

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL İKLİM ŞARTLARINDA RÜZGAR VE GÜNEŞ
SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ ve EKSERJİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa Kemal KAYMAK**

Anabilim Dalı : Meteoroloji Mühendisliği

Programı : Atmosfer Bilimleri

OCAK 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL İKLİM ŞARTLARINDA RÜZGAR VE GÜNEŞ
SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ ve EKSERJİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa Kemal KAYMAK
(511071008)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Aralık 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ocak 2011

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Ahmet DURMAYAZ (İTÜ)
Doç. Dr. Sibel MENTEŞ (İTÜ)**

OCAK 2011

Canım ÷lkem T÷rkiye'ye,

ÖNSÖZ

Enerji sistemlerinin verimlilik hesaplamalarında son dönemde önem kazanan ekserji analizleri giderek artmaktadır.

Bu tezde gerçekleştirilen İstanbul'un iklim şartlarında rüzgâr ve güneş enerji sistemlerinin ekserji analizi, ölçüm yapılan tek bir nokta için yapılmıştır. İstanbul sınırları içindeki bölge için ise bu analizler Noktasal Toplam Yarı Varyogram modeli (NTYV) ve Sayısal Hava Tahmin (SHT) modeli ile enerji, ekserji analizleri ve tahminleri yapılmıştır.

Tezde Devlet Meteoroloji İşleri(DMİ) tarafından sağlanan saatlik rüzgar şiddetleri kullanılmıştır. Bu verilere ek olarak ekserji hesaplamalarında hayati önem arz eden verileri TÜBİTAK 107M331 no'lu projesinden temin edilmiştir. Tezde çalıştırılan Weather Research and Forecasting (WRF) SHT modeli ise Ulusal Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezi (UYBHM) 10912010 no'lu proje kapsamında açılan kullanıcı hesabı ile kurulup çalıştırılmıştır. Verdikleri destekten dolayı DMİ, TÜBİTAK ve UYBHM' ye teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmada bilimsel manada ilerlememi sağlayan ve beni gece gündüz demeden desteklerinden mahrum bırakmayan hocam Doç. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN'e şükranlarımı sunarım. Ayrıca modelleme konusunda tecrübelerini cömertçe aktaran Dr. Ahmet ÖZTOPAL'a, tez yazımı esnasında sabahlara kadar emek harcayan Meteoroloji Mühendisi Bihter YERLİ'ye müteşekkirim. Bunun yanında WRF konusunda yardımcı olan Yük. Meteoroloji Mühendisi Abdullah KAHRAMAN'a ve Meteoroloji Mühendisi Deniz URAL'a teşekkür ederim.

Ocak 2011

Mustafa Kemal KAYMAK
(Meteoroloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Özeti	3
1.2.1 Rüzgar tahmini	3
1.2.2 Rüzgar enerjisi tahmini	5
1.2.3 Güneş ışınlamı ve tahmini	8
1.2.4 Ekserji	12
1.2.5 Alansal modelleme.....	15
1.2.6 Jeostatiksel alansal – zamansal modelleme	16
1.2.7 Weather resarch and forecast (WRF) SHT modeli	17
2. KURULAN SİSTEM	21
2.1 İTÜ Meteoroloji Parkına Kurulan Sistemler ve Özellikleri	21
2.2 Rüzgar Enerji Sistemi ve Özellikleri.....	21
2.3 Güneş Enerji Sistemi (PV) ve Özellikleri	23
2.4 Kurulan Yer Meteoroloji İstasyonu ve Veri Saklama Birimi	27
3. YÖNTEM.....	29
3.1 Rüzgar Ekserji Analizi	29
3.1.1 Rüzgar ekserji analizi.....	31
3.2 Fotovoltaik Pil (PV) Ekserji Analizi	34
3.3 Alan-Zaman Tahminleri	41
3.4 Noktasal Toplam Yarıvaryogram Modeli	42
4. UYGULAMA.....	46
4.2 Termodinamik Yaklaşımlar.....	56
4.3 Fotovoltaik Sistemde Ekserji Analizi.....	61
4.4 Alansal Modeller	63
4.4.1 Noktasal toplam yarı varyogram.....	63
4.4.2 WRF esaslı alansal tahmin.....	75
4.4.3 Rüzgar enerji sistemlerinin wrf ile enerji ve ekserji tahminleri.....	88
5. SONUÇLAR	99
KAYNAKLAR	101

KISALTMALAR

AIC	: Akaike Information Criteria
ANN	: Yapay Sinir Ağları
ARIMA	: Otoregresif Kayan Ortalamalar
WRF	: Weather Research and Forecasting
SHT	: Sayısal Hava Tahmin
NCEP	: National Centers for Environmental Prediction
REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
AR	: Otoregresif
MA	: Kayan Ortalama
ARMA	: Otoregresif Kayan Ortalama
SVM	: Bulanık Mantık, Destek Vektör Makinesi (SVM)
AI	: Yapay Zeka
ANFIS	: Daptive Neuro-Fuzzy İnference System
MA	: Ortalama Hata
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
MSE	: Ortalama Kare Hata
RMSE	: Ortalama Kare Hata Karekökleri
MAPE	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata
R	: Korelasyon Katsayısı belirlilik katsayısı
R²	: Belirlilik Katsayısı
AFSOL	: Güneş Işınımının Aerosol Temelli Tahminleri
ECMWF	: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
MM5	: The Fifth-Generation NCAR / Penn State Mesoscale Model
NDFD	: National Digital Forecast Database
NARX	: Doğrusal Olmayan Ekzojen
STAR	: Alan Zaman Otoregresif Model

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Rüzgar hızı ve enerjisi tahmininde kullanılan modeller ve özellikleri.....	6
Çizelge 1.2 : AFSOL-ECMWF karşılaştırılması.....	10
Çizelge 1.3 : Güneş ışıınımı tahmininde NDFD, ECMWF ve WRF'nin karşılaştırılması	11
Çizelge 1.4 : NARX-MLP için MAPE karşılaştırması.....	12
Çizelge 1.5 : MM5, WRF ve RAMS modelleri için doğrulama istatistikleri.....	19
Çizelge 2.1 : İTÜ Meteoroloji Parkına kurulan rüzgar türbininin bazı özellikleri	22
Çizelge 2.2 : UE 15' in farklı rüzgar şiddetlerinde üretim değerleri.	22
Çizelge 2.3 : Kullanılan anemometreler ve özellikleri	24
Çizelge 2.4 : Rüzgar türbini ve PV sistemlerinde kullanılan aletler ve özellikleri.....	25
Çizelge 2.5 : DMİ istasyonlarının bilgileri	28
Çizelge 4.1 : İTÜ Test verisi ile BBF verilerinin karşılaştırılması.....	75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Rüzgar türbini için kurulan sistem	23
Şekil 2.2 : Kurulan PV sisteminin akım-voltaj eğrisi	24
Şekil 2.3 : Fotovoltaik paneller için kurulan sistem	25
Şekil 2.4 : Diffüz ışıyım ölçer	26
Şekil 2.5 : Otomatik meteoroloji istasyonu	27
Şekil 3.1 : Türbini etkileyen değişkenlerin giriş ve çıkışlarının gösterimi.....	32
Şekil 3.2 : Fotovoltaik sisteme ait güç eğrisi. Bu güç eğrisi standart toplam güneş ışıyımı (1000 W/m^2 , 25°C sıcaklık şartlarında geçerlidir.)	36
Şekil 3.3 : Fotovoltaik sistemlerde enerji farkı oluşumu	38
Şekil 4.1 : Türbin ön rüzgar şiddetleri	46
Şekil 4.2 : Türbin arka rüzgar şiddetleri	47
Şekil 4.3 : Türbin ön-arka rüzgar şiddetleri	48
Şekil 4.4 : Arka rüzgar şid./ön rüzgar şid. oranı - zaman	48
Şekil 4.5 : Türbin ön – arka nem değerleri	49
Şekil 4.6 : Türbin rotor alanın önü ve arkası bağıl nem bağıl yüzde farkı	49
Şekil 4.7 : Türbinin ön ve arkasındaki basınç farkı	50
Şekil 4.8 : Rotor ön ve arka sıcaklık değişiminin rüzgar değişimine oranı	51
Şekil 4.9 : Türbin ön ve arka sıcaklık farklarının oranı	51
Şekil 4.10 : Türbin ön ve arka sıcaklık farkları	52
Şekil 4.11 : Türbin mil sıcaklığı	52
Şekil 4.12 : Mil sıcaklığının – rüzgar şiddetine bağlı değişimi	53
Şekil 4.13 : Türbin iç sıcaklığının - atmosfer sıcaklığıyla değişimi	53
Şekil 4.14 : Rüzgar şiddeti bağıl jeneratörün ürettiği akım değeri	54
Şekil 4.15 : Rüzgar şiddetine bağıl gerilim değerleri	54
Şekil 4.16 : Üretilen güç ve rüzgar şiddeti arasındaki ilişki	55
Şekil 4.17 : Hücre sıcaklığının zamanla değişimi	55
Şekil 4.18 : PV elektrik üretiminin zamanla değişimi	56
Şekil 4.19 : Entalpinin zamanla değişimi	57
Şekil 4.20 : Entalpinin türbin ön sıcaklığıyla değişimi.....	58
Şekil 4.21 : Entalpinin türbin arka sıcaklığıyla değişimi.....	58
Şekil 4.22 : Entropinin türbin ön sıcaklığıyla değişimi	59
Şekil 4.23 : Entropinin türbin ön sıcaklığıyla değişimi	59
Şekil 4.24 : Entropi değişimi ısı kaybı arasındaki ilişki	60
Şekil 4.25 : Rüzgar ekserji verimliliği	60
Şekil 4.26 : PV entalpi değişimi	61
Şekil 4.27 : PV ısı kayıplarının zamanla değişimi.....	61
Şekil 4.28 : PV sisteminde atmosfer sıcaklığı ile entalpiarasındaki ilişki	62
Şekil 4.29 : PV sisteminin hücre sıcaklığına bağlı ısı kaybı	62
Şekil 4.30 : PV sistemin ekserji verimliliğinin zamanla değişimi.....	63
Şekil 4.31 : İTÜ 28.09.2010 tarihli NTYV değerleri	64
Şekil 4.32 : İTÜ 22.03.2010 tarihli NTYV değerleri	64

Şekil 4.33 : İTÜ 21.04.2010 tarihli NTYV değerleri.....	65
Şekil 4.34 : İTÜ 28.09.2010 tarihli BBF değerleri	66
Şekil 4.35 : İTÜ 22.03.2010 tarihli BBF değerleri	66
Şekil 4.36 : İTÜ 21.04.2010 tarihli BBF değerleri	67
Şekil 4.37 : Çorlu 21.04.2010 tarihli NTYV değerleri	67
Şekil 4.38 : Çorlu 21.04.2010 tarihli BBF değerleri.....	68
Şekil 4.39 : Çorlu 22.03.2010 tarihli NTYV değerleri	69
Şekil 4.40 : Çorlu BBF değerleri 22.03.2010	69
Şekil 4.41 : Çorlu NTYV değerleri 28.09.2010.....	70
Şekil 4.42 : Çorlu BBF değerleri 28.09.2010	70
Şekil 4.43 : Yalova NTYV değerleri 21.04.2010	71
Şekil 4.44 : YalovaBBF değerleri 21.04.2010.....	72
Şekil 4.45 : Yalova NTYV değerleri 22.03.2010	73
Şekil 4.46 : YalovaBBF değerleri 22.03.2010.....	73
Şekil 4.47 : Yalova NTYV değerleri 28.09.2010	74
Şekil 4.48 : YalovaBBF değerleri 28.09.2010.....	74
Şekil 4.49 : WRF modelinin üç kutulu ölçeğe göre oluşturulan bölgesel altlığı	76
Şekil 4.50 : WRF modelinin dört kutulu ölçeğe göre oluşturulan bölgesel altlığı	77
Şekil 4.51 : 14.02.2010 ‘a ait yüzey sıcaklığı, deniz seviyesi basıncı ve rüzgar şiddetleri.....	78
Şekil 4.52 : Yukarı atmosfer seviyeleri için rüzgarın farklı parametreleri ve değişimleri.....	79
Şekil 4.53 : Gözönünde bulundurulmuş bölge için +00Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar haritaları.....	80
Şekil 4.54 : Gözönünde bulundurulmuş bölge için +00Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar enerjisi haritaları.....	81
Şekil 4.55 : Gözönünde bulundurulmuş bölge için +03Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar enerjisi haritaları.....	82
Şekil 4.56 : Gözönünde bulundurulmuş bölge için +12Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar haritaları.....	83
Şekil 4.57 : Gözönünde bulundurulmuş bölge için +12 Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar güç haritası.....	84
Şekil 4.58 : Akşam +22:00 Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar güç haritası.....	85
Şekil 4.59 : WRF modelinin rüzgar verileri ve İTÜ gözlemleri arasındaki ilişki	86
Şekil 4.60 : WRF model verileri ve Yalova gözlemleri arasındaki ilişki	87
Şekil 4.61 : WRF model verileri ve Çorlu gözlemleri arasındaki ilişki.	88
Şekil 4.62 : Rotor ön ve arkasında ölçülen rüzgar şiddetlerinin ilişkisi	88
Şekil 4.63 : Rotor ön ve arkasında ölçülen basınç değerleri arasındaki ilişki	89
Şekil 4.64 : Rotor ön ve arkasında ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki ilişki	89
Şekil 4.65 : Rotor önünde ölçülen sıcaklık ve mil sıcaklığı arasındaki ilişki	90
Şekil 4.66 : Rotor önünde ölçülen rüzgar şiddeti ile üretilen elektrik arasındaki ilişki	90
Şekil 4.67 : 8 Mart 2010 tarihli saat 00 için (a)rüzgar şiddeti (m/s) (b) Rüzgar potansiyel enerjisi (watt) (c) Betz limitine göre rüzgar potansiyeli (watt) (d) Üretilen elektrik (watt) haritaları.....	91
Şekil 4.68 : 8 Mart 2010 tarihli saat 06 için (a) rüzgar şiddeti (m/s) (b) Rüzgar potansiyel enerjisi (watt) (c) Betz limitine göre rüzgar potansiyeli (watt) (d) Üretilen elektrik (watt) haritaları.....	91

Şekil 4.69 : 8 Mart 2010 tarihli saat 12 için (a) rüzgar şiddeti (m/s) (b) Rüzgar potansiyel enerjisi (watt) (c) Betz limitine göre rüzgar potansiyeli (watt) (d) Üretilen elektrik(watt) haritaları	92
Şekil 4.70 : 8 Mart 2010 tarihli saat 18 için (a) rüzgar şiddeti (m/s) (b) Rüzgar potansiyel enerjisi (watt) (c) Betz limitine göre rüzgar potansiyeli (watt) (d) Üretilen elektrik(watt) haritaları	92
Şekil 4.71 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 03 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları.....	93
Şekil 4.72 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 06 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları.....	94
Şekil 4.73 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 09 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları.....	95
Şekil 4.74 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 12 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları.....	95
Şekil 4.75 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 15 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları.....	96
Şekil 4.76 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 18 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları.....	96
Şekil 4.77 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 18 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları.....	97

SEMBOL LİSTESİ

$\bar{I}$	: Yatay yüzeye gelen ortalama günlük ışıınım miktarı (w/m^2)
$\bar{I}_o$	: Bulunulan nokta için ortalama günlük ışıınım miktarı (w/m^2)
$\bar{G}$	: Aylık ortalama güneşlenme süresi (saat)
$\bar{G}_0$	: Aylık maksimum güneşlenme süresi (saat)
A	: Birimsiz katsayı
B	: Birimsiz katsayı
FF	: Dolum çarpanı
V_{mp}	: Maksimum güçte ölçülen voltaj değeri (V)
V_{oc}	: Açık devrede ölçülen voltaj değeri (V)
I_{mp}	: Maksimum güçte ölçülen akım değeri (I)
I_{sc}	: Kapalı devrede ölçülen akım değeri (I)
N	: Güneş pilinin verimliliği (%)
$P_{çıkış}$	: Güneş pilinin çıkış gücü (kW)
ex_{pv}	: Güneş pilinin ekserji yıkımı (kJ/kg)
Ex	: Rüzgar türbininin ekserji yıkımı (kJ/kg)
h	: Entalpi (kJ/kg)
S	: Entropi (kJ/kg)
η	: Enerji verimi (%)
ψ	: Ekserji verimi (%)
$\gamma(h_i)$	: İ'inci sıradaki nokyanın yarı varyogramı
γ_{st}	: Standart yarı varyogram
q_{sc}	: Kısa devredeki elektrik yükü (A)
q_L	: Düşük enerji seviyesindeki elektrik yükü (A)
V_L	: Düşük enerji seviyesindeki voltaj (V)
T_{cell}	: Güneş hücresinin sıcaklığı (K)
T_p	: Güneşin sıcaklığı (K)
η_{pce}	: Güneş pilinin güç dönüşüm verimliliği
E_L	: Düşük enerji seviyesi
E_H	: Yüksek enerji seviyesi
S_T	: Saatlik ölçülen güneş ışıınım miktarı (W/m^2)
V_m	: Maksimum voltaj (V)
I_m	: Maksimum akım (I)
$W(h_{st},i)$	: Etki katsayısı
X_r	: Üzerinde çalışılan noktadaki değışkenin değeri
X_{hi}	: İ'inci adımdaki değışkenin değeri

İSTANBUL ŞARTLARINDA RÜZGÂR VE GÜNEŞ SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ VE EKSERJİ ANALİZİ

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bununla beraber yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi içinde büyük problemleri bulunmaktadır. Bunların başında süreksizlik gelmektedir. Özellikle yenilenebilir enerjiler içinde en fazla uygulama alanı bulan rüzgar ve güneş enerjilerinde bu problem en üst seviyededir. Bu süreksizliklere en iyi (optimum) çözüm bu iki enerjinin birlikte kullanımını sağlayan hibrit sistemlerdir. Uygun alanların seçilmesi ile zaman ve alana bağlı olarak bu enerji kaynaklarındaki süreksizlikler en aza indirgenebilmektedir.

Bu çalışmada, ortalama bir evin bütün enerji ihtiyaçlarını karşılayacak bir hibrit enerji sistemi İstanbul Teknik Üniversitesinin Meteoroloji Parkında kurulmuştur. Bu sistemden elde edilen meteorolojik parametrelerin alana ve zamana bağlı modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu modelleme çalışmasında, noktasal toplam yarıvaryogram yöntemi rüzgar şiddetinin alansal temsiline kullanılmıştır. Ayrıca belirlenen sekiz ölçüm noktasında rüzgar enerji ve ekserji çalışmaları gerçekleştirilecektir. Benzer yöntemler güneş ışıınının modellenmesinde de kullanılmıştır.

Alansal modellerde bilindiği üzere haritalar büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda Weather Research Forecasting (WRF) modeli sayısal hava tahmininde en fazla kullanılan model olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında İstanbul ve civarını kapsayacak şekilde bütün alan 3 km x 3 km boyutlara sahip bölgelere ayrılmıştır. Bu gridlere dayalı olarak alansal ve zamansal tahminler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmanın ikinci adımı olarak, hem rüzgar hemde fotovoltaik pillerde oluşan enerji kayıpları hesaplanmıştır. Enerji kayıplarının sistemin neresinde olduğunu anlayabilmek ve bunların hesaplamalarında termodinamik açıdan son yıllarda gittikçe önem kazanan ekserji analizi yöntemleri uygulanacaktır. Rüzgar enerjisinde sistemin kurulacağı bölge ve meteorolojik faktörler kayıplarda önemli rol oynarken, fotovoltaik pillerde ise ısı kayıpları etkilidir. Bundan dolayı tip sistemlere etki eden meteorolojik ve ekserji analizi yapmak için gerekli diğer parametreleri hem alansal hem de zamansal olarak ele almak gerekmektedir. Kayıpların belirlenmesinden sonra sistemin herbir bileşeni ve toplamı için ekserji verimlilik

modelleri gerçekleştirilmiştir. Bu modellerin gerçekleştirilmesi sonucunda sistemin kayıpları belirlenmiş ve bu kayıpların azaltılması için öneriler getirilmiştir. Kısacası bu tez çalışmasında rüzgar-güneş hibrit sistemleri baştan sona kadar ayrıntılı incelenmiş ve İstanbul şartlarında uygunlukları ele alınmıştır. Başka bir ifade ile bu sistemler ile ilgili olarak bütün adımları içine alan bir model ve program geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, rüzgar-güneş hibrit sistemi, alan-zaman modellemesi, ekserji, verimlilik

WIND AND SOLAR SYSTEMS MODELLING AND EXERGY ANALYSIS IN THE CONDITIONS OF ISTANBUL

SUMMARY

There has been high interest and increasing need for new and renewable energy sources in the world. However, renewable energy sources have many unsolved problems. The main problem is the discontinuity of renewable energy sources with time and space. Especially, discontinuity problems are very high for solar and wind energies that are very important parts of renewable energies. In other words, wind speed that could generate electricity by wind turbines doesn't occur all the day, and there is no solar irradiation during night and overcast weather conditions. The main solution for these discontinuities is to use hybrid systems. In other words, different energy sources are used together. As a result of selecting proper high potential regions, these discontinuities could be minimized.

