33	205,73	119,65	73,91	33,56
1993	Gerçek değer	70,03	63,11	118,06	164,83	166,84	286,47	275,87	252,61	199,00	127,61	42,93	53,10
	Tahmin değeri	72,82	54,64	113,21	169,37	152,31	286,02	275,62	247,62	201,96	126,13	48,44	55,22
1994	Gerçek değer	51,03	62,75	131,03	178,43	229,42	275,30	283,74	259,81	216,37	102,61	65,93	42,68
	Tahmin değeri	40,56	61,64	131,77	182,55	233,97	268,78	282,08	267,36	217,45	80,12	66,05	41,68
1995	Gerçek değer	46,84	81,93	116,29	185,53	240,03	274,87	260,74	247,71	190,67	107,00	72,77	32,58
	Tahmin değeri	47,08	80,74	114,74	184,72	232,66	267,97	198,55	247,55	190,04	111,06	72,59	30,04
1996	Gerçek değer	42,90	50,96	62,52	135,27	237,32	283,00	276,77	247,29	175,07	94,97	92,50	33,48
	Tahmin değeri	41,90	56,52	79,91	96,77	233,11	289,96	278,92	248,40	138,05	94,36	88,47	34,34

Çizelge C.1 (devam) : 1985-2005 yılları için gerçek aylık değerler ile tahminler.

	Yıl \ Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1997	Gerçek değer	54,10	84,25	126,52	146,87	222,16	246,40	270,61	223,35	186,00	110,13	63,97	41,45
	Tahmin değeri	54,77	86,43	123,34	108,10	212,84	193,77	268,81	182,63	189,99	108,42	48,28	41,25
1998	Gerçek değer	65,03	87,68	94,42	168,40	156,81	281,90	294,48	275,77	197,67	122,29	60,73	29,35
	Tahmin değeri	63,40	85,56	79,76	169,75	154,93	280,80	295,14	272,87	209,61	116,75	48,26	35,79
1999	Gerçek değer	56,45	68,71	131,32	175,57	247,35	261,90	296,39	251,19	208,03	111,23	64,70	51,58
	Tahmin değeri	54,66	52,85	131,91	172,34	248,46	264,83	298,74	251,06	205,01	110,87	67,27	41,00
2000	Gerçek değer	53,37	82,61	126,84	179,27	232,45	284,57	288,52	260,77	202,00	101,23	100,77	41,13
	Tahmin değeri	54,85	72,71	113,99	155,95	216,57	263,83	276,66	247,13	190,52	110,46	67,23	41,77
2001	Gerçek değer	58,77	85,93	124,29	135,60	244,74	282,67	293,23	239,94	215,20	125,74	67,47	28,58
	Tahmin değeri	54,82	73,60	113,93	156,95	216,46	264,45	276,53	247,19	190,43	110,49	67,20	41,78
2002	Gerçek değer	52,55	110,00	108,16	119,60	253,97	264,67	280,90	224,35	176,67	121,45	82,00	43,94
	Tahmin değeri	54,80	73,62	113,88	156,98	216,37	264,51	276,42	247,24	190,35	110,51	67,17	41,78
2003	Gerçek değer	48,77	41,18	105,90	144,20	260,45	315,70	301,03	282,74	183,17	111,71	61,17	38,55
	Tahmin değeri	54,78	73,63	113,84	157,01	216,30	264,55	276,33	247,28	190,29	110,53	67,15	41,79
2004	Gerçek değer	52,03	71,00	126,97	162,13	227,45	256,07	301,97	240,26	199,40	126,10	81,23	56,42
	Tahmin değeri	54,76	73,65	113,80	157,03	216,23	264,59	276,24	247,32	190,24	110,55	67,13	41,80
2005	Gerçek değer	59,26	40,96	127,94	142,35	196,94	262,97	275,16	261,45	192,50	117,84	40,00	49,16
	Tahmin değeri	54,75	73,66	113,77	157,05	216,17	264,63	276,17	247,35	190,19	110,56	67,12	41,80

EK D : İllere göre radyasyon tahmin hataları

İl	Ölçüt	Deneme-8 modeli	Singh (2008) modeli	Deneme-7 modeli	Deneme-4 modeli	Chen (2002) modeli	Mevsimsel ayarlama ve düzeltme yöntemi	ARIMA (0,1,1)x(0,1,0) ₁₂	ARIMA (1,1,1)x(1,1,0) ₁₂	Log ARIMA (0,1,1)x(0,1,0) ₁₂	Log ARIMA (1,1,1)x(1,1,0) ₁₂
Ağrı 2009:10-2013:12	MSE	0,086	2,436	1,812	591,549	2,548	106.543,895	283.280,340	232.452,273	366.236,345	366.338,935
	RMSE	0,293	1,561	1,346	24,322	1,596	326,411	532,241	482,133	605,175	605,259
	MAD	0,223	1,124	0,910	4,582	1,148	242,391	421,442	373,451	470,854	491,773
	MAPE	0,005%	0,025%	0,020%	0,134%	0,026%	7,659%	14,346%	12,304%	14,785%	12,926%
	Theil-U	0,0002	0,0009	0,0008	0,0302	0,0009	0,3204	0,5372	0,4482	0,5270	0,5057
Ankara 2003:08-2013:12	MSE	0,101	2,467	1,914	12,311	2,476	111.446,530	244.394,370	213.158,099	288.717,369	250.860,885
	RMSE	0,317	1,571	1,383	3,509	1,574	333,836	494,363	461,690	537,324	500,860
	MAD	0,246	1,246	1,002	1,493	1,209	255,970	376,066	351,162	412,863	386,988
	MAPE	0,006%	0,030%	0,024%	0,055%	0,028%	7,449%	10,658%	9,812%	11,293%	10,475%
	Theil-U	0,0002	0,0011	0,0010	0,0072	0,0011	0,3592	0,4399	0,4188	0,4601	0,4343
Antalya 2003:06-2009:07	MSE	0,098	0,361	2,029	93,382	0,395	171.842,351	377.838,800	328.879,071	479.852,176	440.864,904
	RMSE	0,313	0,601	1,424	9,663	0,629	414,539	614,686	573,480	692,71	663,977
	MAD	0,249	0,496	1,063	2,377	0,502	335,987	489,732	434,230	522,928	512,323
	MAPE	0,006%	0,013%	0,027%	0,114%	0,012%	9,336%	12,970%	11,053%	13,390%	12,923%
	Theil-U	0,0003	0,0006	0,0014	0,0192	0,0005	0,5003	0,6694	0,5614	0,71584	0,6637
İstanbul 2003:06-2007:10	MSE	0,089	2,206	2,478	61,439	3,024	94.157,069	344.895,393	283.908,930	397.371,507	387.120,245
	RMSE	0,298	1,485	1,574	7,838	1,739	306,850	587,278	532,831	630,374	622,190
	MAD	0,241	1,132	1,115	2,177	1,384	238,447	454,404	375,359	474,696	410,958
	MAPE	0,007%	0,032%	0,029%	0,173%	0,036%	8,116%	13,261%	11,779%	12,345%	11,114%
	Theil-U	0,0002	0,0012	0,0009	0,0187	0,0011	0,2978	0,5157	0,4830	0,5097	0,4828
Mardin 2009:10-2013:12	MSE	0,118	2,177	0,074	108,184	2,311	109.157,274	320.585,146	270.546,359	533.703,113	498.649,946
	RMSE	0,344	1,476	0,272	10,401	1,520	330,390	566,202	520,141	730,550	706,152
	MAD	0,275	1,183	0,222	2,600	1,212	253,703	401,548	373,890	498,919	519,341
	MAPE	0,005%	0,024%	0,005%	0,129%	0,025%	7,366%	12,205%	10,894%	13,660%	13,127%
	Theil-U	0,0002	0,0009	0,0002	0,0118	0,0009	0,3191	0,4204	0,3425	0,4844	0,4119
Sinop 2003:06-2013:12	MSE	0,085	2,582	1,466	22,651	2,229	187.443,719	299.332,109	251.666,098	295.894,849	255.336,005
	RMSE	0,291	1,607	1,211	4,759	1,493	432,948	547,113	501,663	543,962	505,308
	MAD	0,230	1,285	0,890	1,643	1,219	324,993	415,664	390,259	411,244	390,399
	MAPE	0,005%	0,028%	0,019%	0,056%	0,025%	7,664%	9,918%	8,937%	9,248%	8,758%
	Theil-U	0,0002	0,0013	0,0010	0,0100	0,0012	0,4135	0,5281	0,4677	0,5065	0,4660