In this study, a hybrid energy system is installed that could generate total consumption of a standard house, in the meteorological park of Istanbul Technical University. Firstly, spatial and temporal modeling of measured meteorological parameters is evaluated. In the spatial modeling, point cumulative semivariogram (PCS) is applied for wind speed simulation. In addition, for selected eight stations wind energy and exergy properties are searched. The same methods is used for solar irradiation modeling. Photovoltaic solar cells need two parameters that are total solar irradiation and sunshine duration for each selected area.

As known that, maps have very important roles for spatial models. Recent years, Weather Research Forecasting (WRF) numerical weather forecast model has been used as a most known model in the literature. In this thesis, for all around İstanbul a grid system that has 3 km x 3 km resolution, is considered and based on these grids outputs spatial temporal estimations results are evaluated.

In the second stage of this study, energy irreversibilities of solar photovoltaic cells and wind turbines are estimated. In thermodynamic perspective, it is very important to know irreversibilities of each component of the system and as a result of these, system could be improved via minimizing energy losses. These losses, in other words irreversibilities of each component of the system, could be evaluated with exergy methods which have been discussed frequently during the last three decades. Problems at installation place and meteorological parameters restrictions are the main reasons of losses for a wind turbine. In addition, Betz limit is the main limitation of wind turbine power generation. Like wind turbine power generation

limit, materials of solar cells also could not convert solar irradiation to electricity with high efficiency but in contrast to wind turbine, the main factor of irreversibilities of photovoltaic cell system is the heat losses that depend on considered climatological properties. As a result of using measurement and estimation values irreversibilities of each component of the system totally, energy and exergy efficiencies are estimated. For the system designers to know detailed properties of each component this methodology gives chance to minimize losses.

In short, in this thesis all of the components and parameters of a wind-solar hybrid system are considered and its convenience to İstanbul climatic conditions is discussed. In other words, models and measurements are compared for all stages of the wind-solar hybrid system.

Keywords: Wind power, solar energy, wind-solar hybrid system, spatio-temporal modeling, exergy, efficiency

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlar yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmışlardır. Endüstri devriminden sonra bu kaynakların kullanımı gelişmiş ülkelerde azalmış ve nihayetinde fosil kaynaklardan elde edilen enerjiler sürekli kullanılır duruma getirilmişlerdir. Bu durum 1973 petrol krizine kadar devam etmiş ve bundan sonra gerek bilim çevreleri gerekse hükümetler alternatif kaynaklara tekrar yönelmeye başlamışlardır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılan bu enerji kaynakları ilk başlarda teknolojik anlamda çok gerilerdeydi. Teknolojik sorunların yanında yenilenebilir enerji kaynaklarındaki süreksizlik bunlara olan umudu azaltmıştır ve bazı çalışmalar yarıda bırakılmıştır. Buna en iyi örnek 1980'li yıllarda California/ABD'de yapılan ve yarıda bırakılan yatırımlar gösterilebilir. Büyük alanları kapsayan küçük ölçekli 50 kW'nın altında güce sahip türbinlerin kurulduğu bu bölgelerde süreksizliğin yanısıra verimin düşük olmasından dolayı belirli bir süre sonra yatırımdan vazgeçilmiştir. Bu durum 1990'ların başında Danimarka ve Almanya'da MW'lar seviyesinde türbinler geliştirilene kadar devam etmiştir.

Teknolojik anlamda rüzgardakine benzer durum güneş enerjisinde de yaşanmıştır. Gerek fotovoltaiik gerekse ısı alanlarda kullanımlarda beklenen verime ulaşamamıştır. Güneş enerjisindeki bu düşük verim sorunu hala devam etse de teknolojik anlamda ilerlemeler elektrik üretim maliyetlerini daha düşük seviyelere getirmiştir.

Rüzgar ve güneş enerjisindeki süreksizlik ile birlikte verimsizlik problemleri bu kaynakların bütünleşik(hibrit) kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bütünleşik sistemlerin mühendislik anlamında iyi dizaynları ve zamansal-alansal olarak tahminlerin yapılabilmesi bunların kullanımı ve kontrollerini kolaylaştırmaktadır. Bütünleşik sistemlerin modellenmesi bu sistemlerin ülkeler için yapılangenel enerji planlamalarındaki durumunu daha da güçlendirmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına özellikle rüzgar ve güneş enerjisine olan eğilim bir çok alanda gelişmeye vesile olmaktadır. Ancak yapılan çalışmaların başarılı olması ekonomik olmasına bağlıdır. Rüzgar ve güneş enerji yatırımlarında yapılan yatırım bu sistemlerin üreteceği enerjiye bağlı olmakta ve bu bağımlılıkta planlama esnasında yani potansiyel hesaplamalarından başlamaktadır. Tabi bu hesaplamalar hep ortalamalara dayanmaktadır. Sonuçta ise günlük atmosferik hareketler bu durumları yüzde yüz yansıtmamaktadır. Bu uyumsuzluğu önceden tahmin edip gerekli düzenlemeleri yapmak enerji sistemlerinin ve toplum düzeninin devamı için hayati öneme sahiptir.

Bütün bunların yanında yenilenebilir enerji teknolojilerindeki düşük verim sorunu hala sürmektedir. Bütün enerji teknolojilerinde olduğu gibi yenilenebilirlerde de sistemlerin kayıpları ekserjetik yöntemlerle araştırılabilmektedir. Kayıpları belirlenmiş sistemlerin verimlerini arttırmak için gerekli çalışmalar başlatılabilir. Alansal ve zamansal enerji-ekserji verimliliklerinin bilinmesi sadece sistem kullanıcıları için değil aynı zamanda planlayıcı ve üreticiler için de büyük önem taşıyacaktır.

Bu çalışmada bütünleşik enerji sistemlerini üreten, planlayan ve işletenlere yardımcı olması bakımından rüzgâr ve güneş enerji sistemlerinin enerji-ekserji değer ve verimlilik tahminleri İstanbul ve çevresi için alansal-zamansal yapılarak bir yenilik sunulmuştur.

Bu tezde rüzgar-güneş bütünleşik sistemi düşünülerek incelenecek olan konular şu şekilde sıralanabilir:

- Rüzgar hızı tahmini
- Rüzgar enerjisi tahmini
- Güneş enerjisi tahmini
- Alansal modelleme
- Zamansal modelleme
- Alansal-zamansal modellemeler
- Sayısal hava tahmin modelleri
- Enerji verimliliği
- Enerji ve ekserji tahminleri

1.2 Literatür Özeti

1.2.1 Rüzgar tahmini

Rüzgar terimi Farsça kökenli olup zaman, devir, hengam, dünya ve alem anlamlarını taşımaktadır (Özgün, 1965). Kelimenin anlamı gibi fiziksel yapısı da büyük bir değişim göstermektedir. Meteorolojik tanımda ise rüzgar, yeryüzünün farklı ısınması ve soğumasından dolayı oluşan yatay hava hareketleri olarak ifade edilmektedir. Meteorolojik değişkenler içerisinde en fazla ve en hızlı rastgele değişimlere sahip olan rüzgardır. Bunun sonucunda rüzgar, öngörülmesi en zor olan bir meteorolojik değişken olarak karşımıza çıkar. Matematik olarak rüzgar, yön ve şiddeti (pratikte hız) olan bir büyüklüktür. Hem yön hemde şiddetin rastgele değiştiği meteorolojik kayıtlardan anlaşılmaktadır. Bu değişkenlik rüzgara ayrı bir önem kazandırmıştır (Şahin, 2001).

Meteorolojik değişkenlerde alansal ve zamansal tahminler çok önemlidir. Zamansal tahmin için istatistiki birçok yöntem mevcuttur bunlar; yüzey geçirme, amprik doğrusal interpolasyon, istatistik objektif analiz ve değişintili yöntemlerdir. Alansal tahmin yani haritalama içinse genelde Kriging yöntemi kullanılmaktadır. Son yıllarda bilgisayar hesaplamalarındaki gelişme sonucu alansal ve zamansal modellemeler için sayısal hava tahmin modelleri kullanılmaktadır. Bunların çıktıları ile çalışılan alandaki değişkenler kıyaslanmaktadır.

Günümüzde rüzgâr ya da rüzgâr enerjisi tahmini yapmak için kullanılan yöntem ya da algoritmada bir sayısal hava tahmin (SHT) modeli, ölçüm, model ve çıktı değerleri bulunmaktadır (Landberg ve diğ., 2003b). Aynı şekilde güneş ışıınımı ve enerjisi de bu şekilde tahmin edilebilmektedir.

Bir noktanın veya bölgenin rüzgâr ve güneş potansiyelini belirlemenin ve o noktadaki kaynakların tahminini yapmanın en doğru yolu 5-10 yıllık ölçüm yapmaktır. Ancak bu, pratikte mümkün olan bir seçenek değildir. Bu yüzden çeşitli yöntemlerle bir bölgenin yenilenebilir enerji kaynağı bilgisini öğrenebiliriz. Bu yöntemler;

Tecrübe: Bölgede yaşayan insanlar tarafından verilen bilgilerdir ki en ucuz, kolay ve hızlı yöntem olmakla birlikte sistem planlaması için gerekli bilgileri içermemektedir.

Sadece ölçüm: Bir bölgeyi temsil etmesi için bir noktada rüzgar ve güneş ölçümleri yapılır ve o değerler tüm bölge için geçerli kabul edilir. Ancak burada ölçüm

noktasının yerini belirlemek çok önemlidir ve atmosferin akış bilgisini, yerel değişkenlerin etkilerini bilmek ve hesaplamak gerekir ki ancak uzman kişiler tarafından yapılmalıdır.

Ölçüm-ilişki-tahmin: Çalışma yapılacak alana yakın bir meteoroloji istasyonunun rüzgar, güneş verisi alınır ve bulunulan yer ile bir ilişki kurulur ve tahmin yapılır.

Küresel veri tabanları: Küresel ölçekte tahmin yapan modellerin çıktılarını kullanmak ki bunlara örnek olarak NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) ve ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasting) verilebilir. Bu yöntemin avantajı; bu veri tabanları yıllarca yapılan ölçümleri de ihtiva eder, yerel etkilerden uzaktır ve küresel ölçekte veritabanı olduğu için herhangi bir bölgeye uygulanabilir.

Atlas Yöntemi: Bir çok ülkede uygulaması olan rüzgar ve güneş enerjisi potansiyel atlaslarından yararlanılarak yapılan değerlendirmelerdir. Ülkemizde *Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası* (REPA) ve Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) örnekler olarak gösterilebilir.

Noktasal Ölçüm: Çalışma yapılacak alanın içinde bir ölçüm yapılır ve buna göre tahmin üretilir. Bunun avantajı ekstrapolasyon hatasının olmaması ancak dezavantajı ise bölgesel iklimi temsil etmemesidir.

Orta Ölçek Modelleri: Mezo (orta) ölçekte modelleme yapan sayısal hava tahmin yaklaşımları kullanmaktır ki bunlara örnek olarak *Weather Research and Forecasting* (WRF) verilebilir.

Mikro ve Mezo Ölçek Modellerin Bütünleşik Kullanımı: Orta ölçek modelleme yapan programların çıktıları mikro ölçekte modelleme yapan bir programa örneğin WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program)'a girdi olarak verilir ve tahmin yapılır (Landberg ve diğ., 2003a).

Kritharas ve Watson (2010) yaptıkları çalışmada İngiltere'de 52 yıllık gözlem verilerine dayalı olarak, trend analizi temelli tahmin çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmada 1 aylık süreklilik, 12 aylık süreklilik, basit eksponansiyel yumuşatma ve basit mevsimsel yaklaşım olmak üzere dört adet model kullanılmıştır. Toplam verinin yarısı modelin eğitim aşamasında diğeri ise testte kullanılmıştır. Herbir modelin hata değerleri bulunmuş ayrıca otokorelasyon katsayıları düzenlenmiştir. Geniş bilgi içeren bu makalede herhangi bir atmosferik model ve rüzgar haricindeki meteorolojik bir parametre için içerisine dahil edilmemiştir. Modellerdeki

hesaplamalarda yapay sinir ağıları (ANN) ve otoregresif kayan ortalamalar (ARIMA) yöntemleri tercih edilmiştir. Böylece en düşük hatayı veren istatistiksel model bulunmuştur. Sonuç olarak basit eksponansiyel yumuşatma modeli tavsiye edilmiştir. Burada grid noktalarına taşıma veya grid noktalarından istenen noktaya verinin taşınması sözkonusu değildir. Bu durum haritalamada sorunlara yol açacaktır.

1.2.2 Rüzgar enerjisi tahmini

Rüzgar enerjisi tahmin metodları aşağıda detayları verilen iki temel bölüme ayrılır; Fiziksel Yöntemler: Meteorolojik veriler yada model çıktıları, arazinin pürüzlülük durumu göz önünde bulundurularak ekstrapolasyon ile türbin hub yüksekliğine çıkarılması sonucunda tahmin yapılır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) bu yöntemlere aynı zamanda alternatif olarak kullanılmaktadır.

Geleneksel Kara Kutu veya Gri Kutu yöntemleri: Burada istatistiksel yöntem yaklaşımları temel alınmaktadır. Büyük veri grupları alınarak analiz edilir ancak bu sürede meteorolojik şartlar göz önünde bulundurulmaz. Analiz yapıldıktan sonra rüzgar potansiyeli ve hava durumu arasında bir bağlantı bulunur. Burada sıklıkla kullanılan yöntemler; Otoregresif (AR), Kayan Ortalama (MA), Otoregresif Kayan Ortalama (ARMA) ve Kayan Ortalamalara Uyarlanmış Otoregresif Model (ARIMA), Yapay Sinir Ağları (ANN), Bulanık Mantık, Destek Vektör Makinesi (SVM), Yapay Zeka (AI) vb. Bu yöntemlerin birlikte kullanılmasıyla bunlara yakın zamanda gri kutu modelleri denmeye başlanmıştır.

Rüzgar tahmini için sayısal hava tahmin modelleri gayet uygundur ancak kısa vadeli ve özel bölgelere yönelik tahminlerde beklendiği ölçüde başarılı değildir. Buna mukabil gözlemlere dayalı olarak kullanılan ANN ve diğer istatistiksel yöntemler kısa vadede daha başarılı netice vermektedir.

Potter ve Negnevitsky (2006)'da yaptıkları çalışmada yapay sinir ağıları temelli bulanık mantık (adaptive neuro-fuzzy inference system -ANFIS) yaklaşımını kullanmışlardır ki bu tip sistemlere akıllı sistemler denmektedir. Bu sistemlerdeki öğrenme sürecini doğru bir şekilde tamamlamak için giriş verisi hayati öneme sahiptir ancak bu verinin seçimi ile alakalı bir kural yoktur ve tecrübeye dayalı olarak seçilmektedir.

Avustralya' nın Tazmania bölgesinde 2,5 dakika aralıklı 21 aylık veri kullanılarak ANFIS modeli uygulanmıştır. Çalışmada ANFIS'in adım aralığı 2,5 ve 10 dakika

alınmıştır. Neticede adım aralığı 10 dakika iken ortalama mutlak hata % 4 bulunmuştur.

Bahsedilen makalede rüzgar tahmininden enerji tahmin etmenin arasında lineer bir bağlantı olmadığı belirtilmektedir. Rüzgar arttıkça üretilen enerji belli birdeğerden sonra sabit, şiddetli rüzgarda ise sistem rüzgara göre konumlandığındanya datürbin çeşidine göre tamamen kapatıldığından türbinden türbine değişmekte ve gelişen teknolojiye oldukça bağlı olmaktadır.

Sayısal hava tahmin (SHT) metodları ise bu yöntemler için iyi bir başlangıç olmaktadır. Ancak rüzgarın sürekliliği düşünüldüğünde 3-6 saat arasındaki tahminler için SHT’lerden daha başarılıdır. Uzun süreler için tahminlerde SHT devreye girmektedir.

Çizelge 1.1’ de rüzgar hızı ve enerjisi tahmininde kullanılan bazı modeller ve özellikleri verilmektedir.

Çizelge 1.1 : Rüzgar hızı ve enerjisi tahmininde kullanılan modeller ve özellikleri

Model İsmi	Geliştiricisi	Yöntem	Kullanılan Bölgeler
Prediktor	L. Landberg / Riso	Fiziksel	İspanya, Danimarka, İrlanda Fransa, Almanya, İskoçya ve Japonya, ABD
WPPT	IMM ve DTU	İstatistiksel	Danimarka, Avustralya, Kanada İrlanda, Hollanda, İsveç Yunanistan
Zephyr	Riso ve IMM	Hibrit	Avustralya
Previento	Oldenburg Üniversitesi	Hibrit	Almanya, İrlanda
E wind	True Wind Şirketi	Hibrit	ABD
Sipreolico	3.Carlos Üniversitesi ve Re Electrica	İstatistiksel	İspanya
WPMS	İSET ve Almanya	İstatistiksel	Almanya
WEPROG	J. Jorgensen ve C. Möhrle	Hibrit	İrlanda, Almanya , Danimarka
GH Tahminci	Garrad Hassan	İstatistiksel	Yunanistan, İngiltere, ABD
Localpred ve Regiopred	M. Perez / CENER	Hibrit	İspanya, İrlanda
Alea Wind	Aleasoft	İstatistiksel	İspanya
Scirocco	Aeolis tahmin servisi	Hibrit	Hollanda, Almanya, İsviçre
SOWIE	Eurowind	Fiziksel	Almanya, Avusturya, İsviçre

Rüzgâr enerjisi çalışmalarında sayısal hava tahmin modellerinin doğruluğu da önemli bir konu olarak durmaktadır. Modellerin doğruluğunu değerlendirmek için daha çok Ortalama Hata, Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Kare Hata (MSE), Ortalama Kare Hata Karekökleri (RMSE), Hata Dağılımlarının Histogramları, Korelasyon Katsayısı r, Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve belirlilik katsayısı R^2 araçlar olarak kullanılmaktadır.

Modellerdeki başarıyı arttırmak için birkaç farklı SHT'nin kullanılması, tahminin zaman adımının kısa tutulması ve geniş alanlar için tahmin yaparak rüzgâr enerjisi tahminlerinde yapılan hataların azaltılacağı tavsiye edilmektedir. Bütün bunların yanında ölçümlerle bu modellerin doğrulanması temel oluşturmaktadır. Amerika, Almanya, Danimarka ve İrlanda da bu yöntemlerin uygulanmasıyla hatalar azaltılmıştır. Yapılan çalışmalarda 4 saatlik tahminlerde % 39'luk bir hata payı rüzgar enerjisi tahmininin zorluğunu ispatlamaktadır (Foley ve diğ., 2010).

Rüzgar enerjisi tahmini için Han ve Chang (2010) tarafından yapılan çalışmada Kanada' nın sahil kesiminde bir bölgenin rüzgar potansiyeli tahmin edilmekte daha sonra alandaki rüzgar çiftliklerinin öngörülerindeki hata bir ölçüm noktası ile kıyas edilerek yumuşatmayoluna gidilmiştir. Rüzgar tahmin modellerinde istatistiksel ve fiziksel yöntemler kullanarak atmosferdeki akış tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Rüzgar, yerel topoğrafik ve meteorolojik şartlardan etkilendiğinden kullanılan model ile bölgenin toplam rüzgar enerji tahminindeki hatalar azaltılmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemle istatistiki alansal yumuşatma etkisi denmektedir. Kanada' da geliştirilen GEM hava tahmin modelinin çıktıları rüzgar analizi için kullanılan GEM-LAM' da kullanılmıştır. Zaman ölçeği 12 ile 36 saat arası alınan model çıktıları 2,5 x 2,5 km çözünürlüğünde ve 58 seviyede ele alınmaktadır. Bu modelden elde edilen çıktılar 80 metre yüksekliğinde ölçülen gözlem verisi ile kıyaslanmıştır. Ancak teknik sebeplerden dolayı 4 aylık gözlem verisi kullanılabilmektedir. Tahminin kalitesi, tahmin edilen veri ile ölçülen verinin farklarının standart sapması alınarak belirlenmiştir. Otokorelasyona bakılarak aradaki ilişkinin kalitesi belirlenmiştir. Sonuç olarak da 12 saatlik tahminlerde tutarlılık % 40, 24 saatlik tahminlerde ise % 30 civarında kalmıştır (Han ve Chang, 2010).