EK E : İllere göre sıcaklık tahmin hataları

İl	Ölçüt	Deneme-8 modeli	Singh (2008) modeli	Deneme-7 modeli	Deneme-4 modeli	Chen (2002) modeli	Mevsimsel ayarlama	ARIMA (0,1,1)x(0,1,0) ₁₂	ARIMA (1,1,1)x(1,1,0) ₁₂	Log ARIMA (0,1,1)x(0,1,0) ₁₂	Log ARIMA (1,1,1)x(1,1,0) ₁₂
Ağrı 2009:10- 2013:12	MSE	0,092	3,005	0,881	3,326	37,668	13,288	12,628	11,462	-	-
	RMSE	0,304	1,733	0,939	1,824	6,137	3,645	3,554	3,386	-	-
	MAD	0,221	1,447	0,540	1,229	4,094	2,883	2,802	2,637	-	-
	MAPE	-1,617%	-8,136%	-13,150%	9,930%	50,545%	-14,457%	-12,717%	-4,687%	-	-
	Theil-U	0,0515	0,4135	0,5285	0,1493	0,3594	0,2218	0,3506	0,2881	-	-
Ankara 2003:08- 2013:12	MSE	0,033	1,978	0,220	3,187	60,172	4,050	8,546	5,435	8,723	7,427
	RMSE	0,183	1,406	0,470	1,785	7,757	2,012	2,923	2,331	2,953	2,725
	MAD	0,132	1,013	0,310	1,214	4,468	1,612	2,262	1,887	2,430	2,247
	MAPE	1,060%	9,662%	7,719%	11,773%	38,987%	30,840%	36,126%	10,283%	39,293%	24,589%
	Theil-U	0,0136	0,0196	0,0588	0,0708	0,0975	0,3312	0,4064	0,2951	0,3462	0,5532
Antalya 2003:06- 2013:12	MSE	0,019	0,837	0,192	23,325	243,095	0,891	55,566	54,709	1,931	1,314
	RMSE	0,137	0,915	0,438	4,830	15,591	0,944	7,454	7,397	1,390	1,146
	MAD	0,099	0,744	0,317	1,643	12,398	0,743	6,202	6,162	1,099	0,925
	MAPE	0,565%	4,063%	1,688%	8,386%	64,775%	4,116%	33,273%	32,960%	5,881%	4,990%
	Theil-U	0,0439	0,2642	0,1286	1,1211	4,4649	0,2843	2,0537	2,0379	0,4193	0,3356
İstanbul 2003:06- 2013:12	MSE	0,022	1,174	0,215	6,620	132,433	1,998	53,764	52,435	6,249	3,168
	RMSE	0,148	1,084	0,463	2,573	11,508	1,413	7,332	7,241	2,500	1,780
	MAD	0,112	0,860	0,329	0,707	8,527	1,086	6,164	6,160	1,827	1,396
	MAPE	0,850%	6,309%	2,608%	5,243%	59,310%	9,198%	44,500%	44,198%	14,167%	10,851%
	Theil-U	0,0392	0,2954	0,1331	0,6059	2,5124	0,4516	1,7505	1,7281	0,7965	0,5183
İzmir 2003:06- 2013:12	MSE	0,039	1,398	0,138	7,628	171,158	1,388	3,475	2,142	4,233	2,149
	RMSE	0,198	1,182	0,372	2,762	13,083	1,178	1,864	1,464	2,057	1,466
	MAD	0,136	0,970	0,245	0,635	9,357	0,899	1,432	1,130	1,573	1,135
	MAPE	0,812%	5,855%	1,769%	3,401%	54,903%	6,317%	9,435%	7,721%	10,197%	7,721%
	Theil-U	0,0498	0,3116	0,1166	0,4466	2,7971	0,3660	0,5687	0,4448	0,6215	0,4381
Mardin 2009:11- 2013:12	MSE	0,045	0,818	0,271	0,249	68,926	2,849	5,054	3,612	8,587	5,207
	RMSE	0,211	0,904	0,521	0,499	8,302	1,688	2,248	1,900	2,930	2,282
	MAD	0,155	0,706	0,346	0,369	4,706	1,310	1,741	1,547	2,173	1,882
	MAPE	1,143%	5,979%	3,142%	2,875%	35,754%	12,288%	20,623%	18,387%	19,766%	18,862%
	Theil-U	0,0253	0,1455	0,1134	0,0846	0,8419	0,3111	0,5015	0,4267	0,6466	0,4965
Sinop 2003:06- 2013:12	MSE	0,044	1,335	0,196	0,156	92,956	1,778	4,722	3,140	53,807	51,127
	RMSE	0,209	1,155	0,443	0,395	9,641	1,333	2,173	1,772	7,335	7,150
	MAD	0,152	0,957	0,317	0,310	6,408	1,044	1,627	1,371	6,163	6,125
	MAPE	1,118%	7,712%	2,433%	2,306%	42,580%	9,778%	14,237%	12,220%	47,319%	46,715%
	Theil-U	0,0567	0,3146	0,1093	0,1060	2,1046	0,4545	0,7080	0,5199	1,7238	1,6943

EK F : Örnek PV sulama sistemi için veriler

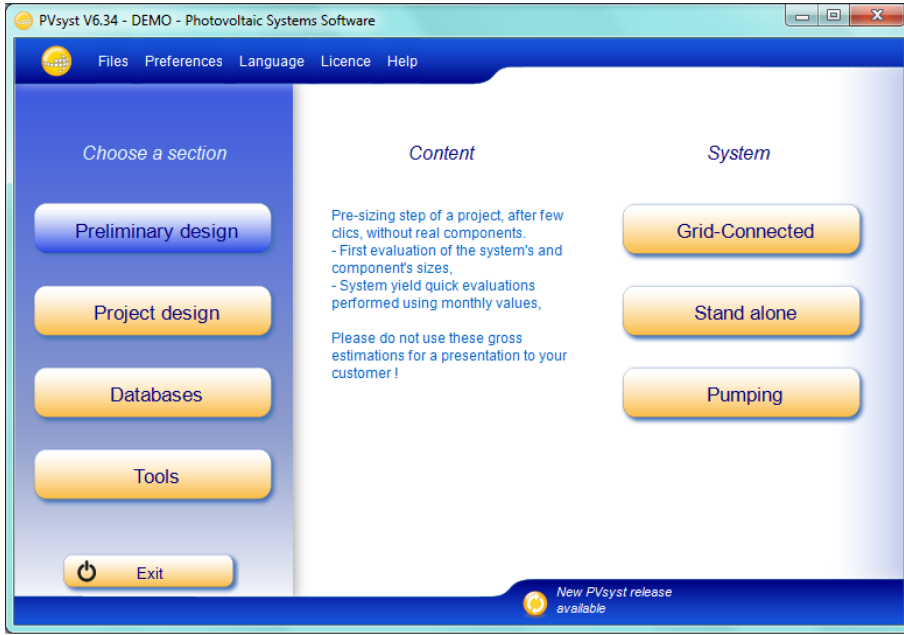
Çizelge F.1 : Seçilen PV sistem bileşenleri için teknik özellikler ve fiyatlar.

Bileşen adı	Girdi adı	Girdi değeri
PV modülü: <i>Astronergy VIOLIN CHSM6610P</i>	Standart test koşullarında maksimum güç P_{mp} (STC)	250 Wp
	Performans test koşullarında maksimum güç P_{mp} (PTC)	227,9 Wp
	Toplam boyutlar	1652x994x40 mm
	Bir modülün alanı (A_{pv})	1,642 m ²
	STC’de açık devre voltajı (V_{oc})	38,19 V
	STC’de kısa devre akımı (I_{sc})	8,65 A
	Referans sıcaklıkta modül verimi (η_r)	15,2%
	Sıcaklık katsayısı (α)	0,47%/°C
	Nominal çalışma hücre sıcaklığı ($NOCT$)	43 ± 2°C
	Eşleşme faktörü (f_m)	0,9116
	Birim fiyat ($C_{unit,pv}$)	370 TL
	Kullanım ömrü	25 yıl
Motor-pompa: Lorentz <i>PS1200 C-SJ5-8</i>	Maksimum pompalama yüksekliği	40 m
	Motor-pompa sistemi verimi (η_{MP})	%48
	Kontrolör verimi (η_{inv})	%98
	Motor verimi	%92
	Birim fiyat (C_{MP})	6.270 TL
	Kullanım ömrü	10 yıl
Depolama tankı: <i>Changzhou LinHui Plastic Products PE tank</i>	Tank verimi (η_{tank})	1,00
	Birim fiyat ($C_{unit,tank}$)	315 TL/m ³
	Kullanım ömrü	25 yıl
Pil: <i>MINGDENG 100 Ah/12 V</i>	Pil verimi (η_{bat})	%96,5
	Deşarj derinliği (DOD)	%80
	Pil deşarj oranı (σ)	%79
	Pil birim fiyatı	185 TL
	Kullanım ömrü	5 yıl
İnvertör: <i>Victron Energy Phoenix 24V/3000VA</i>	Invertör verimi (η_{inv})	%94
	Birim fiyatı	5.150 TL
	Kullanım ömrü	10 yıl
Şarj regülatörü: <i>Victron BlueSolar MPPT 150V/70A</i>	Birim fiyatı	2.436 TL
	Kullanım ömrü	5 yıl

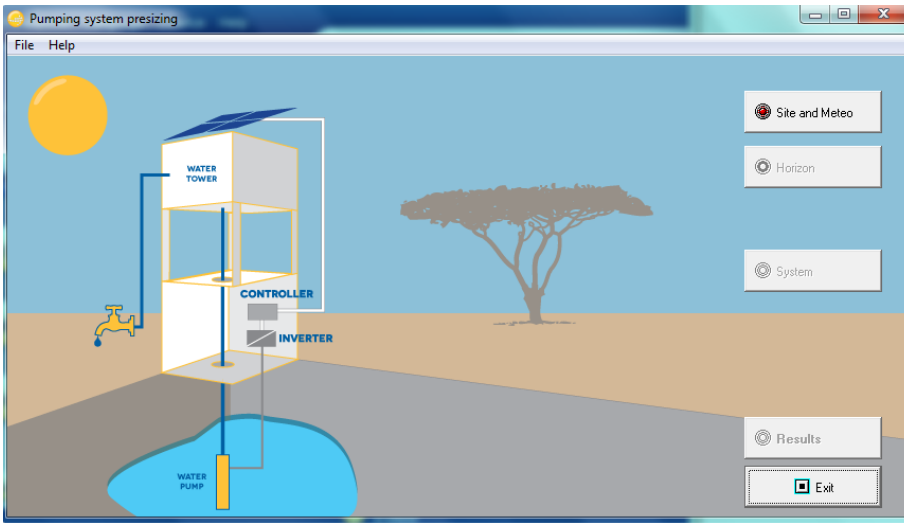
Çizelge F.2 : Antalya’da PV sulama sistemi için varsayılan veriler.

Veri	Değer	Veri	Değer
Güneş sabiti (G_{sc})	1367 W/m ²	Referans sıcaklık (T_r)	25°C
Enlem (φ)	36°53'N	Su yoğunluğu (ρ)	1000 kg/m ³
Limon bahçesi toplam alanı (FA)	6000 m ²	Yerçekimi ivmesi (g)	9,81 m/s ²
Ağaç sayısı (N_{trees})	300	İstenen güvenilirlik ($DPSP_{desired}$)	10 ⁻²
Bir ağacın gölgelik zemin alanı	9 m ²	Maksimum $NIWR$	4,46 mm
Kuyu derinliği (h)	20 m	Faiz oranı (i)	%5
Tank yüksekliği (h_{tank})	10 m	Maksimum bütçe (LCC_{max})	100.000 TL

EK G : PVSYST yazılımıyla elde edilen 2005 yılı Antalya senaryo-1 sonuçları



Şekil G.1 : PVSYST yazılımının ekran görüntüsü-1.



Şekil G.2 : PVSYST yazılımının ekran görüntüsü-2.