Almanya' da yapılan bir çalışmada, tek bir rüzgar çiftliğinden ziyade birleştirilmiş rüzgar çiftliklerindeki güç tahmin hatalarının istatistiksel analizi, toplamdaki hata yumuşatılarak iyileştirmeler yapılmıştır. Ancak hatanın azaltılması tahmin yapılan bölgenin büyüklüğü ile ters orantılı olmakta yani alan ne kadar büyükse hatada o kadar düşük kalmaktadır (Focken ve diğ., 2001).

Amerika' da yapılan bir çalışmada ise istatistik tabanlı persistans modelleri, zaman serisi modelleri, yapay sinir ağları, şartlı yapay sinir ağları ve sayısal modeller kullanılarak yapılan çalışmada 0-3 saat arası tahminler yapılmıştır. Tahminlerin

tutarlılığı aydan aya değişmekte ve her model belli aylarda başarılı olmakla beraber tam olarak belli bir tahmin modeli tavsiye edilememektedir. Buna rağmen en yüksek tahmin hataları kış aylarında görülmektedir (Larson ve Westrick, 2005).

Rüzgâr enerjisi için önem arz eden rüzgar tahmini artık çevre kuruluşlarıyla beraber ülkelerin ulusal egemenliklerini de ilgilendirmektedir. Amerikan donanması denizlerde kurulması gereken rüzgar çiftlikleri için bizzat finans ve yetişmiş eleman desteği dahi vermektedir (Khalifa, 2009).

1.2.3 Güneş ışıınımı ve tahmini

Bu tezde ele alınan diğer önemli bir konu ise fotovoltatik sistemlerdir. Fotovoltatik sistemlerde en önemli parametre şüphesiz ki güneş ışıınımıdır.

Güneş ışıınım tahminlerinde yeryüzünde ölçülmüş ışıınım verileri temel olmaktadır. Birbirine yakın bölgelere düşen ışıınım miktarının neredeyse eşit olması ölçüm noktasına yakın bölgelerdeki ışıınımın tahminini kolaylaştırmaktadır. Bu yaklaşım neticesinde bu noktalar arasında doğrusal bir bağlantı olduğu kabul edilmiştir. Bununla beraber gün içinde de ışıınım zamanla orantılı bir şekilde artar ve azalır. Bu orantı normal dağılıma benzemektedir, aynı benzerlik yıl içindeki aylar arasında da mevcuttur. Yani gün öğlesine kadar nasıl güneş ışıınımı orantılı bir şekilde artıyorsa senenin ilk yarısında artar sonrasında ise güneşin batışındaki gibi sene sonuna doğru azalmaktadır. Ancak ay içinde böyle bir değişim olmamaktadır. Fakat birbirini takip eden aylar arasında bir azalma veya artma olmaktadır. Bu konuda ilk çalışma Angström (1924) tarafından yapılmıştır. Angström tipi regresyon denklemi aylık ortalama günlük ışıınım, açık gün ışıınımı ve ortalama güneşlenme süresi ile ilişkilidir. $\bar{I}$; yatay yüzeyde birim alana gelen aylık ortalama günlük ışıınım miktarı (w/m^2), $\bar{I}_0$; bulunulan ay ve istasyonu için açık gökyüzünün ortalama günlük ışıınım miktarı (w/m^2), $\bar{G}$; aylık ortalama güneşlenme süresi (saat), $\bar{G}_0$; aylık maksimum ortalama güneşlenme süresi (saat) ve son olarak da, A ve B katsayılar olmak üzere

$$\frac{\bar{I}}{\bar{I}_0} = A + B \frac{\bar{G}}{\bar{G}_0} \quad (1.1)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Fakat mühendislik hesaplamalarında pratik olmasından dolayı güneş enerjisi hesaplamalarında Page (1964) atmosferin dışına gelen ışıınım için türettikleri eşitlik en çok kullanılan denklemlerden birisi olmuştur. Angström

denkleminin eksikliklerinin başında klasik en küçük kareler yönteminin uygulanıp, sabit A ve B katsayılarının elde edilmesi gelmektedir. Bulunan sabitler ile dinamiklikten çok durağanlığın olması, bu sabitlerin noktasal olarak istatistiksel analizine gidilememesi, zamansal değişimlerine bakılamaması ve noktasal olarak sabitler arasında fonksiyonel ilişkinin araştırılamaması gibi konular vardır. Şahin ve Şen (1998) bütün bu eksiklikleri ortadan kaldıracak ardışık yerine koyma yöntemini geliştirmişlerdir. Buna göre, Angström denklemi olduğu gibi kullanılmış, fakat sadece birbirini izleyen iki ayda aynı katsayıların geçerliliği kabul edilmiştir. Başka bir deyişle, birbirini izleyen iki ayda doğrusallık kabulü yapılmıştır. Bu durum, güneş enerjisi hesaplamalarına bir dinamik yenilik kazandırmaktadır. En azından bütün yıl boyunca yapılan doğrusallık kabulünden daha sağlıklı ve dinamik bir sonuç ortaya konulur. Birbirini izleyen iki ayın doğrusal kabul edilmesinin sebebi ise, 2 bilinmeyenli iki denklemden her bir ay için farklı A ve B katsayılarının bulunmak istenmesidir.

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)_1 = A_1 + B_1 \left(\frac{G}{G_0}\right)_1 \quad (1.2)$$

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)_2 = A_2 + B_2 \left(\frac{G}{G_0}\right)_2 \quad (1.3)$$

ifadelerinden en uygun A_1 ve B_1 katsayıları

$$B_1 = \frac{\left(\frac{I}{I_0}\right)_1 - \left(\frac{I}{I_0}\right)_2}{\left(\frac{G}{G_0}\right)_1 - \left(\frac{G}{G_0}\right)_2} \quad (1.4)$$

ve bununda (1.2) denkleminde yerine yerleştirilmesiyle

$$A_1 = \left(\frac{I}{I_0}\right)_1 - B_1 \left(\frac{G}{G_0}\right)_1 \quad (1.5)$$

A_1 katsayısı kolaylıkla bulunabilir. Daha sonraki adımda da 2. ve 3. aylar için benzer denklemler kullanılarak herbir ay için en uygun katsayılar bulunur.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi elimizde N tane verinin bulunması halinde sabit A ve B katsayıları yerine N-1 tane A ve B katsayıları bulunacaktır. Böylece güneş ışıınımı hesaplamalarında Angström katsayılarının sabit olması kabulünden kaçınılmıştır (Şahin, 2001).

Güneş ışıınımını bulutluluk ve atmosferdeki aerosol miktarı etkilemektedir. Güneş ışıınımını tahmin etmek için bu iki parametreyi de tahmin etmek gereklidir. Sayısal hava tahmin modelleri bu işi yapmakla birliktetahminleri yüksek hata içermektedirler. Bu tahminleri iyileştirmek için hem SHT hem de hava kalitesi modelleri birlikte kullanılıp elde edilen veriler uydu ve yer bazlı ölçümlerle karşılaştırılmaktadır. Breitkreuz ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmanın temeli bu karşılaştırmaya dayalı bir ışıınım tahmin sistemi kurulmasıdır. Bahsedilen çalışmada enerji uygulamalarında güneş ışıınımının aerosol temelli tahminleri (AFSOL) detaylı ele alınmıştır.

AFSOL'un bulutsuz gökyüzündeki tahmin başarısı operasyonel olarak kullanılan ECMWF' den daha iyi sonuç verdiği görülmüştür (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2 : AFSOL-ECMWF karşılaştırılması

Modelleme Sistemi	Bağıl Hata (%)	Bağıl RMSE (%)	Mutlak Hata (W/m ²)	Mutlak RMSE (W/m ²)
AFSOL	11.2	18.8	57	96
ECMWF	-26.3	31.2	-134	159
METEOSAT-7	-1.7	15.6	-9	80

Ancak bulutlu gökyüzünde ise durumun tam tersi olarak gerçekleştiği yani ECMWF'in tahminleri AFSOL'a nispetle daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Breitkreuz ve diğ., 2009).

İsviçre'de 2006-2008 yılları için yapılan güneş ışıınımı tahmininde WRF ve MM5 modelleri çalıştırılarak karşılaştırma saatlik bazda yapılmıştır. Yapılan tahminlerin geçerliliği RMSE ile kontrol edilmiştir. MM5 da 90 ve 30 km'lik çözünürlüklere inilebilmiştir ancak WRF'ta ise bu çözünürlük değeri 5 km'ye kadar çıkmıştır.

Çözünürlük kalitesi arttıkça topoğrafya daha iyi modellenmiş ve bulut oluşumları yakalanmıştır. Ancak hata yine de % 41-55 arası gerçekleşmiştir. Bu gelişimde modellerdeki parametrelerde yapılan değişim ve bulutluluk durumuna göre farklılık göstermektedir. Bulutsuz günlerde tahminin kalitesi bulutlu günlere nispetle daha iyidir. Ancak tahmini iyileştirmek için model çıktılarında ayrıca istatistiksel bir model kullanılıp veriler gerçeğe uygun bir hale yaklaştırılmaktadır (Müller ve Remund, 2010). Bu çalışmada modellerde enerji tahmini için havadaki toz ve aerosol değişkenlerinden ziyade bulutluluğun büyük önem arz ettiği ve bulunan bölgeye uygun bulutluluk parametrelerinin bulunup modelin yeniden çalıştırılması gerektiği anlaşılmıştır.

Güneş ışınlamını tahmin etmek için yapılan diğer bir çalışmada 3 sayısal model NDFD, ECMWF ve WRF karşılaştırılmıştır. Üç saatlik tahminler yapılmış ve bunlar enterpolasyonla bir saate indirilmiştir. Modellerin çıktıları Desert Rock NV , Boulder CO , Goodwin Creek MS’ te ölçülen değerler ile MBE ve RMSE kullanılarak modellerin geçerliliği test edilmiştir. Bir günlük tahminlerde % 10 ile % 80 arası hatalar ortaya çıkmıştır. Daha sonra modeller 2-5 km’lik çözünürlüğe yükseltilerek yeniden çalıştırılmıştır. Neticede, ECMWF modeller arasından en az hata ile başarılı olmuş, ikinci düşük hatalara NDFD ve en yüksek hatalara ise WRF sahip olmuştur.

Bir günlük tahminlerde ise sonuç Çizelge 1.3’teki gibi gerçekten oldukça uzaktır (Remund ve diğ. 2008).

Çizelge 1.3 : NDFD, ECMWF ve WRF'nin karşılaştırılması

Alan	NDFD (w/m ²) (%)	ECMWF (w/m ²) (%)	WRF (w/m ²) (%)
Desert Rock NV	96	87	105
Boulder CO	167	162	223
Goodwin Creek MS	149	136	190

Tao ve diğ. (2010), network tabanlı model tavsiye etmişlerdir (doğrusal olmayan ekzojen, NARX). Bu çalışmada bulutsuz gökyüzü için Hottel’ in radyasyon modeli kullanılmıştır. Sayısal hava modellerinin çıktılarını kullanmak yerine model kendi çıktılarını girdi değeri olarak kullanmaktadır. Havanın kapalı olduğu günlerde ise halka açık yayın yapan internet sitelerinden alınan meteorolojik bilgiler sistem için

girdi olarak kullanılmaktadır. Bu modeldeki tahminler ise 24 saatlik uzunluktadır. Modelin performansını test etmek için çokkatmanlı Perceptron (MLP) yapay sinir ağı modelinin çıktısı ile karşılaştırılmıştır. Tahmin ile ölçüm değerleri arasında yapılan kıyaslama Çizelge 1.4'te görülmektedir (Tao ve diğ., 2010).

Çizelge 1.4 : NARX-MLP için MAPE karşılaştırması

Yöntem	MAPE
NARX	% 16.47
MLP	% 30.72

Chaabene ve Ammar (2008), yaptıkları çalışmada ANFIS modeli ve Kalman filtreleri kullanmışlardır. Ancak buradaki önemli ayrıntı meteorolojik değişkenlerin tahmininde kullanılan meteorolojik değişkenleri tahmin eden bir mimarinin yer almasıdır. Güneş radyasyonunu tahmin etmek için eğitilirken sadece bu değerler değil aynı zamanda çevre sıcaklığı ve en yüksek sıcaklık değişkenleri de modele eklenmiş ve bu şekilde ışıının davranışı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahminlerle gözlem verisi karşılaştırıldığında modelin tahminleri tutarlı olduğu fakat bu modelin meteorolojik değişkenlerinin stokastik olmasından dolayı beklenmeyen atmosfer şartları için geçerli olmadığı belirtilmektedir (Chaabene ve Ammar, 2008).

Munoz ve diğ. (2008) İspanyanın Cordoba şehri için 1994-1997 yılları arasındaki güneş radyasyonu ve bulutluluk verisi kullanarak ARMA modeli ile ışıının ve bulutlanma tahminini birlikte yapan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Bu tezde ise güneş ışıının tahmininde WRF çıktısı ve gözlem istasyonlarının verileri kullanılacaktır.

1.2.4 Ekserji

Ekserji termodinamiğin 2. Kanunu ile alakalı bir ifadedir ve enerji teriminin bazı eksikliklerinden dolayı ortaya çıkmıştır. Carnot ısı makinasında elde edilebilir işin sıcaklık farkları ile orantılı olduğunu ortaya koymuştur. Gibbs ise elde edilebilir iş kavramını geliştirmiş ve bunlara ilave olarak Keenan ise elde edilebilir iş kavramını ayrıntılı ele almıştır. Elde edilebilir iş kavramının ayrıntılı ele alınmasıyla birlikte Rent ekserji terimini geliştirmiş ve önermiştir. Tribus klasik termodinamikteki entropi kavramı ile ekserji arasındaki ilişkiyi geliştirmiştir. Dincer ve Rosen (2005), yenilenebilir enerjiler ile sürdürülebilir kalkınmayı termodinamik açıdan ele

almışlardır. Ayrıca Şahin ve diğ. (2006) ilk defa rüzgar enerjisinin ekserjetik modelini geliştirmişlerdir. Buna ilave olarak bir çok bölgede yine literatürde ilk olmak üzere rüzgar ekserji haritaları geliştirmişlerdir (Şahin ve diğ. 2006). Ayrıca fotovoltaiik pillerin kayıpları ve verimlilikleri Şahin ve diğ., (2005) tarafından önerilen ekserjetik bir model ile gerçekleştirilmiştir. Bütün bu çalışmalarda eksik olan en büyük yön, bire bir ölçümlerin kullanılmamasıdır. Yapılacak bir çalışmada ayrıntılı ölçüm değerlerinin kullanılması, oluşturulan, kabul görmüş modeli güçlendirecektir.

Bilindiği üzere termodinamiğin birinci kanunu miktar tabanlı yani enerji enerjidir; diğer bir ifadeyle tüm enerjiler eşittir. Miktar her zaman korunur, yok edilemez. Bunun yanında ikinci kanun ise kalite tabanlı yani enerjiden enerjiye fark vardır, kalite ve verimlilikler eşit değildir.

Bir olayın ikincikanun verimi % 100 ise o olay mükemmeldir ve böyle bir devinim söz konusu değildir (Çengel, 2007).

Ekserji kısaca, elde edilebilir maksimum iş miktarı olarak ifade edilebilir. Ekserjetik yaklaşımlarda kayıplar sistem iyileştirmesi için büyük önem taşımaktadırlar. Ekserjetik yaklaşımın dört temel prensibi vardır. Bunlar:

- Mümkün olduğunca özünde güvenli ve iyi huylu malzeme ve enerji girdisi/çıktısı temin etmek.
- Enerji kaynaklarını en az kullanmak.
- Atıktan kaçınmak için çabalamak.
- Sürdürülebilirliği temin için teknolojiyi geliştirmek, iyileştirmek ve yenilerini keşfetmek.

Ekserji yıkımı boşa giden enerjinin bir göstergesidir. Sistemlerde entropi üretimini en az seviyeye indirmek bu yaklaşımın termodinamik anlamda en önemli parçasıdır (Çengel, 2007).

Ekserjetik yaklaşımlar son yıllarda teknolojilerin yanında yenilenebilir enerji kaynaklarına da uygulanmıştır. Buna örnek olarak Rusya’ da güneş radyasyonu başlıca termal, fotoelektrik ve fotosentetik olmak üzere üçe ayrılarak yapılan çalışmada bu üç güneş radyasyonunu ölçebilen bir alet geliştirmişlerdir ve kullandıkları bu ölçüm aletiyle SOLEX 1-04 güneş ekserjisini ölçmüşlerdir (Sventitskii ve Grishin, 2009).

Güneşten yayılan enerji 63 MW/m^2 dir. Güneş ışınımını azalma katsayısı 2.16×10^{-5} dir. Böylece dünyamızın dışına gelen enerji 1353 W/m^2 dir ki bu da güneş sabiti olarak bilinir. Ancak çeşitli durumlara bağlı olarak bu değer % 6,9 oranında değişebilmektedir. Ekserji verimliliği, sistem konusunda ve durumu hakkında bilgi vermesi bakımından enerji verimliliğinden daha üstündür. Enerji verimliliği, termodinamiğin birinci kanununa dayanırken ekserji ise ikinci kanununa dayanmaktadır. Çünkü ekserji, sistemin çevresiyle denge durumunda yapabileceği maksimum işi vermektedir.

Maksimum ekserji verimliliği ile alakalı yeni bir yaklaşım ve denklem Zamfirescu ve diğ. (2009) tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada teorik verimlilik limiti olan 0.853 ün geçilebileceği izah edilmiştir. Ayrıca çevre sıcaklığının ekserji ve enerji verimliliğine % 15' e kadar etki edebildiği gösterilmiştir. Isı iletimindeki iyileştirmelerle verimin artacağıda ayrıca hesaplanmıştır (Zamfirescu ve diğ., 2009).

Hindistan'da yapılan bir çalışmada bir binanın üzerinde güneşe bakan 35° eğimli PV sistemler yerleştirilmiştir. Ancak bu sistemlerin verimliliğini arttırmak için PV'nin alt kısmı boş bırakılmış böylece sistemin altından hava akışı sağlanarak sıcaklığın azaltılması hedeflenmiştir. Buna ek olarak pillerin bir kısmı seri bir kısmı paralel şekillerde bağlanmıştır. Sisteme giren, çıkan enerji ve sıcaklıklar hesap edilmiş. Bu değerler üretilen elektrik ile kıyas edilince sonuç olarak seri bağlanan pillerin enerji ve ekserji bakımından daha verimli olduğu ortaya konmuştur (Agrawal ve Tiwari, 2010).

Literatürde görece yeni olan ekserji analizi üzerine çok sayıda çalışma bulunmaktadır ancak ekserji tahmini üzerine olan çalışmalara nadiren ulaşılmıştır. Şahin ve diğ. (2006) rüzgar enerjisi ekserji haritaları yapmışlardır. Bu haritalar rüzgar güç sistemlerinin alansal verimliliğini vermesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın önemli bir eksikliği düşünülen sistemin ölçüm değerlerinden ziyade fiziksel denklem temellerine dayanmasıdır. Bu tezde yapılacak olan ekserjetik alansal çalışmada ise ölçüm verileri kullanılacaktır. Bunun dışında İran'da yapılan çalışmada moleküler tanımlayıcılar kullanılarak standart kimyasal ekserji tahmin edilmiştir. Kullanılan yöntemler ise çoklu regresyon ve genetik algoritmalar yöntemleridir. Yapılan karşılaştırmada genetik algoritmalar kullanılması kısa

zamanda $R^2 = 0.9982$ gibi başarılı bir sonuç vermiştir (Gharagheizi ve Mehrpooya, 2007).

1.2.5 Alansal modelleme

Ölçüm yapılan noktadaki verinin çalışma yapılacak alanda kullanılması üzerine uygulanan veri interpolasyon yöntemleri temelde üç ana katagoriye ayrılabilir: Deterministik, Probabilistik (olasılık) ve diğer metodlar. Özellikle diğer metodlar meteoroloji için geliştirilmiştir.

Deterministik Metodlar:

- En yakın komşu ve üçgenleme
- Ters mesafe oranları
- Çok terimli fonksiyonlar
- Doğrusal regresyon
- Yapay sinir ağları

Probabilistik Metodlar:

- İdeal interpolasyon
- Normal Kriging
- Basit Kriging
- Co-kriging
- Evrensel Kriging
- Kalanlı Kriging
- Eşikli Kriging
- Olasılıklı Kriging
- Ayrıcı Kriging
- Katmanlı Kriging

Diğer Metodlar

- Homojenleştirilmiş veriye dayalı meteorolojik interpolasyon (MISH)

Macar meteoroloji servisi tarafından geliştirilen bu program normal dağılımlı değişkenlere (sıcaklık) adaptif formüllerini, yarı lognormal dağılımlı değişkenlere (yağış) çoklu formüllerini uygulamakta ve kriging yöntemlerini kullanmaktadır (Url-1, 2010).

- Bağımsız açısal modelin regresyonlu parametre eldesi (PRISM)

Amerika’ daki Oregon Devlet Üniversitesi tarafından geliştirilen bilgi tabanlı bir modeldir. Buradaki bilgi kelimesi modeli tam olarak karşılamamaktadır ancak sistem bir nevi yapay zeka algoritması ihtiva eder. Amerika Birleşik Devletlerinin resmi iklim verileri bu model tarafından oluşturulmaktadır (Sluiter, 2009).