Definition of a geographical site

Geographical Site **Antalya_2005_s1**Country **Turkey**

Situation

Time defined as

Latitude

Legal Time

36.5°N

Time zone UT+2

Longitude

30.4°E

Altitude

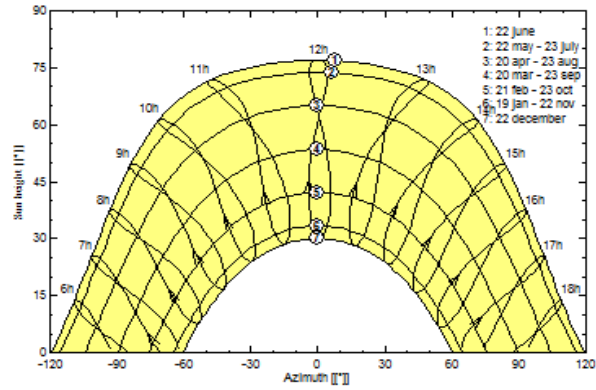
47 m

Monthly Meteo Values

Source

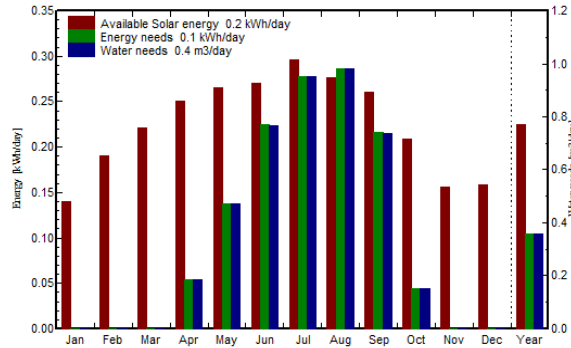
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
Hor. global	2.7	3.8	4.6	5.2	4.1	5.2	4.9	4.8	4.9	5.2	3.8	3.3	52.5	kWh/m².mth
Extraterrestrial	149.7	176.8	250.2	296.4	343.5	347.1	351.8	322.2	263.9	215.0	157.1	136.4	3010.2	kWh/m².mth
Clearness index	0.018	0.021	0.018	0.018	0.012	0.015	0.014	0.015	0.019	0.024	0.024	0.024	0.017	
Amb. temper.	11.9	11.1	14.4	17.3	21.1	25.2	25.4	25.7	26.0	20.3	15.1	13.2	18.9	°C

Solar paths at Antalya_2005_s1, (Lat. 36.5°N, long. 30.4°E, alt. 47 m)

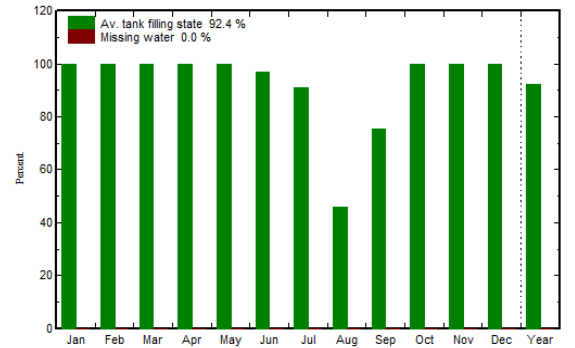


Şekil G.3 : Antalya 2005 yılı için günlük ortalama radyasyon şiddetleri.

PV energy yield and water needs



Tank Level and Missing Water Probability

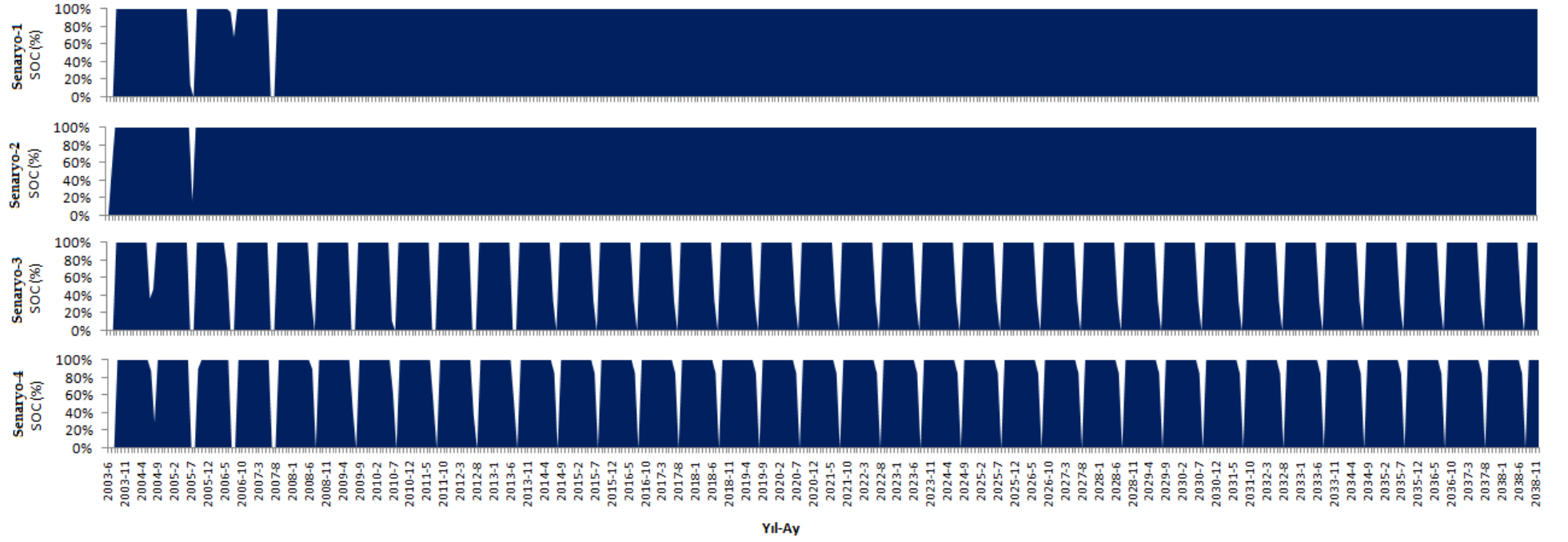


Şekil G.4 : Güneş enerjisi ile su ihtiyaçları (sol), ortalama tank doluluğu (sağ).

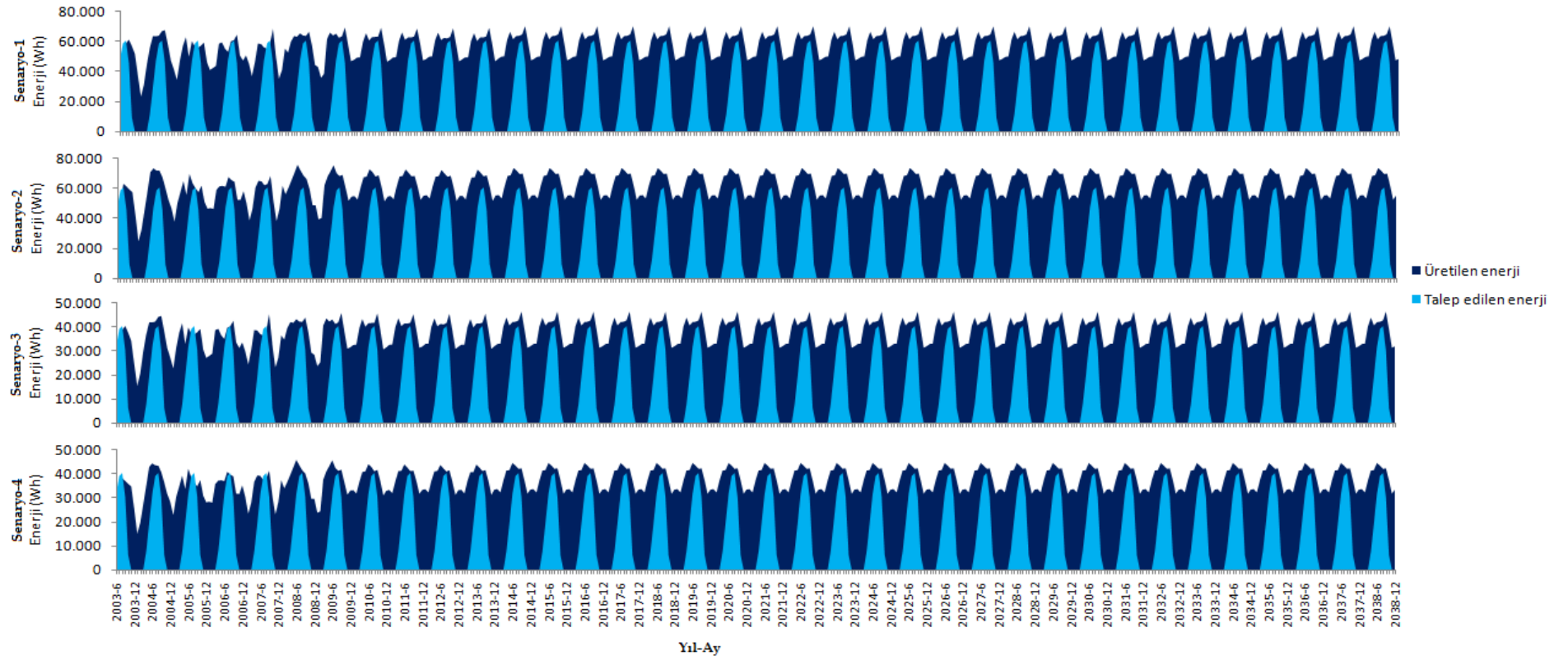
	Incid.	PV avail.	PV needs	PV Excess	Pumped W.	Missing W.	Missing	Fuel
	kWh/m².day	kWh/day	kWh/day	kWh/day	m³/day	m³/day	%	liter
Jan.	3.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Feb.	4.3	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Mar.	5.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Apr.	5.7	0.3	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0
May	6.1	0.3	0.1	0.1	0.5	0.0	0.0	0.0
June	6.2	0.3	0.2	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0
July	6.7	0.3	0.3	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0
Aug.	6.3	0.3	0.3	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0
Sep.	5.9	0.3	0.2	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0
Oct.	4.7	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0
Nov.	3.6	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Dec.	3.6	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Year	5.1	0.2	0.1	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0

Şekil G.5 : Aylık ortalama enerji ve su kullanım sonuçları.