1.2.6 Jeostatistiksel alansal – zamansal modelleme

Yarıvaryogram, noktasal toplam yarıvaryogram ve bunların temeline dayanan Kriging yöntemleri sabit bir zamanda alansal çalışmalar için kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlere ilaveten çalışılacak noktalar arasında zamana bağlı bir ilişki kurma yaklaşımı ise çok eski bir yöntem değildir. Alansal-zamansal yaklaşımın ilk örneklerine ise Deutsch ve Preiffer (1981), Bilonick (1985), Myers (1990) Hasslett ve Raftery (1989) Polyak ve diğ. (1994), Cesare ve diğ. (2001) çalışmalarında rastlanmaktadır.

Jeostatistiğin uygulama alanlarından olan hazne (rezerv) merkezlerinin tespitinin aksine, meteoroloji, hidroloji ve atmosfer bilimlerinde, deterministik ve probabilistik modellerin kullanımına ihtiyaç vardır. Jeostatistiğin çoğu uygulamaları uzay (alan) bağımlılığına yoğunlaşmış durumdadır. Ancak çok az da olsa zaman bağımlılığı ile ilişki kurulmuş çalışmalar vardır. Zamanın ihmal edilmesinin birçok sebebi bulunmakla birlikte öncelikle, zamansal bağımlılık genelde zaman serileri ve ayrıca jeostatistikle azda olsa ilişkili olan Fourier yöntemleri ile ele alınmıştır. İkinci olarak varyogram veya kovaryans modellemesi ile izotropik durumlarda kolay hesaplama yapılabilmektedir (Şahin, 2001).

Alansal zamansal modelleme literatürde Bilonick ve Nichols’ün 1983 ‘te New York için yağış üzerine yaptıkları makale ile ki ilk hedefleri bu olmamakla beraber başlamaktadır. İlk başta yaptıkları zaman serisi analizi ile değişkenler arasında bir trend bulamamışlardır. Daha sonra Bilonick bu çalışmanın üzerine devam edip kriging ve yarıvaryogram yöntemlerini kullanarak 1983, 1985 ve 1988’ de yaptığı çalışmalarla gerçek bir alansal-zamansal modelleme yapmıştır (Smith, 2003).

Atmosferde boyları 2.5 mikro metreden küçük kirleticilerin diğer meteorolojik değişkenlerle olan bağlantısı da göz önünde bulundurularak oyun teorisi

uygulamalarında kullanılan Bayes yaklaşımı kullanılarak alansal zamansal modellemesi yapılmıştır (Choi ve diğ., 2009).

Meteorolojide alansal zamansal modelleme için en büyük problem kullanılabilir güvenli verinin eksik oluşudur. Ancak bu kayıp ve eksik veri için geliştirilen çeşitli yöntemlerle problem ortadan kalkmış gibidir. Kayıp verileri tamamlamak için tercih edilen modeller ise Otoregresif eklenik kayan ortalamalar (ARIMA) modeli çoklu zaman serisi için, alan zaman otoregresif (STAR) modellerde tek bir alan zaman serileri için kullanılmaktadır (Griffith, 2010). Ancak bu yöntemlere ek olarak Markov zinciri modelini kullanarak eksik verileri tamamlayan yada sentetik veri türetilen çalışmalarda bulunmaktadır (Decker, 2008).

Meteorolojik değişkenlerin birbirlerine konumsal etkilerini inceleyen alansal modelleme için kullanılan diğer yöntemlerde filtreleme yöntemleridir ki en meşhurları Eigenvector alansal filtreleme ve Kalman filtreleridir (Griffith, 2010).

Kriging metodları zamansal modelleme yaparken kovaryans fonksiyonuna eğri uydurma esnasında ortaya çıkan hatalar sebebiyle alansal modellemelerde yüksek tahminler üretmektedir. Bunun tam tersi olarakta semivaryogramlarda dağılım fonksiyonuna eğri uydururken hatalardan dolayı bir problem oluşmadığından alansal tahminlerde de bir problem oluşmamaktadır (Richard, 1995).

Meteorolojik verilerin interpolasyonu bütün bilimsel çalışmalar için büyük bir önem arz etmektedir. Meteorolojik veriler istendiği zaman aranan kalitede bulunamamaktadır. Bu yüzden çeşitli interpolasyon yöntemleri mevcuttur. Bir verinin interpolasyonu için eğer bu veriyle yüksek korelasyona sahip diğer bir veri beraber kullanılırsa daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Marmara bölgesinin güneyi için yapılan bir çalışmada ordinary kriging ve ordinary co-kriging yöntemleri ile beraber yağış verisinin interpolasyonu için yükseklik verileri kullanılmıştır. Sonuç olarak yumuşak geçişli ve gerçeği daha iyi temsil eden haritalar elde edilmiştir (Öztürk ve Batuk, 2010).

1.2.7 Weather resarch and forecast (WRF) SHT modeli

Rüzgar tahmininde sayısal hava tahmin modellerinin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bundan dolayı bu tezde WRF modeli kullanılacaktır. Diğer model

alışmalarına rnek olarak Bremnes (2004)'in Hirlam modeli ile yaptığı çalışmaya bakılabilir.

Amerika' daki USGP de kurulan ve kurulması gereken rüzgar türbini tarlalarındaki rüzgar kaymasını hesaplamak için yapılan çalışmada WRF modeli kullanılmıştır.

WRF' un fizik parametreleri ise şu şekildedir:

- Birinci moment üç sınıflı mikrofizik
- Hızlı radyatif transfer uzun dalga radyasyon parametrizasyonu
- Dudhia kısal dalga radyasyon şeması
- Yonsei niversitesi gezegen sınır tabaka şeması
- Noah alan-yüzey modeli
- Kain-Fritsch kümülüs parametrizasyonu

Bu çalışmada iki test yapılmış ve 36 ya 12 km lik. Aşağı 1 km de 7 seviye olmak üzere toplamda 35 seviyede çıktı alınmış. Nisan 2006 ile Mart 2007 arasındaki 337 günü içeren bir zaman diliminde model çalıştırılmış. 3 saatlik ve 24 saatlik tahminler kullanılmıştır. Daha sonra iki haftalık periyotlar için çeşitli PBL parametreleri değıştirilerek model yeniden çalıştırılmıştır. Sonuçları test etmek için 50, 75 ve 100 metrede ölçüm yapılan Sweetwater, TX' da kurulu bir ölçüm direğinin verileri kullanılmıştır.

WRF'un 100 metredeki verisiyle ölçülmüş rüzgar değıeri karşılaştırılınca yn bakımından hataların yüksek olduğu, ancak 50 metredeki ölçümle WRF'un çıktısının yönünün uyuştuğu gözlenince 50 metre rüzgarı üzerine yoğunlaşılmıştır. Bu çalışmada model ıktıları 3 saatlik, gözlem verileri ise 10 dakikalık ortalamalardır.

Ölçülen değıerler ve modelden elde edilen veriler ışığında alfa parametresi 1/7 den büyük çıkmaktadır. Rüzgâr kayması katsayısının günlük salınımı ise WRF de daha yumuşak bir eğriye sahip iken gözlem verilerinininki ise oldukça farklıdır.

Değıişik parametreler kullanılarak alınan çıktıların tamamında model gün içindeki rüzgar kaymasını yakalamaktadır. Tabi ki kullanılan parametrelere bağlı olarak gecelik içindeki rüzgar kayması katsayılarının tutarlılığı değıismektedir. Mesela MYJ, QNSE ve ACM2 PBL parametreleri kullanıldığında tahmin değıerleri yüksek çıkarken YSU PBL parametresinde ise tahmin değıeri düşüktür. MYJ, QNSE, VE

ACM2 PBL yöndeki değişimi YSU ya nispetle daha fazla hesaplamıştır (Storm and Basu, 2010).

Yapılan çalışmada rzgrın hem yatayda hem de düşeydeki değişiminin tahmini üzerinde durulmuş ve WRF'un 20 metre civarındaki (+/- 1 değişime sahip) ıktısıyla 18 metredeki gözlem verisi karşılaştırılmıştır.

Model karşılaştırılırken çözünürlük; 40km, 13.3 km, 4.4 km, 1.47 km ve 490 m' ye kadar inilmiş ve znrlgn Rüzgar tahminindeki en iyi çözünürlük 13.3 km de olduğu gözlemlenmiştir.

Rüzgar tahminlerinin zamansal ölçek önemi düşünüldüğünde çok kısa tahminler yani 1 sn'den 1 dakikaya kadar, trbın kontrolünde önem taşırken 48-72 saatlik tahminler enerji ticaretinde. 5-7 günlük tahminler ise bakım, onarım ve çeşitli planlamalarda değer kazanmaktadır.

Lundquist ve diğ. (2008) yılında yaptıkları çalışmada bir çok rüzgar iftliğinin planlanandan % 20 daha az elektrik ürettiği ve 20-25 yıllık kullanım süresi olan trbınler için 4-5 yılda rüzgar kayması ve türbülans yüzünden eskiyip, kullanılamaz hale geldiklerini ifade etmişlerdir (Lundquist ve diğ., 2008).

G. Kore'de yapılan bir çalışmada MM5, WRF ve RAMS modelleri karşılaştırılmıştır. Moon ve diğ. (2005) tarafından modellerden MM5'in 3.6, WRF'un 2.0.3 ve RAMS'in ise 4.4 versiyonu kullanılmış ve 2004'n 5 Mart'ı için çalıştırılmışlardır.

Sonuç olarak modeller izelge 1.5'te karşılaştırılmışlardır (Moon ve diğ., 2005). Buna göre

Çizelge 1.5 : MM5, WRF ve RAMS modelleri için doğrulama istatistikleri

	KORELASYON KATSAYISI			BIAS			RMSE		
Model	MM5	RAMS	WRF	MM5	RAMS	WRF	MM5	RAMS	WRF
Hava Sıcaklığı	0,76	0,772	0,774	1,107	-0,086	0,001	5,431	4,146	4,363
Rüzgar şiddeti	0,274	0,299	0,401	0,794	1,355	2,207	11,653	12,796	15,617

Risø-DTU’da WRF kullanılarak Avrupa için yapılan bir çalışmada rüzgar şiddetleri ve yönleri üzerinde yapılan tahminlerde model çıktıları ile yer ve uydu ölçümleri karşılaştırılmış, model temsil edilebilirliği yüksek sonuçlar vermiştir (Hahmann ve diğ., 2010).

Yedi farklı sınır tabaka parametresi kullanılarak yapılan model çalışmasında ise kısa vadeli tahminler (0-30) için, çıktılar 116 ile 160 m’lerdeki ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Yonsei Üniversitesi gezegen sınır tabaka şeması (YSU) sınır tabaka parametresi kullanıldığında istenen verim alınamamıştır. Geceleri rüzgârı yüksek, gündüzleri ise düşük tahmin etmiştir. YSU dışındaki diğer sınır tabaka şartların sonuçları ise gayet makul seviyededir.

WRF’un en iyi şekilde rüzgarı tahmin etmesi için parametrizasyonu yapılmaya çalışılmış ve sınır tabakaların aşağı seviye rüzgarları için çok önemli bir rol oynadıkları görülmüştür.

Bu çalışmada ilginç olan bir yaklaşım ise toprak nemi parametresinin de rüzgar tahmini için modelde kullanılan önemli değişkenlerden biri olmasıdır.

Sınır tabaka parametreleri için MYNN2, MYNN3, QNSE tavsiye etmekte ancak yapılan çalışmada sadece modele bağlı kalınmıştır modelin çıktıları ile ölçüm değerleri karşılaştırılarak yorum yapılmıştır. Model ölçüm değerleri arasında bir ilişki kurularak modelin sonuçları düzeltilmemiştir (Draxl ve diğ., 2010).

Yapılan diğer bir çalışmada İsviçre’ nin Alpleri için güneş ışıyım tahmininde persistans ve WRF modeli karşılaştırılmıştır. Model çıktılarının persistans çıktılarına oranla daha başarılı olduğu görülmüştür (Müller ve diğ. 2009).

2. KURULAN SİSTEM

2.1 İTÜ Meteoroloji Parkına Kurulan Sistemler ve Özellikleri

Tezde yapılan hesaplamaların temelinde TÜBİTAK 107M331 numaralı projeye dayalı olarak kurulan sistem yatmaktadır. Bu ölçüm düzeneğinde 1 rüzgar türbin sistemi, 1 fotovoltaik sistem ve yer meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Sistem hakkındaki detaylı bilgi aşağıda verilmektedir.

2.2 Rüzgar Enerji Sistemi ve Özellikleri

Sözü geçen bu proje kapsamında, yerden 17 metre yükseklikte Unitron marka rüzgar türbini kurulmuştur ve modeli ise UE15'tir. Bu türbine ait özellikler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : İTÜ Meteoroloji Parkına kurulan rüzgar türbininin bazı özellikleri

Açıklama	Özellik
Nominal Güç	1500W
Nominal Güce Ulaşma Hızı m/s / mph	10,5 / 25
Pik Üretim	1750W
Devreye Girme Hızı m/s / mph	2,7/ 6
Kutuplar RPM - 50hz RPM - 60hz	10 / 600 / 720
Rotor Çapı	3,20m/ 11 ft
Kanat Sayısı	3
Kanat Malzemesi	Karbon Fiber Bileşim
Taranan Alan	9,2 / 95 Sq.m / sq.feet
Devreden Çıkış Hızı	27mph
Devreden Çıkış	Elektro Dinamik Anahtar
Birim Ağırlık	34 Kg
Jeneratör	PM 3 fazlı alternatör
Ulaşılan Voltaj	12 – 240 HV/LV
Garanti	2 yıl
Kullanım Süresi	20 yıl
Maksimum Rüzgar	55 m/s

Bunun yanında rüzgar türbinleri için büyük öneme sahip olan rüzgar şiddeti-güç değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : UE 15’ in farklı rüzgar şiddetlerinde üretim değerleri

Rüzgar Şiddeti (m/s)	UE 15 Güç Üretimi (W)
2,2	16
2,7	37
3,1	64
3,6	98
4,0	142
4,5	178
4,9	239
5,4	288
5,8	338
6,3	396
6,7	456
7,1	496
7,6	538
8,0	574
8,5	654
9,0	785
9,4	905
9,8	1040
10,2	1146
10,7	1198
11,2	1435
11,6	1566
12,0	1756

Bu çalışmanın önemli bir adımı rüzgar türbinlerinden kaynaklanan gerek akış gerekse mekanik kayıpların bulunmasıdır. Bu kayıpların sahada tespiti için rüzgar

türbini farklı bir şekilde dizayn edilmiştir. Rüzgar türbini rotor alanının önüne ve arkasına meteorolojik değişkenleri ve değişimleri incelemek üzere aletler yerleştirilmiştir. Bu aletler;

- Anemometre (Rotor alanı önü ve arkası, 2 adet)
- Sıcaklık ölçer (Rotor alanı önü ve arkası, 2 adet)
- Bağıl nem (Rotor alanı önü ve arkası, 2 adet)
- Rotor alanı önü ve arkası basınç farkları (1 adet)

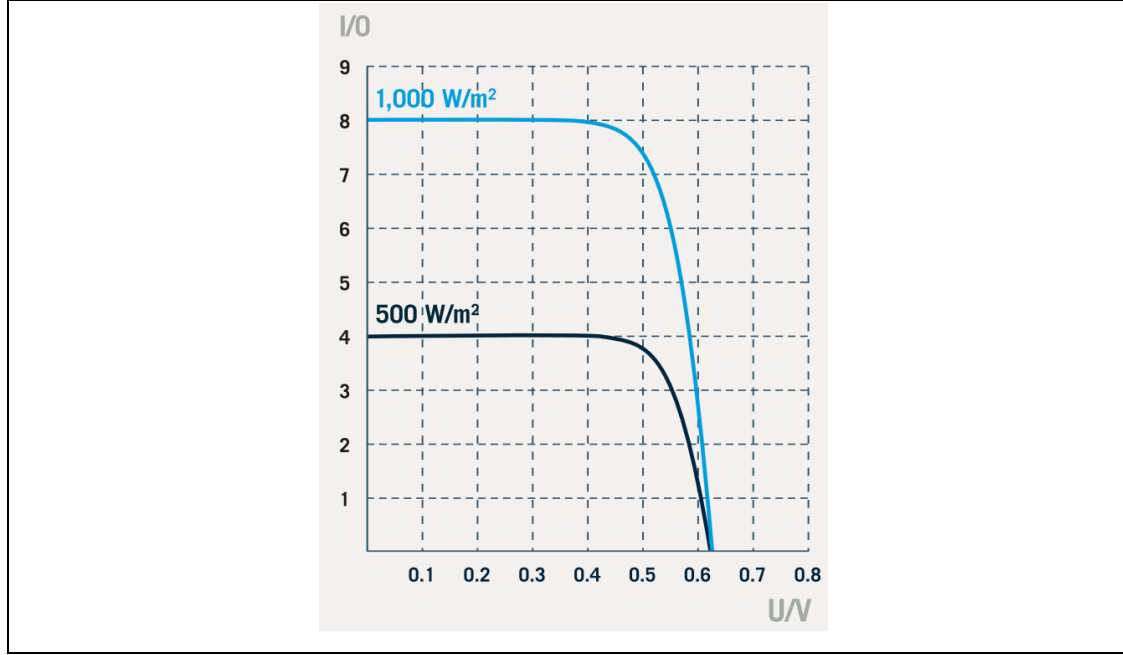
Bu değişkenlerin yanında türbin jeneratör bölgesinin iç sıcaklığını ölçmek üzere 1 adet sıcaklık ölçer yerleştirilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Rüzgar türbini için kurulan sistem

2.3 Güneş Enerji Sistemi (PV) ve Özellikleri

Enerji ve ekserji çalışmalarının yapıldığı diğer bir sistem ise fotovoltaik panellerdir. Bu paneller 6 adet 125 W_p' lık Qcell firmasına ait fotovoltaik pillerden oluşmaktadır. Bu PV lere ait güç eğrisi Şekil 2.2 de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Kurulan PV sisteminin akım-voltaj eğrisi

Anemometre olarak sistemde türbinin önünde ve arkasında rüzgar ölçümü yapıldığından bahsedilmiştir. Kullanılan anemometreler NRG markasının #40C modeli olup özellikleri Çizelge 2.3’ te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Kullanılan anemometreler ve özellikleri

Sensör Tipi	3 kepçeli
Ölçüm Aralığı	1 m/s – 96 m/s
Ölçüm Hassasiyeti	5-25 m/s aralığında 0,1 m/s
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-5°C ile 60°C arası

Fotovoltaik sistemde güneş yörüngeli izleme sistemi yerleştirilmiştir. Güneş’ in yükseklik açısına göre konumunu da değiştirmektedir. Bununla birlikte aynı yörüngeyi izlemesi için PV panellerinin tepesine 1 adet pyranometre yerleştirilmiştir. Bu yerleştirme sayesinde panellerin yörünge hareketleri esnasında ne miktarda güneş ışınımına maruz kaldıkları kolaylıkla ölçülebilmektedir. Bunlara ilave olarak PV panellerinin hücre sıcaklıklarını ölçmek maksadıyla kızılötesi termometre sistemi yerleştirilmiş ve yörüngesel değişimlerde sürekli olarak hücre sıcaklık değerleri ölçülmüştür (Şekil 2.3). Bu sistemde kullanılan aletlerin özellikleri Çizelge 2.4’ te verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Rüzgar türbini ve PV sistemlerinde kullanılan aletler ve özellikleri

Alet	Özellik
Datalogger:	Comet System'in 16 kanallı MS5D modeli kullanılmıştır
Basınç Farkı Ölçümü:	DeltaOHM firmasının HD408T modeli kullanılmıştır.
Direkt Güneş Işınımı Ölçümü:	Direk ışınımı ölçmek için DeltaOHM firmasının LP PYRA 02, diffüz ışınımı ölçmek için ise LP PYRA 12 modeli kullanılmıştır.
Diffüz Güneş Işınımı Ölçümü:	
Sıcaklık Ölçümü:	Comet System'in T1110 modeli kullanılmıştır.
Nem Ölçümü:	
Sıcaklık ve Nem Siperleri:	Young firmasının 41003 modeli kullanıldı.
Takip Sistemi:	Lorentz firmasının Etatrack active 400 modeli kullanıldı.
Solar Regülatör:	Morningstar firmasının prostar-30 modeli kullanıldı.
İnverter:	Arttonic firmasının ART Power 3000 modeli kullanıldı.