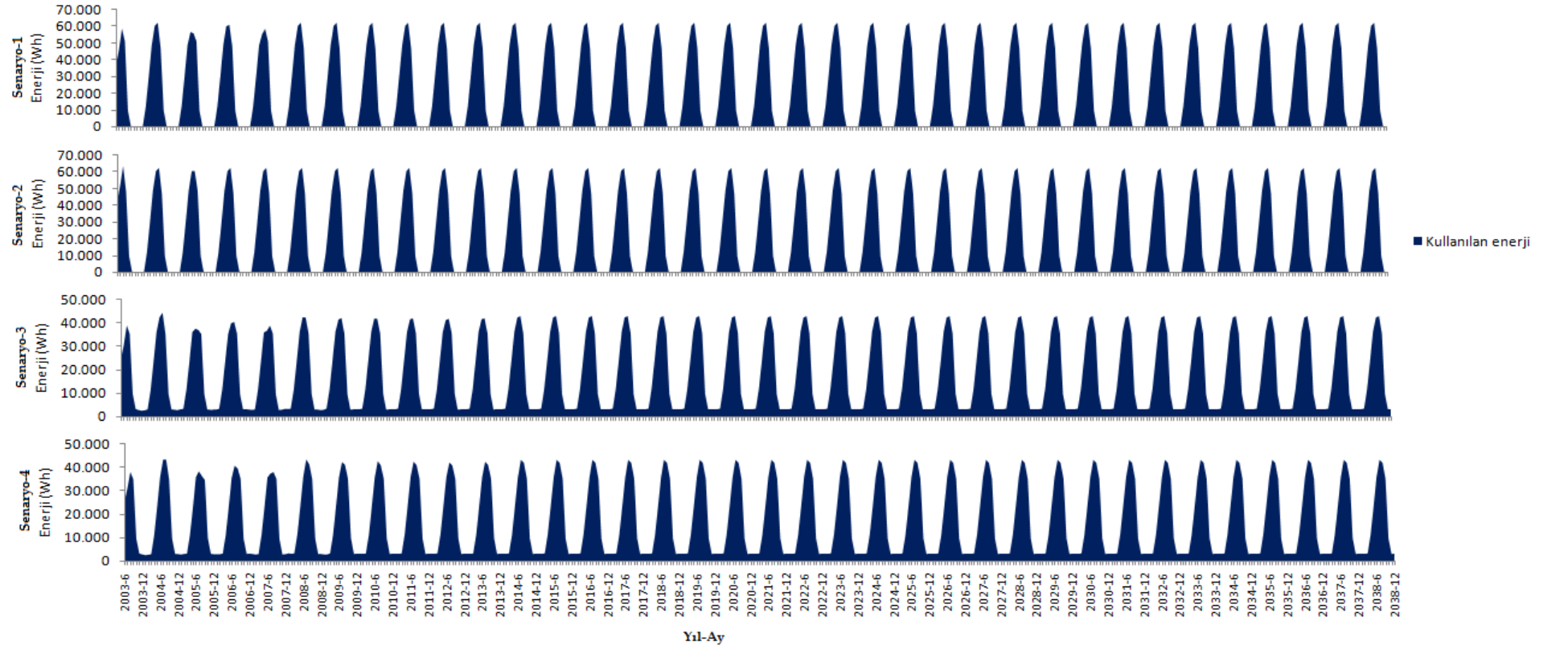
EK H : Senaryolara göre performans sonuçları



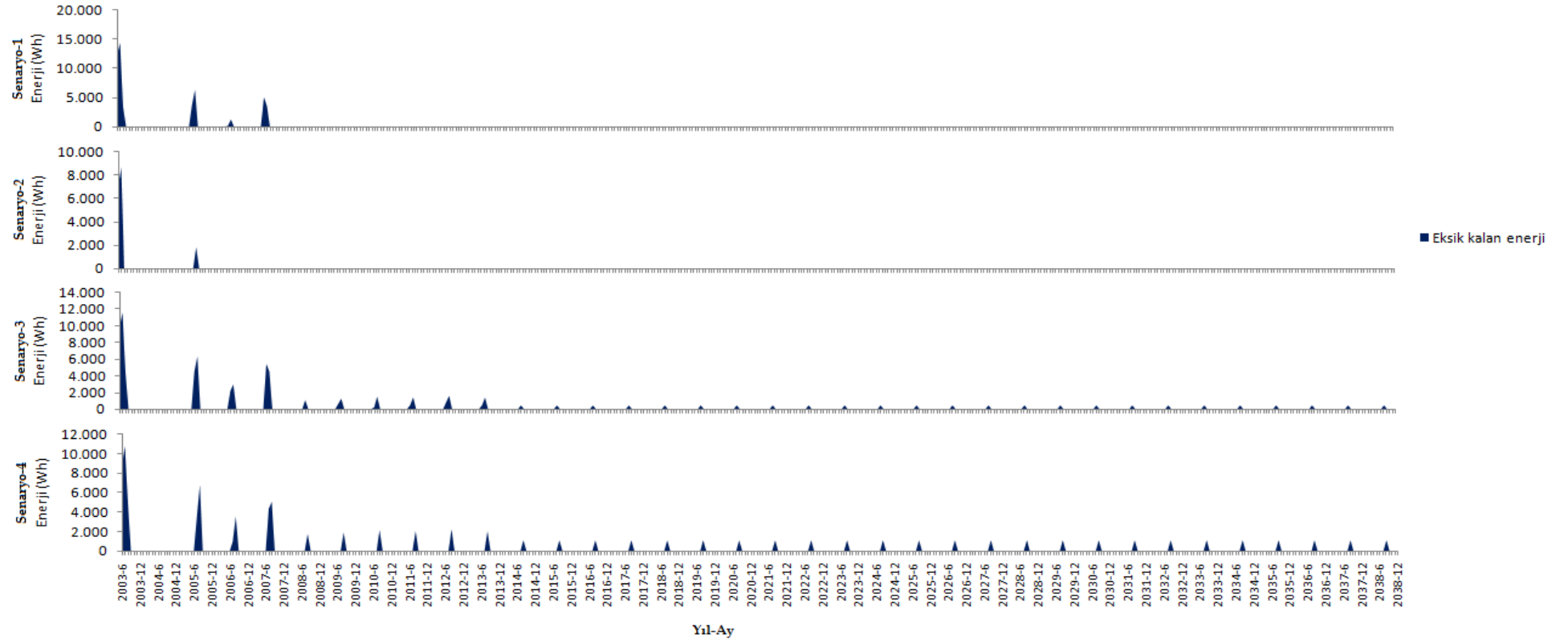
Şekil H.1 : Depolama biriminin aylık ortalama şarj durumu.