Şekil 2.3 : Fotovoltaik paneller için kurulan sistem

Bilindiği üzere güneş ışınlmında direkt ve diffüz bileşen bulunmaktadır. Bu çalışma çerçevesinde gelen diffüz ışınlmını ölçmek üzere Çizelge 2.4'te özellikleri verilen diffüz ışınlmını ölçen pyranometre yerleştirilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Diffüz ışınlm ölçer

2.4 Kurulan Yer Meteoroloji İstasyonu ve Veri Saklama Birimi

Bunlara ilave olarak neredeyse bütün meteorolojik değişkenleri ölçen seyyar sayılabilecek küçük otomatik bir meteoroloji istasyonu da kurulmuştur. Bu istasyon özellikler eksik veri tamamlanmasında işe yaramaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Otomatik meteoroloji istasyonu

İTÜ Meteoroloji Gözlem Parkında kurulan rüzgar-güneş hibrit sisteminin bütün parametre ve bileşenlerinin (meteorolojik ve elektriksel) okunabileceği ve üretilen elektriğin depolanması gereken bir toplam sisteme ihtiyaç vardır. Bunun için rüzgar ve güneş sistemlerinin ürettikleri elektriğin akım ve gerilim değerlerinin okunduğu bir ekran yerleştirilmiştir. Bu ekranda aynı zamanda türbin ön rüzgar ve arka rüzgar değerleri, güneş paneline gelen ışınım, hücre sıcaklığı vd. parametreler okunabilmektedir. Bu sistem oluşturulurken rüzgardan üretilen AC elektriğini DC elektriğine çeviren converter , aynı zamanda akülerdeki DC elektriğini AC'ye çeviren inverter bulunmaktadır. Bunun yanında güneş panellerinde üretilen düşük verimli DC elektriği daha yüksek gerilimli DC'ye çeviren şarj regülatörü de bulunmaktadır. Kurulan sistemde akülerin toplam saklama kapasitesi 4.8 kW'tır. Bu sistemde toplamda 17 farklı değişken ölçümü yapılmıştır.

Bütün bunların yanında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) gözlem istasyonlarının verilerinden faydalanılmıştır. Bu istasyonların detayı Çizelge 2.5’te verilmiştir.

Çizelge 2.5 : DMİ istasyonlarının bilgileri

İstasyon Numarası	İstasyon Adı	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükseklik (m)
17610	Şile	4110	2936	83
17059	Kumköy	4115	2902	38
17636	Florya	4059	2847	37
17063	Sabiha G.	4053	2918	99
17060	Atatürk M.	4058	2849	32
17061	Kireçburnu	4109	2903	58
17051	Çorlu	4108	2755	160
17122	Yalova M.	4041	2923	13

3. YÖNTEM

Tezde rüzgar ve fotovoltaik sistem ekserjileri ile ilgili yapılan hesaplamalarda temel olarak Şahin ve diğ. (2005) ve (2006a) tarafından ortaya konan rüzgar ve güneş ekserji yöntemleri kullanılacaktır. Yapılan hesaplamaların alansal olarak istenen bir noktaya taşınması ise Şen (1989) tarafından önerilen noktasal toplam yarıvaryogram yöntemi ile yapılacaktır. Enerji ve ekserji hesaplaması yapılacak nokta için meteorolojik değişkenler WRF modeli tarafından üretilen değerlerdir. Ancak bu model çıktıları ise DMİ den elde edilen gözlem verileri ile karşılaştırılmış olup ölçülen değerler ile modelde hesaplanan değerler arasında kurulmaya çalışılmıştır.

3.1 Rüzgar Ekserji Analizi

Birden fazla giriş ve çıkışı olan bir kontrol hacminde daimi (sürekli) akışta hal değişimi için Termodinamiğin Birinci Yasası, birim zamandaki enerji dengesi göz önüne alınarak

$$\sum_g \dot{m}_g (h + ke + pe)_g - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} (h + ke + pe)_{\zeta} + \dot{Q} - \dot{W} = 0 \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eşitlik (3.1)'de yer alan $\dot{Q}$ sistem sınırında birim zamandaki net ısı geçişi, $\dot{W}$ kontrol hacmi için birim zamandaki net iş, $\dot{m}$ kütleli debi, h entalpi, ke ve pe birim kütle başına kinetik ve potansiyel enerji, g ve ζ alt indisleri giren ve çıkan anlamına kullanılmaktadır.

Birden fazla giriş ve çıkışı olan bir kontrol hacmi ile P_0 basıncı ve T_0 sıcaklığındaki bir ısı enerji deposu (thermal reservoir) gibi davranan çevresi arasında ısı geçişi söz konusu olabilir. Bu kontrol hacminde sürekli akışlı hal değişimi için Termodinamiğin İkinci Yasası,

$$\dot{S}_{üre} = \sum_g \dot{m}_g s_g - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} s_{\zeta} + \frac{\dot{Q}_{\zeta ev}}{T_0} \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Eşitlik (3.2)'de yer alan $\dot{S}_{üre}$ bu hal değişimi için birim zamandaki entropi üretimi, $\sum_g \dot{m}_g s_g$ ve $\sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} s_{\zeta}$ kütle giriş ve çıkışıyla kontrol hacmine giren ve çıkan entropi, $\dot{Q}_{\zeta ev} = -\dot{Q}$ sistem sınırının sıcaklığı T_0 olan sistem sınırında çevreye birim zamandaki ısı geçişi, $\dot{Q}_{\zeta ev}/T_0$ ise ısı geçişi nedeniyle birim zamanda entropi transferi anlamına kullanılmaktadır.

Denklem (3.1) ve (3.2)'de yer alan ısı geçişi terimleri yok edilerek bu hal değişimi için birim zamandaki gerçek iş ifadesi elde edilebilir. Seçilen kontrol hacimlerinin sınırlarının söz konusu sistemlerin gerçek fiziksel sınırlarına eşit ve rijit (sabit) kabul edilmesi, ayrıca sistemle çevresi arasında başka bir iş etkileşimi olmaması durumunda birim zamandaki gerçek iş ifadesi aynı zamanda birim zamandaki yararlanılabilir iş ifadesine eşit olur. Birim zamandaki yararlanılabilir iş ifadesinde birim zamandaki entropi üretimi terimi sıfıra eşit yani hal değişiminde entropi üretimi yok kabul edilmesi halinde yararlanılabilir işin maksimumu (tersinir iş) ifadesi elde edilir. Sistemde bir giriş ve bir çıkış olması halinde bu kontrol hacmi için birim kütle başına maksimum yararlanılabilir iş ifadesi

$$w_{y,max} = (h_g - h_{\zeta}) - T_0(s_g - s_{\zeta}) + ke + pe \quad (3.3)$$

şeklinde elde edilebilir.

Nükleer ve kimyasal reaksiyonlar ile elektriksel, manyetik ve yüzey gerilimi etkilerinin ihmal edilmesi ile yapılan tu türetimle elde edilen Denklem (3.3)'de giriş halini alt indis kullanılmaksızın mevcut hale ve çıkış halini ise akışkanın (0 alt indisi ile gösterilen) çevre koşullarındaki hali ile değiştirilirse bir akışkan akımı (stream) için (birim kütle başına) ekserji ifadesi

$$ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + ke + pe \quad (3.4)$$

şeklinde elde edilebilir. Bu ifade aynı zamanda potansiyel ekserji ifadesini de vermektedir.

Birden fazla giriş ve çıkışı olan bir kontrol hacminde sürekli akışta hal değişimi için birim zamandaki ekserji dengesi

$$\sum_g \dot{m}_g ex_g - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} ex_{\zeta} + \dot{E}x^Q - \dot{E}x^W - \dot{I} = 0 \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eşitlik (3.5)'de yer alan $\dot{E}x^Q$ ve $\dot{E}x^W$ sistem sınırında ısı ve iş etkileşimleri esnasında birim zamandaki net ekserji transferleri ve $\dot{I}$ birim zamandaki tersinmezlik anlamına kullanılmaktadır (Dincer and Rosen, 2005).

Birim zamandaki tersinmezlik ise

$$\dot{I} = T_0 \dot{S}_{üre} \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilebilir.

3.1.1 Rüzgar ekserji analizi

Rüzgar enerjisi için ekserji analizlerinde potansiyel ekserji (potansiyel enerji) değişimi ihmal edilebileceği ve kinetik ekserji (enerji) değişimi de elektriksel işe eşitlendiği için rüzgarın (birim kütle başına) ekserjisi (Şahin ve diğ., 2006b).

$$ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + ke \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabilir. Rüzgar düşünüldüğünde rotor alanı önündeki akış ile çevrenin entalpi, entropi değerleri eşit ve potansiyel enerji de sıfır olacağından maksimum elde edilebilir iş ifadesi kinetik enerji potansiyeli olacaktır. Bu durumdaki bir akışkan akımı için ekserji ifadesi

$$ex = ke \quad (3.8)$$

şeklini alacaktır. Bilindiği gibi rüzgar enerjisi formülasyonu kinetik enerji temeline dayanmaktadır. Birim alan ve zaman için rüzgar enerjisi potansiyel enerji formülü aynı zamanda rotor alanına giren ekserjiyi ifade edecektir. Buna göre birim alan ve zaman için rotor alanı öndeki ekserji değeri

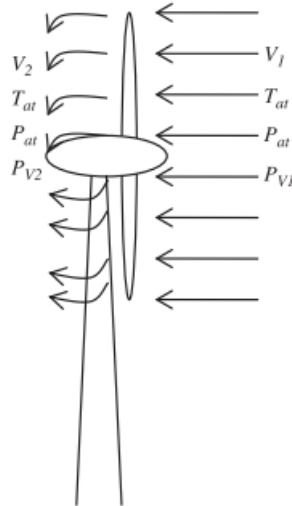
$$E_{x_1} = E_{pot.} = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (3.9)$$

şeklini alacaktır. Rüzgar ekserji analizlerinde, bir giriş ve bir çıkış olduğu ve havanın türbin kanatlarına girmeden önceki (girişteki) hali 1 indisi ile ve kanatlardan geçtikten sonraki (çıkıştaki) hali ise 2 indisi ile gösterilerek Eşitlik (3.5)

$$\begin{aligned} \dot{E}x_2 - \dot{E}x_1 &= \dot{m}(ex_2 - ex_1) \\ &= \dot{m} \{ [(h - h_0) - T_0(s - s_0) + ke]_2 - [(h - h_0) - T_0(s - s_0) + ke]_1 \} \\ &= \dot{m} [(h_2 - h_1) - T_0(s_2 - s_1) + (ke_2 - ke_1)] \\ &= \dot{E}x^Q - \dot{E}x^W - \dot{I} \end{aligned} \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bu çalışmada, 1 hali türbin kanatlarına girmeden önce bütün meteorolojik değişkenler için havanın özellikleri, 2 hali ise yine havanın kanatlardan geçtikten sonraki özellikleri ile temsil edilmektedir (Şekil 3.1). Örneğin, T_1 akan havanın kanatlardan önceki sıcaklığı iken, T_2 ise kanatlardan çıkan havanın sıcaklığını temsil etmektedir.



Şekil 3.1 : Türbini etkileyen değişkenlerin giriş ve çıkışlarının gösterimi

Rüzgar türbini için Eşitlik (3.7)'de yer alan birim zamandaki toplam entalpi değişimi

$$\dot{m}(h_2 - h_1) = \dot{m}c_p(T_2 - T_1) \quad (3.11)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir.

Eşitlik (3.7)'de yer alan rüzgar türbininden geçen havanın birim kütle başına entropi değişimi, havanın ideal gaz ve özgül ısısının sabit olduğu varsayılarak

$$\Delta s = s_2 - s_1 = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (3.12)$$

şeklinde yazılabilir. Kinetik enerji değişimleri ise giriş ve çıkıştaki hızlardan yararlanılarak yazılabilir.

Rüzgar ekserji analizlerinde, $\dot{m}$ kütsel debisi ile hareket eden rüzgarın birim zamanda yaptığı işle ilgili ekserji terimi birim zamanda üretilen elektriksel işe (birim zamanda üretilen elektrik enerjisine) eşitlenerek

$$\dot{E}x^W = \dot{W}_{elektrik} \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Rüzgar enerjisi için ekserji analizlerinde, sürekli akışta hal değişimi için birim zamandaki entropi üretimi Denklem (3.2)'den

$$\dot{S}_{üre} = \dot{m}(s_2 - s_1) - \frac{\dot{Q}_{kayıp}}{T_0} \quad (3.14)$$

şeklinde yazılabilir.

Rüzgar enerjisi için ekserji analizlerinde, birim zamandaki tersinmezlik Eşitlik (3.6), (3.11) ve (3.12)'den yararlanılarak

$$\dot{I} = T_0 \left\{ \dot{m} \left[c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \right] - \frac{\dot{Q}_{kayıp}}{T_0} \right\} \quad (3.15)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadedeki T_0 rüzgar türbini çevresindeki havanın atmosferik sıcaklığıdır.

Buraya kadar türetilen bağıntılardan yararlanılarak Eşitlik (3.10)

$$\dot{E}x_2 - \dot{E}x_1 = \dot{m} \left[c_p (T_2 - T_1) - T_0 \left[c_p \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) - R \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \right] + (ke_2 - ke_1) \right] \quad (3.16)$$

Şekline dönüştürülebilir. Burada birinci terim entalpi değişimini, ΔH verirken, ikinci terim düşünülen sistem için entropi üretimi, ΔS ve son terim ise kinetik enerji değişiminden dolayı üretilen elektriği, $E_{\text{üretilen}}$ ifade edecektir. Bu durumda ekserji verimliliği

$$\psi = \frac{\dot{E}x_2 - \dot{E}x_1}{\dot{E}x_1} \quad (3.17)$$

şeklinde karşımıza çıkacaktır. Bu denklemlerin yerine yerleştirilmesiyle

$$\psi = \frac{\dot{m} \left[c_p (T_2 - T_1) - T_0 \left[c_p \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) - R \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \right] + (ke_2 - ke_1) \right]}{\dot{E}x_1} \quad (3.18)$$

Geliştirilen bu modelin detaylarına ve yapılan uygulama çalışmasına Şahin ve diğ. (2006a) yaptıkları araştırmada ulaşılabilir. Şahin ve diğ. (2006a) da yaptıkları çalışmada türbin kanatlarının arkasındaki rüzgar, sıcaklık ve basınç değerleri için bazı yaklaşımlarda bulunulmuştur. Bu yaklaşımlar ölçüme dayanmadığı için sorun oluşturabiliyordu. Burada ise sistem ölçüme dayanmaktadır.

3.2 Fotovoltaik Pil (PV) Ekserji Analizi

Fotovoltaik piller genelde silikondan yapılmaktadır. Dünya yüzeyinde en çok bulunan ikinci madde silikondur. Foton enerjisini elektriğe dönüştüren her bir maddenin belirli dalga boyu aralığında elektriğe dönüştürme kabiliyetleri (bandgap) vardır. Silikonun bandgap değeri 1.1 eV'tur yani silikon 1.2 μm (cutoff) ve daha

küçük dalga boylarındaki ışınımı elektriğe dönüştürebilmektedir. Bu cutoff dalga boyu üzerindeki ışınım silikon tarafından elektriğe dönüştürülemeden ısıya dönüştürülmektedir. Kısacası 1.2 μm 'den yüksek ışınımlarda büyük kayıplar oluşmaktadır.

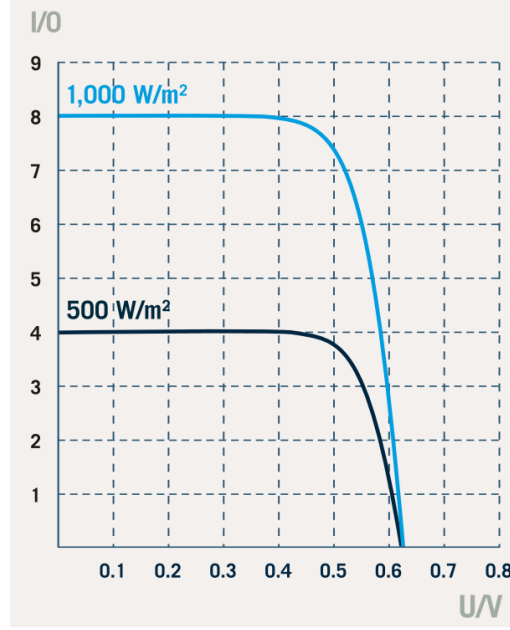
PV'lerde elektrik üretiminde etkili olan temel parametreler şunlardır:

1. Gelen güneş ışınımının yoğunluğu
2. Güneşlenme süresi
3. Güneşin geliş açısı
4. En uygun verimlilik sıcaklığı
5. Kullanılan malzemenin yapısı.

Fotovoltaik sistemde güç dönüşüm faktörü (Fill Factor) bazen verimlilik ile karıştırılır ve bu kullanım bazı zorluklara yol açmaktadır. Fotovoltaik pillerin verimliliği toplam üretilen elektrik ile o alana gelen global güneş radyasyon miktarının oranıdır. Bu tanımlamada sadece fotovoltaik piller tarafından üretilen elektrik hesaba katılmaktadır. Fotovoltaik pilleri etkileyen diğer bileşenlerden olan hücre sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve hücrenin kimyasal bileşenleri hesaba doğrudan katılmamaktadır.

Fotovoltaik pillerde verimlilik radyatif enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile ölçülür. Üretilen güç çıkış voltaj değeri ve fotovoltaik cihazın akım çıkış değerine bağlı eğriler (I-V eğrisi) ile hesaplanabilmektedir. Bu dönüşüm verimi, sabit güneş ışınımı şartlarında bile sabit olmayabilmektedir. Maksimum güç çıkışı “fill factor” ile sınırlandırılmış olup fotovoltaik sistemdeki maksimum güç dönüşüm verimini vermektedir.

Dolum çarpanı (fill factor, FF) belirli bir ışınım altındaki akım-gerilim eğrisinde, Denklem (3.19)'da ifade edildiği gibi akımların olmadığı, gerilimlerin maksimum veya gerilimlerin olmadığı, akımların maksimum olduğu bölgede hesaplanan en büyük $V_{mp} \times I_{mp}$ değerinin $V_{oc} \times I_{sc}$ ye oranı olarak tanımlanır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Fotovoltaik sisteme ait güç eğrisi. Bu güç eğrisi standart toplam güneş ışınlamı (1000 W/m^2 , 25°C sıcaklık şartlarında geçerlidir.)

$$FF = (V_{mp} \times I_{mp}) / (V_{oc} \times I_{sc}) \quad (3.19)$$

Güneş pilinin çıkış gücü, $P_{\text{çıkış}}$, bu değişkenler cinsinden,

$$P_{\text{çıkış}} = V_{mp} \times I_{mp} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (3.20)$$

şeklinde verilebilir.

Bir güneş pilinin üretim verimliliği, n , fotovoltaik gözenin üzerine düşen güneş ışınlamı gücünün, gözeden alınabilecek güce oranı olarak tanımlanır.

$$N = (P_{\text{çıkış}} \times I_{mp}) / (V_{\text{giriş}} \times I_{sc}) = (V_{oc} \times I_{sc} \times FF) \quad (3.21)$$

Güneş pillerinin verimliliklerinin ölçüldüğü, “Standart Test Koşulları” güneş pili 25°C de iken, atmosferik kütle 1.5 güneş spektrumuna sahip 1000 W/m^2 güneş ışınlamı altında yapılan ölçümdür. Bulutsuz ve güneşli bir günde 1200 W/m^2 ye varabilen bu değer, bulutlu günlerde $200\text{-}800 \text{ W/m}^2$ arasında değişmektedir.

Enerji ve Ekserji Verimleri:

■ η = Enerji üretimi/Toplam enerji girişi

■ ψ = Ekserji üretimi/Toplam ekserji girişi olarak kabul edelim

Enerji dengesi açısından (3.1) denklemindeki dönüşümler düşünüldüğünde PV'lerde rüzgar türbinlerinin aksine entalpi, entropi ve kimyasal dönüşümler etkili olacaktır.

$$ex = [(h - h_0) - T_0(s - s_0)] + \left[\sum_j (\mu_{j0} - \mu_{j00}) x_j \right] \quad (3.22)$$

Fiziksel ve kimyasal ekserji bileşenleri ayrık olarak düşünüldüğünde; entalpi değişimi denklem (3.23) ile ifade edilir.

$$\Delta H = c_{ps}(T_{cell} - T_{amb}) \quad (3.23)$$

Burada ΔH entalpi değişimi (J/kg); T_{amb} çevre sıcaklığı ve T_{cell} ise fotovoltaiik hücre sıcaklığını ifade etmektedir. Entropi üretimi ise denklem (3.24) ile ifade edilir.

$$\Delta S = c_{ps} \ln\left(\frac{T_{cell}}{T_{amb}}\right) - \frac{Q_{loss}}{T_{cell}} \quad (3.24)$$

Burda, ΔS entropi değişimi olup Q_{loss} fotovoltaiik pilden olan ısı kaybını ifade etmektedir. Isı kaybı denklem (3.25) ile ifade edilir.

$$Q_{loss} = c_{ps}(T_{cell} - T_{amb}) \quad (3.25)$$

c_{ps} değeri fotovoltaiik pillere yani silikona ait özgül ısı değeridir.

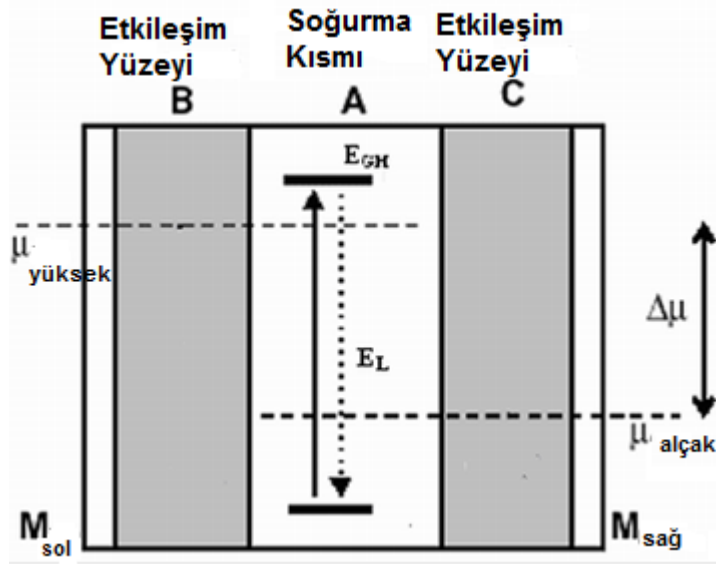
Bu durumda, PV pil hücresinin toplam fiziksel ekserjisi; üretilen elektrik miktarı Entalpi, Entropi ve Isı kayıplarının toplamı şeklinde ifade edilebilir.

$$Ex_{physical} = E_{GH} + c_{ps}(T_{cell} - T_{amb}) + T_{amb} \left(c_{ps} \ln\left(\frac{T_{cell}}{T_{amb}}\right) - \frac{Q_{loss}}{T_{cell}} \right) \quad (3.26)$$

Denklemin sağındaki ilk terim, E_{GH} elektronun yüksek enerji içeriğinde üretilen elektriği ifade eder. İkinci ve üçüncü terimler entalpi ve entropi katkılarını göstermektedir.

Ekserjetik yaklaşım açısından belki de en zor tanımlanabilecek kısımdır. Genel anlamda fotovoltaik enerji dönüşümü iki adımda ifade edilebilir

- Elektronik yük oluşumu için elektronun ışık tarafından uyarılması.
- Elektron yüklerinin ayrışması (separation.)



Şekil 3.3 : Fotovoltaik sistemlerde enerji farkı oluşumu

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi iki seviyeli bir sistemde elektron sıçraması düşük enerji seviyesi E_L 'den yüksek enerji seviyesi E_H 'a doğru olmaktadır. Tekrar geri eski seviyesine dönmesiyle ani olarak E_L seviyesinde düşük enerjili elektron oluşturulacak ve enerji değerleri arasında $\Delta\mu$ miktarında bir farklılık görülecektir. Sistemdeki termal eşitliğin bozulmasıyla birlikte şekilde görüldüğü gibi kimyasal potansiyeller arasında farklılık oluşacaktır (Şekil 3.3).

$$\Delta\mu = \mu_H - \mu_L \quad (3.27)$$

Termodinamik açıdan bu seviyeler arasındaki fark Carnot çevrimine bağlı olarak sınırlandırılacaktır. Bu durumda Carnot çevrimi, açık-devre voltajında üst seviye kimyasal potansiyeli aşağıdaki denkleme dayalı olarak verecektir.

$$\Delta\mu = (1 - \frac{T_{cell}}{T_p})[(E_{GH} - E_L)] \quad (3.28)$$

Denklem (3.28)'da T_{cell} fotovoltaik pilin sıcaklığı iken T_p ise güneşin sıcaklığıdır ve E_{GH} elektronun yüksek enerji seviyesinde enerji içeriği olup E_L ise elektronun daha düşük seviyelerdeki enerji içeriğidir.

Maksimum güç kısa devre akımı, I_{sc} ve açık devre voltajı, V_{oc} değerlerine bağlı olmaktadır.

Carnot çevrimine göre düşündüğümüzde E_{GH} 'ı eğrisel bir alan yerine dikdörtgen alanı olarak düşünebiliriz. Bu durumda kimyasal enerji farkları denklemi

$$\Delta\mu = (1 - \frac{T_{cell}}{T_p})[V_{oc}I_{sc} - V_mI_m] \quad (3.29)$$

(3.29) şeklinde yazılabilir.

Daha öncede belirtildiği gibi verimlilikte maksimum güç PV sistemlerinde yaklaşık olarak V_{oc} ve I_{sc} civarında elde edilebilmektedir. Fakat termodinamik perspektifte hesaba katılmayan bütün bileşenler (I-V) eğrilerinde hesaba dâhil edilmelidir.

Sonuçta güneş fotovoltaik pillerin genel ekserji formülü şu olacaktır (3.30).

$$Ex = Ex_{physical} - (q_{sc}V_{oc} - q_LV_L) \frac{T_{cell}}{T_p} \quad (3.30)$$

Fotovoltaik pilin güç dönüşüm verimliliği η_{pce} , E_L ve S_T 'nin fonksiyonu olarak aşağıdaki (3.31) şekilde ifade edilebilir

$$\eta_{pce} = \frac{E_L}{S_T} = \frac{V_mI_m}{S_T} \quad (3.31)$$

Burada S_T saatlik ölçülen toplam güneş ışıınımını ifade etmektedir. Güneş pilinin güç dönüşüm verimliliği “fill factor” (FF) ifadesine göre denklem (3.32) ile ifade edilebilir.

$$\eta_{pce} = \frac{FF \times V_{oc} I_{sc}}{S_T} \quad (3.32)$$

Fotovoltaik pilin (PV) ekserji verimliliğini elde etmek için güneş ışınımının ekserjisine ihtiyaç bulunmaktadır. Carnot sınırlamasına göre güneş ışınımının ekserjisi (3.33) ile ifade edilir

$$E_{xsolar} = S_T \left(1 - \frac{T_{amb.}}{T_{sun}}\right) \quad (3.33)$$

Sonuç olarak ekserji verimliliği, ψ

$$\psi = \frac{Ex}{E_{xsolar}} \quad (3.34)$$

şeklinde kısaca ifade edilebilir. Daha önce de bahsedildiği gibi PV'lerin enerji verimlilikleri, η sadece üretilen elektriğe, E_{gen} ve yüzeye gelen toplam güneş ışınımı miktarı olan S_T 'ye bağlı idi. Bu durumda enerji verimliliği (3.35) ile ifade edilir

$$\eta = \frac{E_{GH}}{S_T} \quad (3.35)$$

PV ve güneş ışınımının ekserji terimlerinin yerlerine yerleştirilmesiyle ekserji verimliliği

$$\psi = \frac{Ex_{physical} - (q_{sc} V_{oc} - q_L V_L) \frac{T_{cell}}{T_p}}{S_T \left(1 - \frac{T_{amb.}}{T_{sun}}\right)} \quad (3.36)$$

(3.36) şeklinde ifade edilebilir ve (3.26) denklemindeki fiziksel ekserji terimlerinin de denklemdeki yerine yerleştirilmesiyle PV'lerin ekserji verimliliği

$$\psi = \frac{\left[E_{GH} + c_{ps}(T_{cell} - T_{amb}) + T_{amb} \left(c_{ps} \ln\left(\frac{T_{cell}}{T_{amb}}\right) - \frac{Q_{loss}}{T_{cell}} \right) \right] - \left[(q_{sc}V_{oc} - q_LV_L) \frac{T_{cell}}{T_p} \right]}{S_T \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right)} \quad (3.37)$$

Denklem (3.37)'de görüldüğü gibi ekserji verimliliği sistemin performansını anlama bakımından enerji verimliliğinden daha detaylı ve sistemi anlamaya yönelik sonuçlar verecektir. Bu denklemde pay fotovoltaiiklerdeki ekserji verimliliğini gösterirken payda ise güneş ışıınının ekserjetik değeriini vermektedir. Fotovoltaiiklerde ekserji verimliliğıyle ilgili detaylı bilgiye ve uygulamaya Şahin ve diğ. (2006a) yaptıkları araştırma çalışmasında ulaşılabilir. Şahin ve diğ. (2006a) yaptıkları çalışma çok kısa süreli bir veri setine dayanmaktadır. Ekserji verimliliğinde bütün dış kayıplar ve içsel tersinmezlikler görülmekte ve bunun sonucunda da sistemde verim artırma yoluna gidilebilmektedir. Burda olduğu gibi çoğu zaman içsel tersinmezlikleri ifade etmek dış kayıpları belirlemekten çok daha zor olmaktadır.

3.3 Alan-Zaman Tahminleri

Meteorolojik değışkenlerde alansal ve zamansal tahminler çok önemlidir. Zamansal tahmin için istatistiki birçok yöntem mevcuttur genelde AR, ARMA, ARIMA, Markov Süreçleri vb. kullanılmaktadır. Alansal yöntemler; yüzey geçirme(fitting), amprik doğrusal interpolasyon, istatistik objektif analiz ve değışintili (variational) yöntemlerdir. Haritalamada isegenelde Kriging yöntemi kullanılmaktadır. Son yıllarda bilgisayar hesaplamalarındaki gelişme sonucu alansal ve zamansal modellemeler için sayısal hava tahmin modelleri kullanılmaktadır. Bunların çıktıları ile çalışılan alandaki değışkenler kıyaslanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada sayısal hava tahmin modelinden alınan çıktılar ile jeoistatiksel yöntemler vasıtasıyla ölçüm noktalarındaki değeriiler ile kıyaslanmaktadır. Bu kıyaslamada kullanılan jeoistatiksel yaklaşımın temeli ise üzerinde çalışılan değışken referans noktasına ne kadar yakınsa o kadar benzerdirler mantığıdır. Mesafe arttıkça benzerlikte azalır, yani ters bir orantı vardır (Matheron, 1965. Şahin, 2001).

Alansal modellemelerde kullanılacak olan noktasal toplam yarıvaryogram (NTYV) yöntemidir.

3.4 Noktasal Toplam Yarıvaryogram Modeli

Düzgün dağılımın olmadığı yani gerçek hayattaki ölçüm noktalarını düşündüğümüzde Şen (1989) tarafından önerilen noktasal toplam yarı varyogram (NTYV), nokta ile alan arasındaki ilişkiye dayanır. Hesaplamaları varyogram temeline dayanan NTYV, Şen (1989) ve Habib (1998) tarafından çeşitli bilimsel çalışmalarda kullanılmıştır. Rüzgar hızı ve enerjisi verilerine, Şen ve Şahin (1997) tarafından uygulanmıştır. Şen ve Habib (1998), geliştirilen standart alansal bağımlılık (SAB) yaklaşımıyla nokta ve alan tahminleri de yapılabilmektedir.

Yarıvaryogram

$$\gamma(h_i) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_r - X_{hi})^2 \quad (3.38)$$

şeklinde yazılabilir. Bu durumda, $\gamma(h_i) \geq 0$ ve $\gamma(h_{i-1}) \leq \gamma(h_i)$ eşitsizlikleri sağlayacaktır. Mesafe ve NTYV değerlerinin birlikte kullanımına imkan tanımak ve karelerden dolayı büyük değerler alan NTYV değerlerini 0-1 arasına taşıyabilmek için verinin özellikleri aynen korunacak şekilde standartlaştırma yapılmalıdır. Standartlaştırma için her iki veri grubunun herbirisinin en büyük değerine bölmek gerekir. $\gamma(h_n)$ de en büyük yarıvaryogram ve h_n , ise en büyük mesafe değeri olmak üzere;

$$\gamma_{st}(h_i) = \frac{\gamma(h_i)}{\gamma(h_n)} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.39)$$

$$h_{st,i} = \frac{h_i}{h_n} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.40)$$

$$0 \leq \gamma_{st}(h_i) \leq 1 \quad ve \quad 0 < h_{st,i} \leq 1$$

boyutsuz büyüklükleri tanımlanır. Bu hesaplamalarda kendisine yakın istasyonlardan uzağa gidildikçe etki derecesi azalacak ve en sonunda sıfır olacaktır. Bütün mesafeler gözönünde bulundurulduğunda bölgesel bağımlılık fonksiyonu (BBF) oluşacaktır. Etki katsayısı w_i olmak üzere

$$(BBF)_i = w(h_{st,i}) = 1 - \gamma_{st}(h_i) \quad (3.41)$$

ve bu durumda $0 \leq (BBF)_i = w(h_{st,i}) \leq 1$ olacaktır.

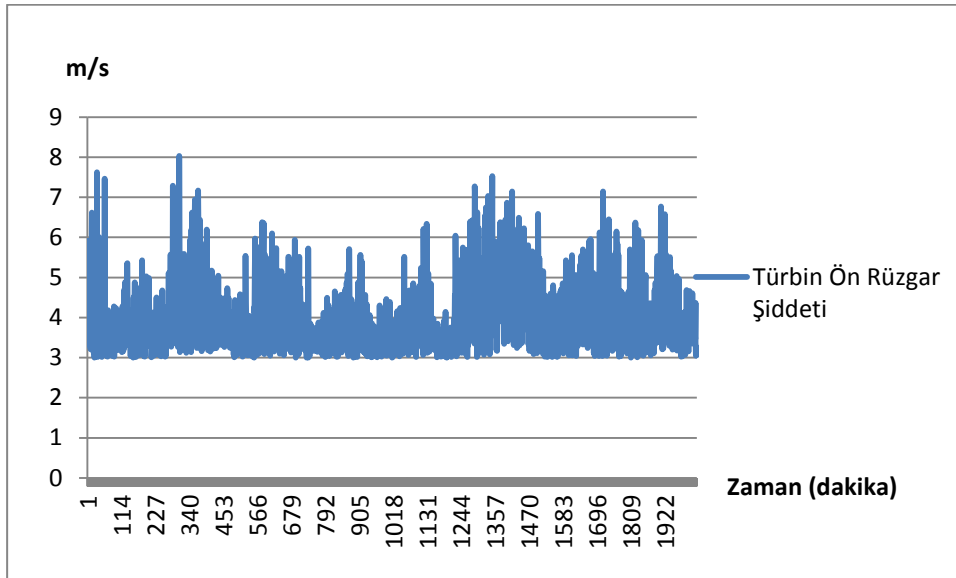
Alan tahmin hesaplamalarında ise tesir katsayılarının veri ile beraber mesafeye bağlı olarak oluşturdukları ağırlıklı ortalamalar kullanılacaktır.

4. UYGULAMA

4.1 Sistem Değişkenlerinin Analizi

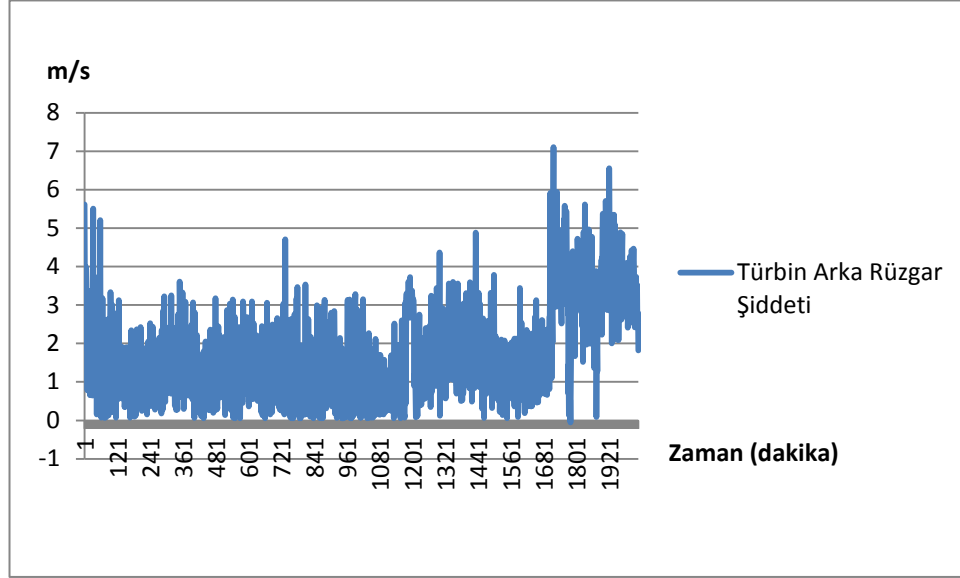
Bu tez çalışması TÜBİTAK 107M331 nolu proje kapsamında İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Gözlem Parkında kurulan Rüzgar-Güneş hibrit sistemine dayanmaktadır. Bölüm 2’de sistem ile ilgili detaylar verilmiştir. Bu bölümde sistem detaylı irdelenecek ve parametreler arası ilişkiler teker teker ele alınacaktır. Bunun ötesinde İstanbul ve çevresi için WRF model çıktıları ile verisi temin edilen yedi istasyonun rüzgar-güneşe dayalı enerji ve ekserji alansal modellemesi gerçekleştirilecektir.

Şekil 2.1’de belirtildiği gibi rüzgar türbininin enerji ve ekserji değerlerini hesaplamak için 17 m de rüzgar türbini önünde rüzgar şiddeti, sıcaklık, bağıl nem ve arkasında da aynı parametreler dakikalık ölçülmüştür. Bunun yanında ön ve arka basınç farkları da dakikalık ölçülmüştür. Bu çalışmada öncelikle türbin kanatlarının yaklaşık 1.5 m önüne yerleştirilen anemometre ile türbin ön rüzgar şiddetleri ölçülmüştür. Şekil 4.1’de türbin ön rüzgar şiddetleri verilmiştir. Burdan da anlaşılacağı üzere zaman zaman 7-8 m/s’ye ulaşan rüzgar şiddetleri gözlemlenmiştir.



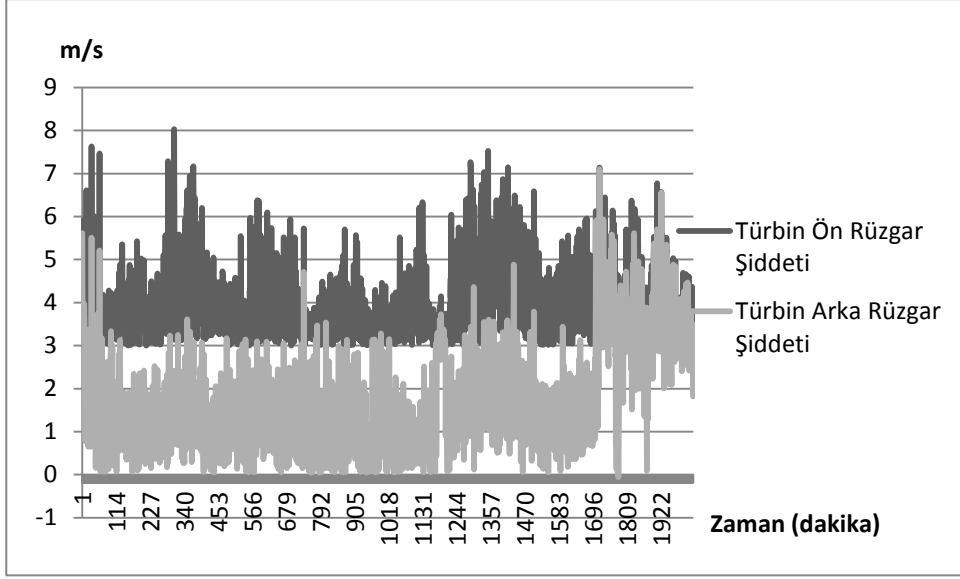
Şekil 4.1 : Türbin ön rüzgar şiddetleri

Bunun yanında aynı güne ait türbin arka rüzgar şiddetleri Şekil 4.2’ de verilmektedir. Bazı durumlarda türbin ön ve arka rüzgar şiddetleri arasında çok farklar olmadığı görülmüştür. Bunun temell sebebi rüzgar şiddetindeki ani yön değişimleridir. Burada görüleceği gibi önemli farklar oluşmuştur özellikle 3 m/s’nin üzerindeki değerlerin genel anlamda 0-3 m/s’nin arasına düştüğü görülmektedir. Bir anlamda türbin rotor alanı gerisinde kullanılabilir şiddette rüzgar kalmamıştır (Şekil 4.2).