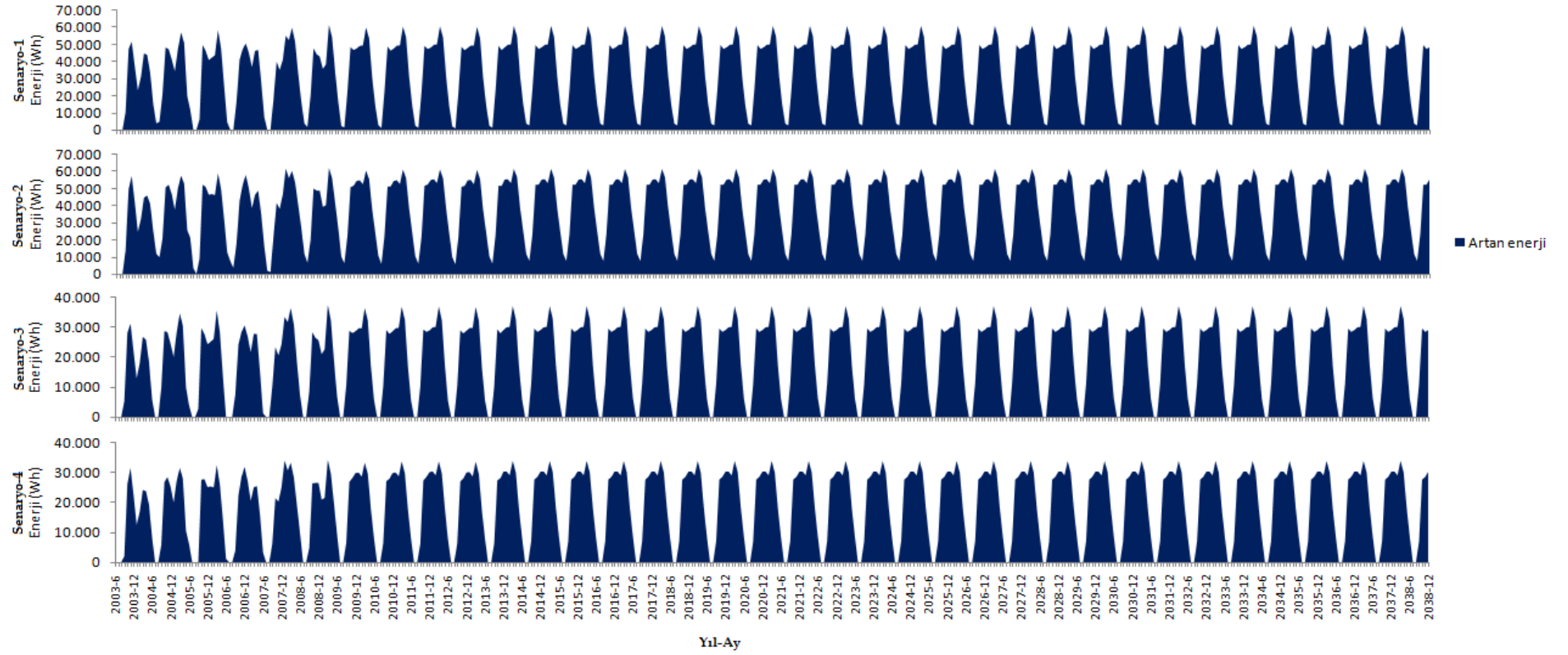
Şekil H.2 : Üretilen ve talep edilen enerji karşılaştırması.



Şekil H.3 : Aylık ortalama kullanılan enerji miktarı.



Şekil H.4 : Aylık ortalama eksik kalan enerji miktarı.



Şekil H.5 : Aylık ortalama artan enerji miktarı.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Ceyda Olcan
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul 12.01.1985
E-Posta : ceydaolcan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : Yıldız Teknik Üniversitesi Matematik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

Koroza Ambalaj San. ve Tic. A.Ş. firmasında Üretim Planlama Uzmanı olarak çalışmaktadır.

Hakemlik Yapılan Uluslararası Dergi: Energy Conversion and Management

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

- **Olcan, C.** ve Mahmudov, E. (2015). Hybrid Fuzzy Time Series Methods Applied to Solar Radiation Forecasting. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 1-28. Basım aşamasındadır.
- **Olcan, C.** (2015). Multi-objective analytical model for optimal sizing of stand-alone photovoltaic water pumping systems. *Energy Conversion and Management*, 100, 358-369. doi:10.1016/j.enconman.2015.05.018