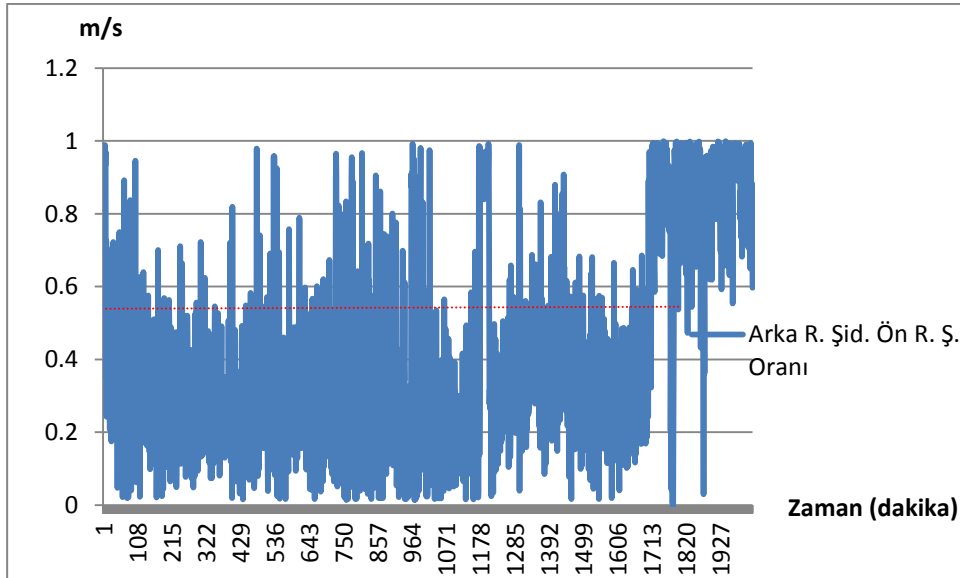
Şekil 4.2 : Türbin arka rüzgar şiddetleri

Bilindiği gibi bir akışın kinetik enerjisinin maksimum % 59’u Betz limitine göre türbin kanatları tarafından kullanılabilir. Şekil 4.3’te görüldüğü üzere % 59’un aşıldığı bir çok zaman olmuştur. Özellikle orta ve yüksek rüzgar şiddetlerinde türbinin kinetik enerji kullanım miktarı azalmaktadır.



Şekil 4.3 : Türbin ön-arka rüzgar şiddetleri

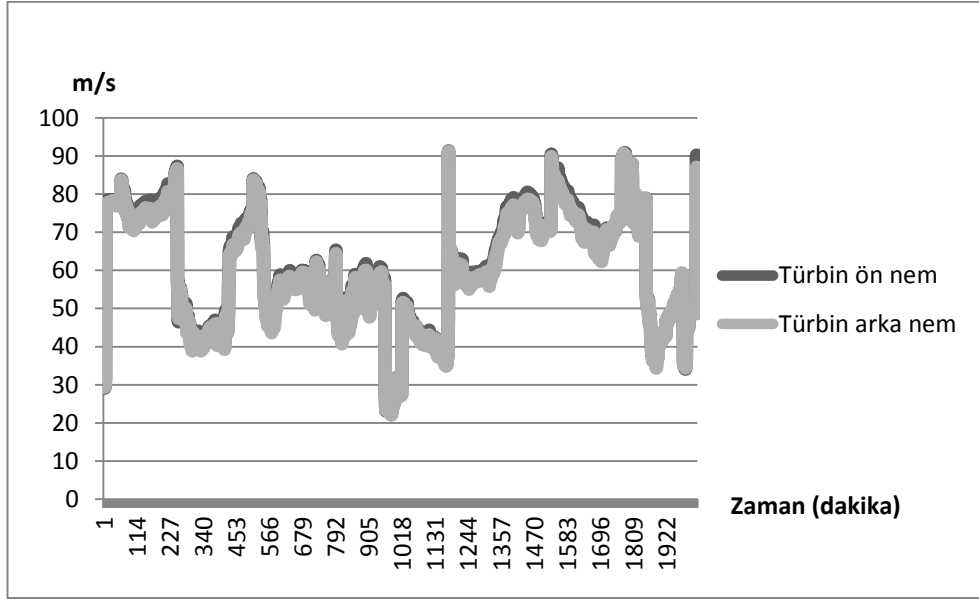
Aslında, türbin ön ve arka rüzgar şiddetleri genel anlamda pek araştırılmamıştır. Türbin ön rüzgarlarının maksimum oranda kullanımı türbinin bir anlamda verimini de etkileyecektir. Bu çerçevede türbin arka rüzgar şiddetlerinin ön rüzgar şiddetlerine oranı hesaplanmış ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Türbin ön rüzgar şiddetleri ve arka rüzgar şiddetleri arasındaki bulunan oran türbin kanatlarının rüzgar kullanım miktarını verecektir (Şekil 4.4).



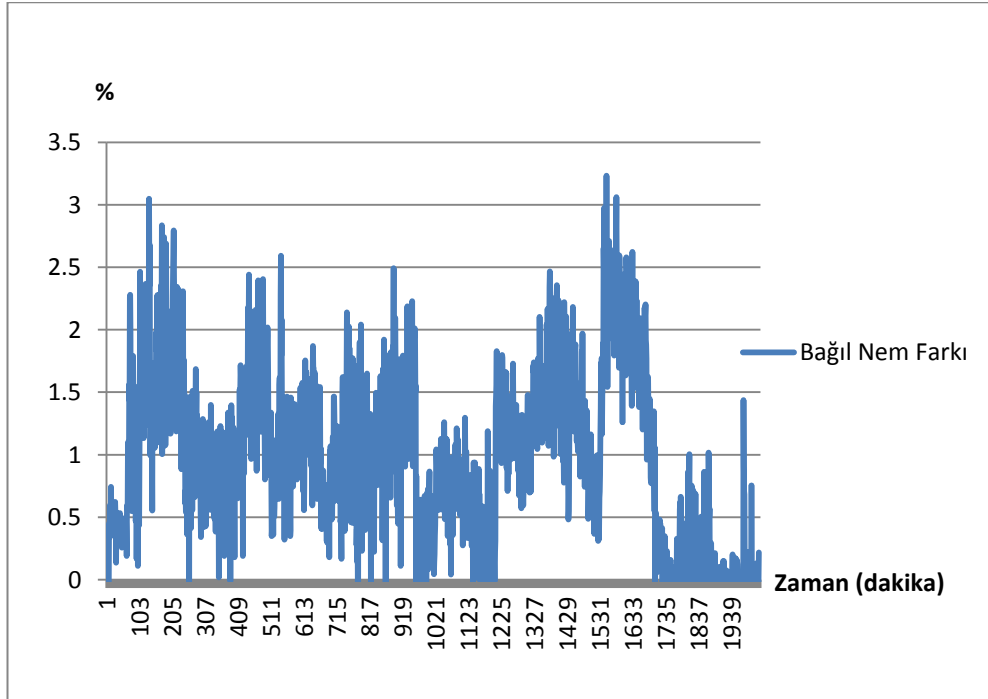
Şekil 4.4 : Arka rüzgar şid./ön rüzgar şid. oranı - zaman

Ön rüzgar ve arka rüzgar şiddetleri yanında aynı seviyelerde bağıl nem değerleri de ölçülmüştür. Buna bağlı olarak çok büyük değişimlerin olmadığı gözlemlenmiştir

(Şekil 4.5). Fakat % 1-3 arasında sık tekrarlanan bağıl fark değerlerideğişimin kayda değer olduğunu göstermektedir (Şekil 4.6). Bu durumda rüzgar turbin kanatlarının türbin arkasına nem taşınımını engellediği anlaşılmaktadır.



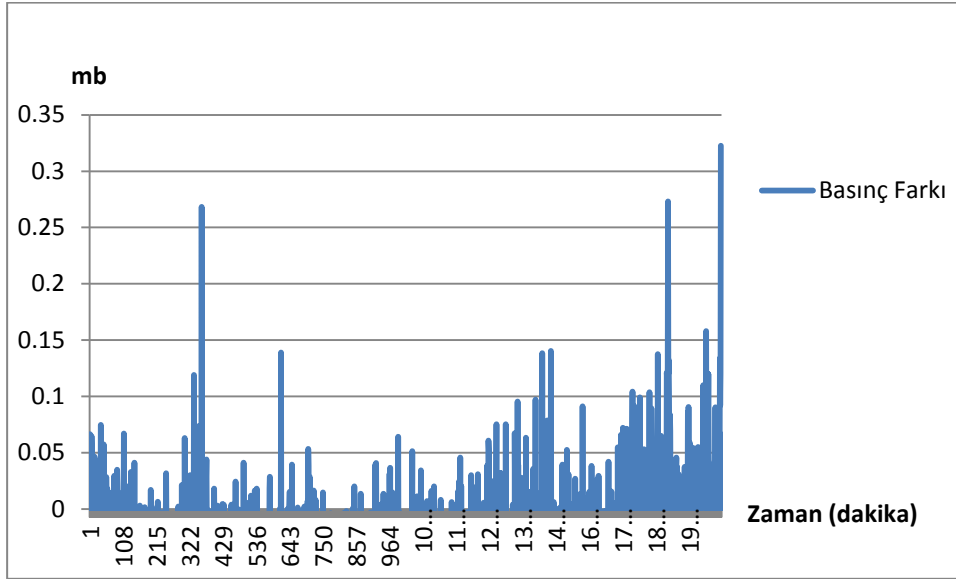
Şekil 4.5 : Türbin ön – arka nem değerleri



Şekil 4.6 : Türbin rotor alanının önü ve arkası bağıl nem bağıl yüzde farkı

Bu değişkenlerle birlikte rüzgar türbini ön ve arka basınç farklarına bakılmıştır. Genelde rüzgar türbini ön basınçları arka basınçlardan daha yüksek çıkmaktadır (Şekil 4.7). Aslında değişkenlerin bu farkları rüzgar enerjisi çalışmalarına yeni

yorumlar katmaktadır. Türbin alanı gerisinde oluşan bağıl nem oranındaki düşüş benzer şekilde basınca yansımaktadır.

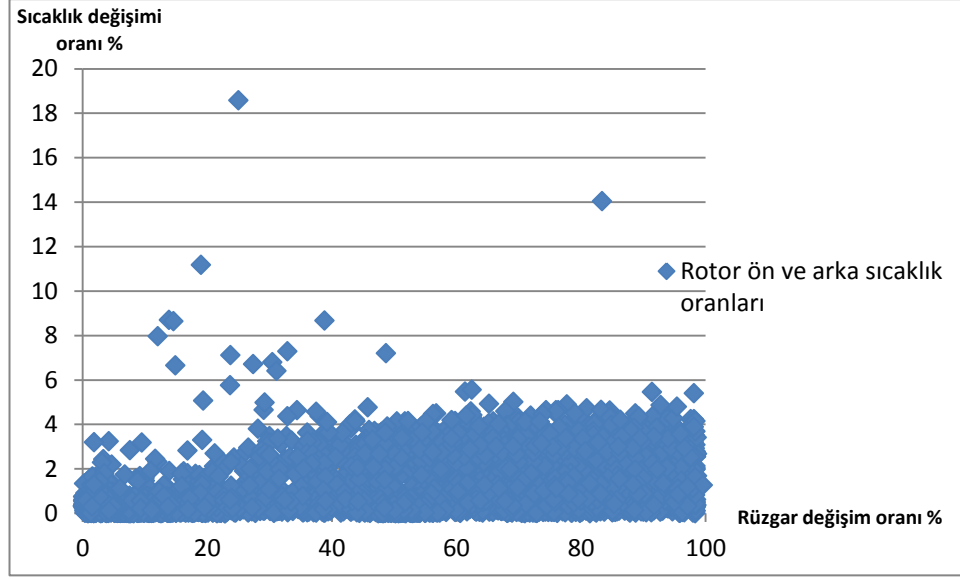


Şekil 4.7 : Türbinin ön ve arkasındaki basınç farkı

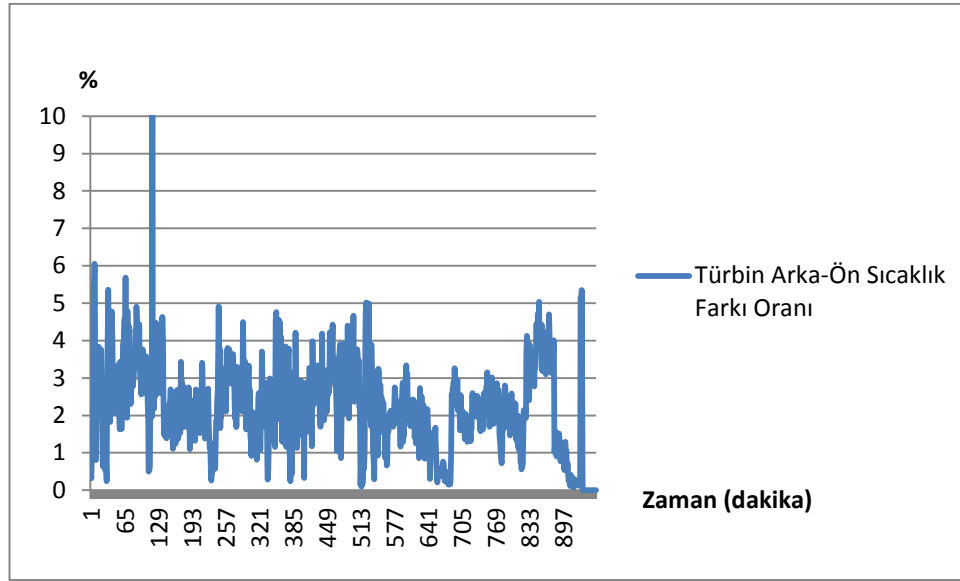
Bu çalışma yapılırken özellikle iki değişken merak edilmekte idi. Bunlardan biri rüzgar şiddeti iken diğeri de sıcaklık farklarıdır. Bilindiği üzere rüzgarın soğutucu etkisi (Wind chill effect) genelde insanlar ve canlılar üzerine yapılan çalışmalarda kabul görmektedir. Arada pervane gibi bir engelleyicinin bulunması durumunda sistem içerisinde sıcaklık farkı oluşmayacağı kabulü gerek termodinamikte gerekse diğer uygulamalarda yaygın olarak bulunmaktadır. Bundan dolayı entropi hesaplamalarında ortalama atmosfer sıcaklığı ile o an ölçülen değerler oranlanmaktadır.

Yapılan bu proje çalışmasında rüzgar türbininin ön ve arkasında yerleştirilen aynı özellikteki termometrelerden sıcaklıklar gözlemlenmiştir (Şekil 4.8). Belirtilen farkların rotor alanı ön ve arkası için yapılan ölçümlerde bağıl fark yöntemine göre bakıldığında bazı zamanlarda %5'i geçtiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.9).Belirtilen türbinin maksimum miktarda rüzgar şiddeti kullanması durumunda bu sıcaklık farkı daha da yükselecektir. Aslında bu durum katı maddeler içinde bir rüzgar soğutucu indeksinin çıkarılması gerektiğini göstermektedir.

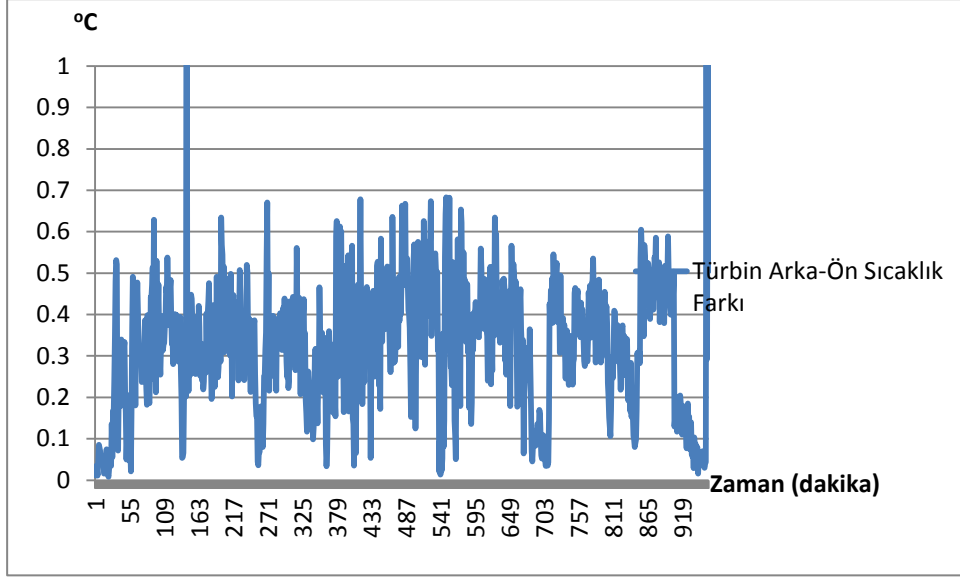
Diğer ölçümlerin yanında rotor ön ve arkasında oluşan sıcaklık farkları teze ayrı bir yenilik getirmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.8 : Rotor ön ve arka sıcaklık değişiminin rüzgar değişimine oranı



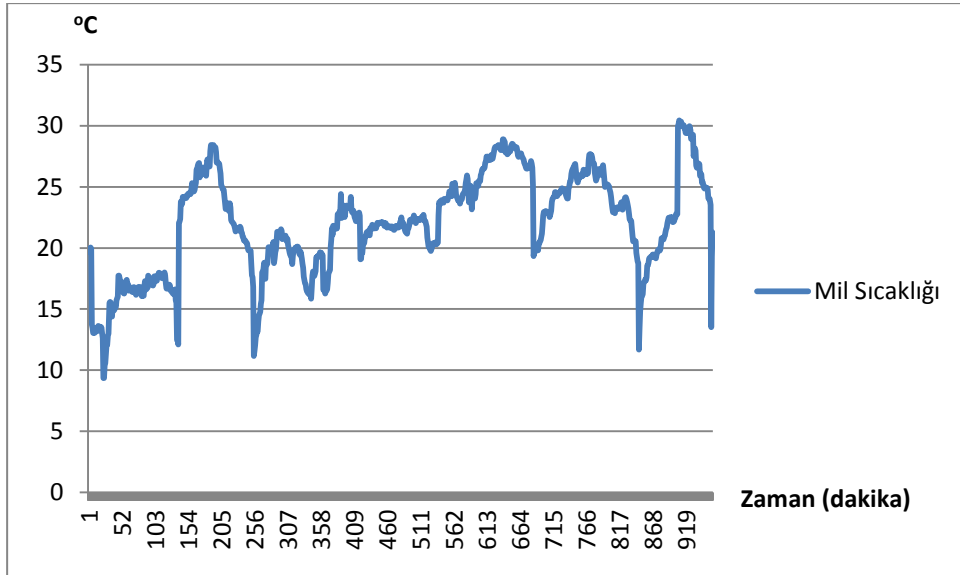
Şekil 4.9 : Türbin ön ve arka sıcaklık farklarının oranı



Şekil 4.10 : Türbin ön ve arka sıcaklık farkları

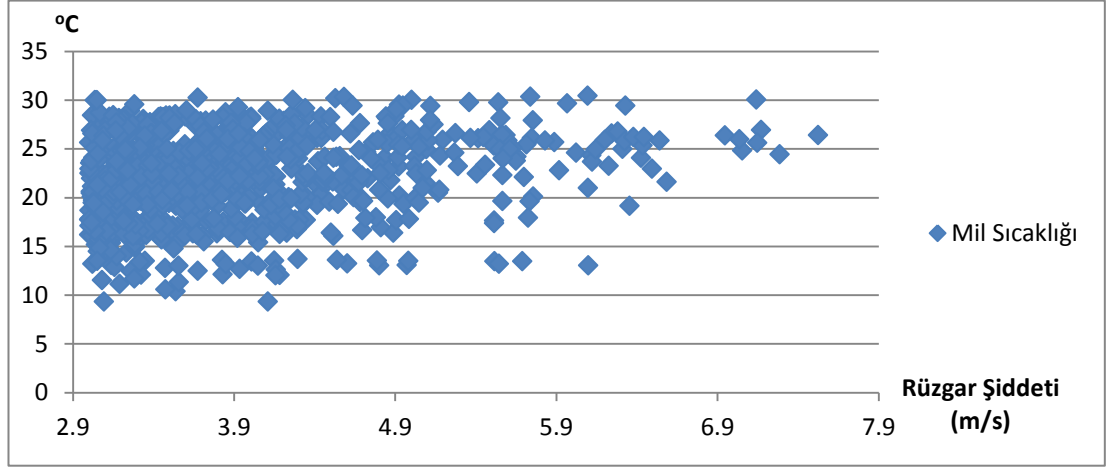
Bu durumda rüzgarın soğutucu etkisi sadece canlılar üzerinde değil aynı zamanda gaz halindeki akışkan üzerinde de yani havada da gözlemlenmiştir. Rüzgar türbinlerine göre rüzgarın soğutucu etkisini ele almak için öncelikle rotor arka ve ön sıcaklıkları ile rüzgar şiddetleri oranlanmış ve ilişkiye bakılmıştır (Şekil 4.8).

Belirtilen bu meteorolojik değişkenler yanında türbine ait değişken olmasından dolayı türbin içi mil sıcaklığı da büyük önem taşımaktadır. Belirlenen bir zaman aralığı için türbin mil sıcaklığının değişimi Şekil 4.11’de verilmiştir.



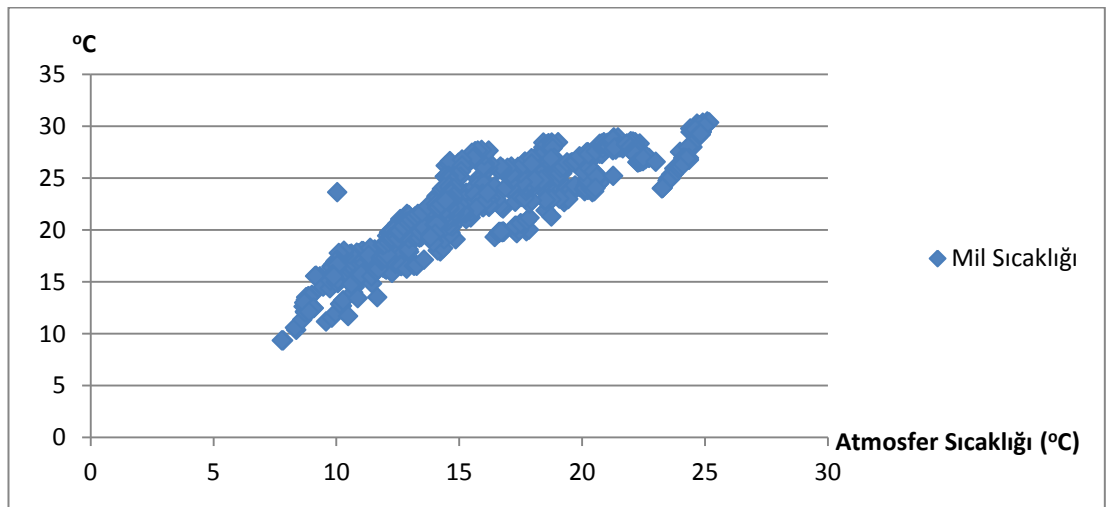
Şekil 4.11 : Türbin mil sıcaklığı

Türbin mil sıcaklığının atmosfer sıcaklığına ve rüzgar şiddetine bağlı değişimi Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir.



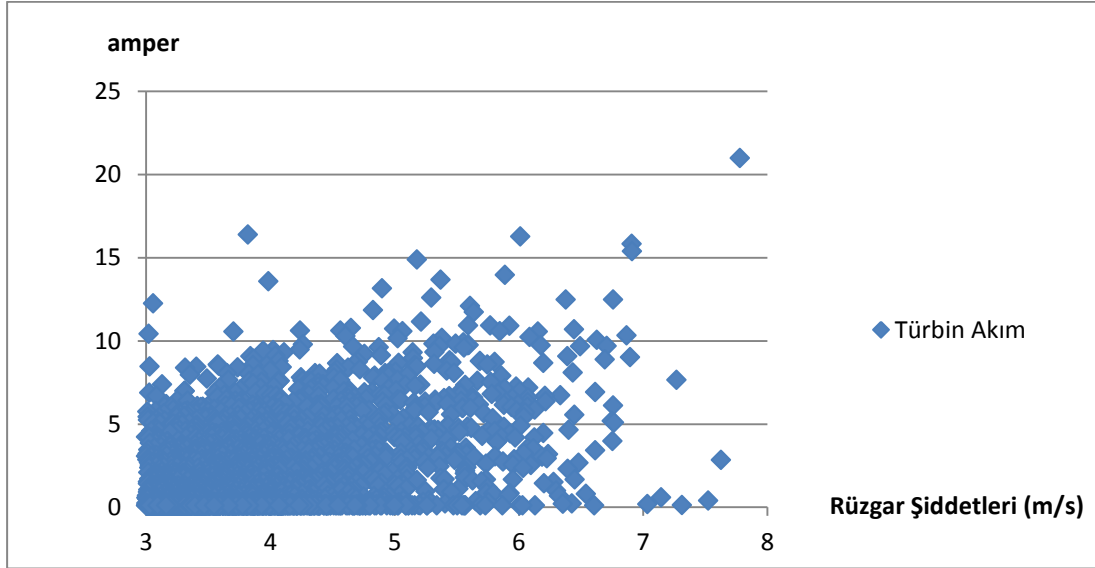
Şekil 4.12 : Mil sıcaklığının – rüzgar şiddetine bağlı değişimi

Şekil 4.12’de görüldüğü üzere düşük rüzgar şiddetlerinde yüksek sıcaklıklar sıklıkla gözlemlenirken yüksek rüzgar şiddetlerinde daha az sıklıkla oluşmaktadır (Şekil 4.12). Bunun yanında rüzgar türbini mil sıcaklıkları atmosfer sıcaklığından 5-10°C daha yüksek olmaktadır (Şekil 4.13). Bu durum termodinamikte önemli bir konu olan entropi bozunumuna neden olacaktır. Bir anlamda türbinde elektrik üretimine harcanması gereken enerji yüksek sıcaklık farkından dolayı ısı olarak dışarıya atılmaktadır. Rüzgar türbinlerinde kayıpların önüne geçmek için bu sıcaklık farklarının en aza indirgenmesi gerekmektedir (Şekil 4.13).

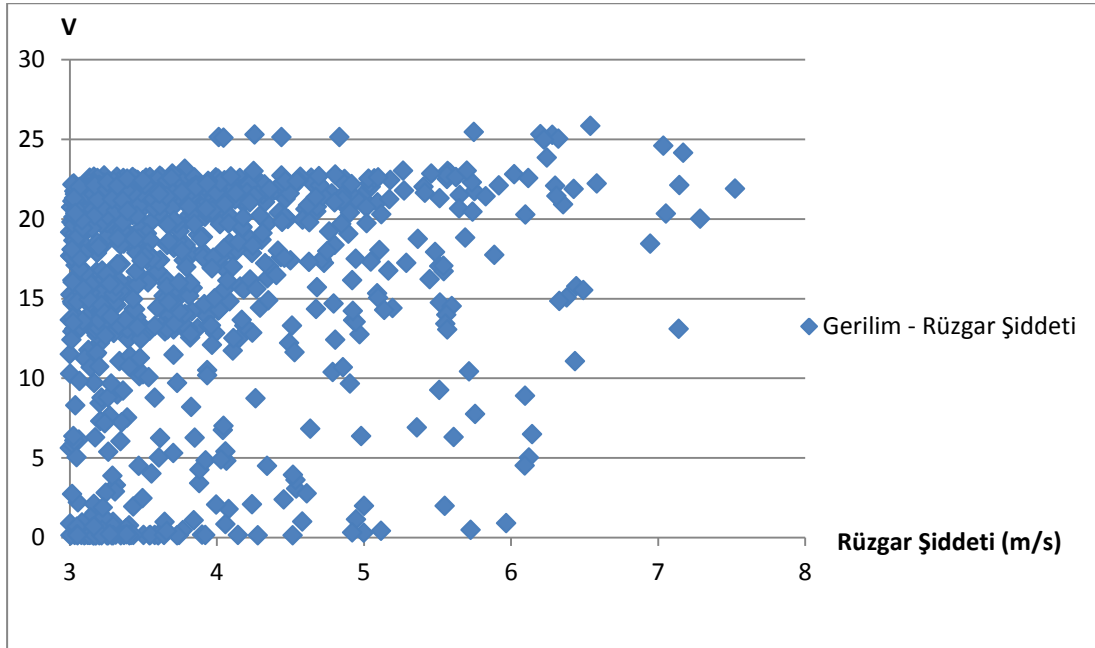


Şekil 4.13 : Türbin iç sıcaklığının - atmosfer sıcaklığıyla değişimi

Rüzgar türbininin ürettiği elektrik enerjisini belirleyebilmek için türbinden üretilen elektriğin akım ve gerilim değerleri ayrı birer değişken olarak ölçülmüşlerdir. Şekil 4.14 ve 4.15'te rüzgar şiddetine bağlı akım ve gerilim değerleri sırasıyla verilmiştir.

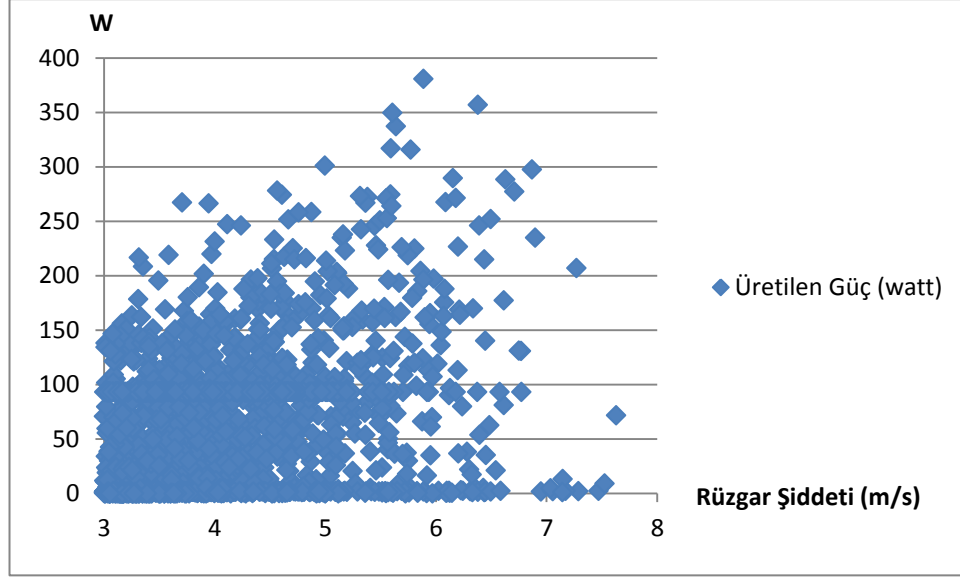


Şekil 4.14 : Rüzgar şiddeti bağlı jeneratörün ürettiği akım değeri



Şekil 4.15 : Rüzgar şiddetine bağlı gerilim değerleri

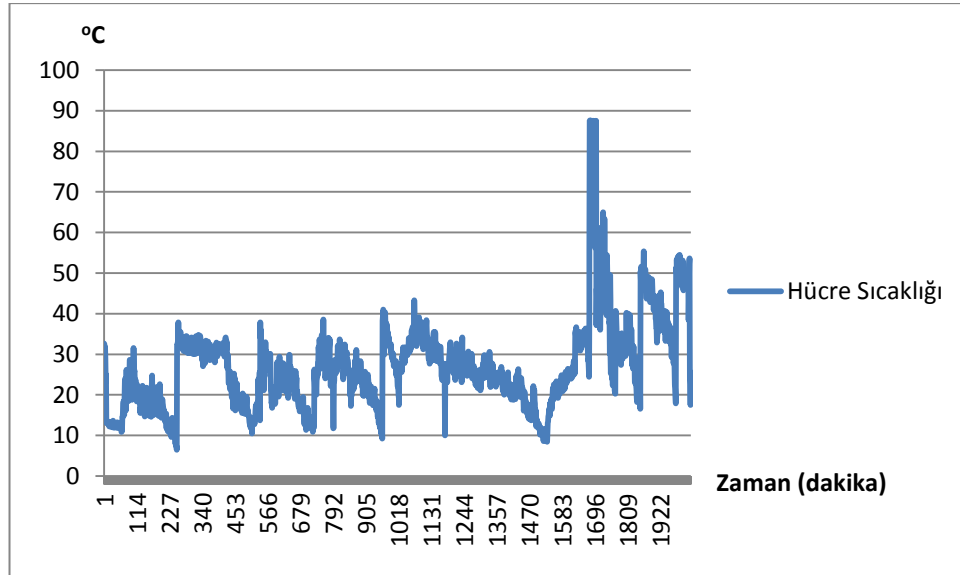
Bunların yanında üretilen güç ile rüzgar şiddeti arasındaki ilişki şekil 4.16'da verilmiş olup rüzgar değerlerinin genelde düşük olmasından dolayı türbin güç eğrisi elde edilememiştir (Şekil 4.16). Fakat genel gidişatı yansıtmaktadır.



Şekil 4.16 : Üretilen güç ve rüzgar şiddeti arasındaki ilişki

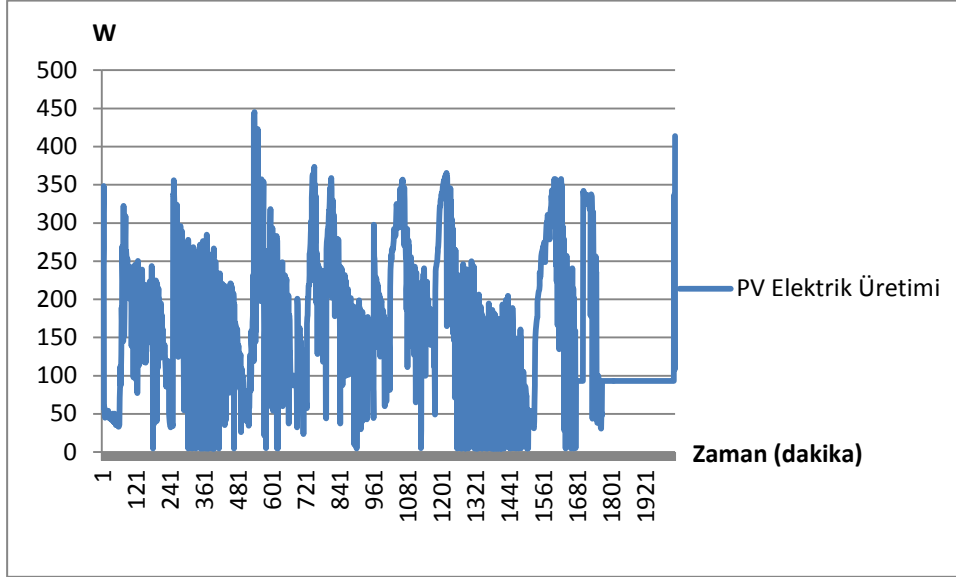
107M331 nolu projede rüzgar türbini ölçüm sistemi yanında diğer bir sistem ise fotovoltaik panel sistemidir. Şekil 2.3'te bahsedildiği gibi 750Wp lık sistemde global güneş ışınım, diffüz ışınım, hücre sıcaklığı, atmosfer sıcaklığı, basınç, akım, gerilim ölçülmektedir.

Bu tezde sadece sistemin hücre sıcaklıklarından ve üretilen elektrikten bahsedilecektir. Bu sistem ile ilgili detaylı bilgi başka bir çalışmada ele alınacaktır. Fotovoltaik hücre sıcaklıklarının zamanla değişimi şekil 4.17' de verilmiştir.



Şekil 4.17: Hücre sıcaklığının zamanla değişimi

Bunun yanında PV sisteminde üretilen elektriğin zamanla değişimine bakılmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 : PV elektrik üretiminin zamanla değişimi

4.2 Termodinamik Yaklaşımlar

İTÜ meteoroloji istasyonunda kurulan rüzgar-güneş hibrit sisteminin parametreleri ve değişkenlikler şu ana kadar detaylı ele alınmıştır. Bu değişkenlerin termodinamik anlamdaki ilişkileri bu bölümde ele alınacaktır.

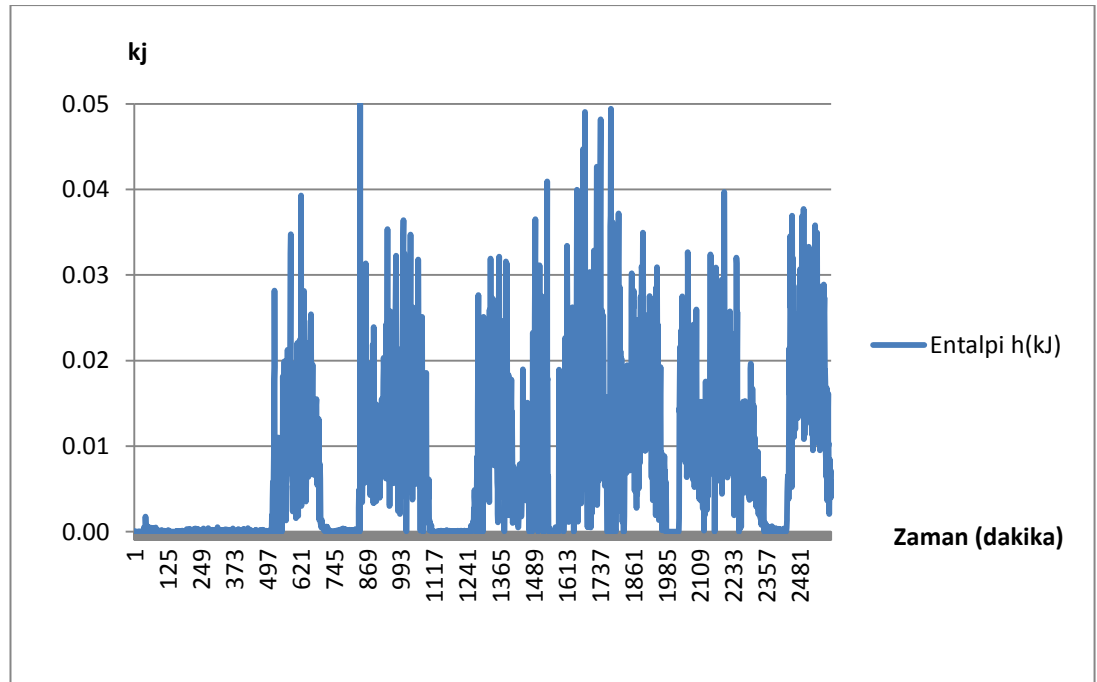
Bölüm 3’te hatırlanacağı üzere rüzgar enerjisinde enerji ve ekserji verimliliklerinden bahsedilmiştir. Bunların yanında diğer bir parametre ise Kapasite Faktörüdür (KF). Kapasite faktörü, enerji ve ekserji verimlilikleri sırasıyla

$$KF = \frac{\text{Üretilen Elektrik Miktarı}}{\text{Nominal Güç}} \quad (4.1)$$

$$\eta_{\text{enerji}} = \frac{\text{Üretilen Elektrik Miktarı}}{\text{Maksimum Enerji Potansiyeli}} \quad (4.2)$$

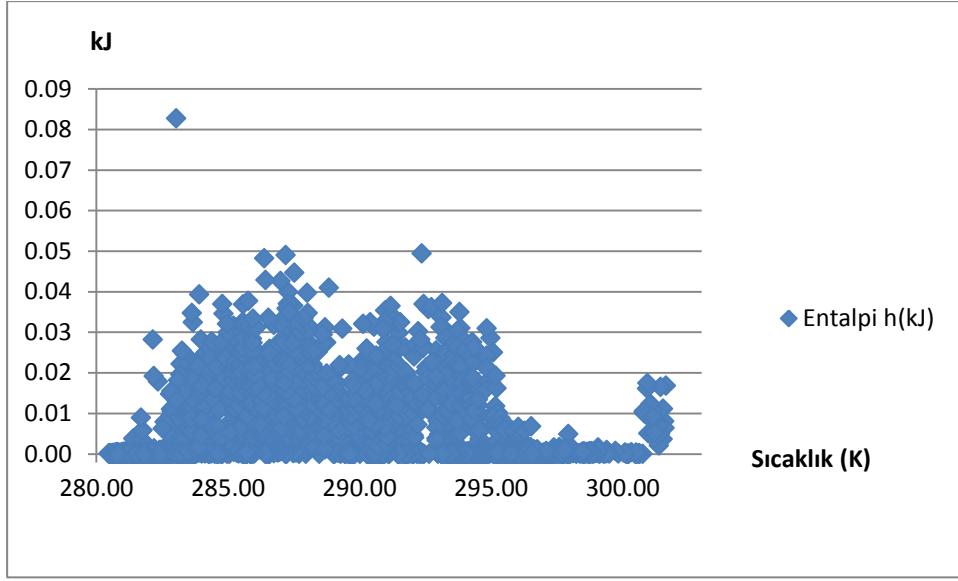
$$\eta_{\text{ekserji}} = \frac{\text{Ekserji Miktarı}}{\text{Maksimum Enerji Potansiyeli}} \quad (4.3)$$

Yukarıda sıralanan bu üç verimlilik değerinin rüzgar türbini için değişimi ayrıntılı ele alınacaktır. Bölüm 3'te Denklem 3.9'da hatırlanacağı üzere rüzgar türbini- ekserji eşitliğinde üretilen elektrik, E_{gen} , entalpi değişimi, ΔH , entropi değişimi, ΔS ve ısı kayıpları, Q_{loss} değişkenlerinden bahsedilmiştir. Buna göre üretilen elektriğin rüzgar şiddetiyle değişimi Şekil 4.16'da verilmiştir. Burdaki termodinamik yaklaşımda rüzgar açısından alışın termodinamik analizi ve türbinden kaynaklanan entropi değerleri ele alınmıştır. Bunun yanında entalpi değişim değerlerinin zamansal değişimi ise Şekil 4.19'da verilmektedir. Özellikle 0.03 kJ/kg civarındaki entalpi değişim değeri sistemdeki sıcaklık farkının etkisini göstermektedir.

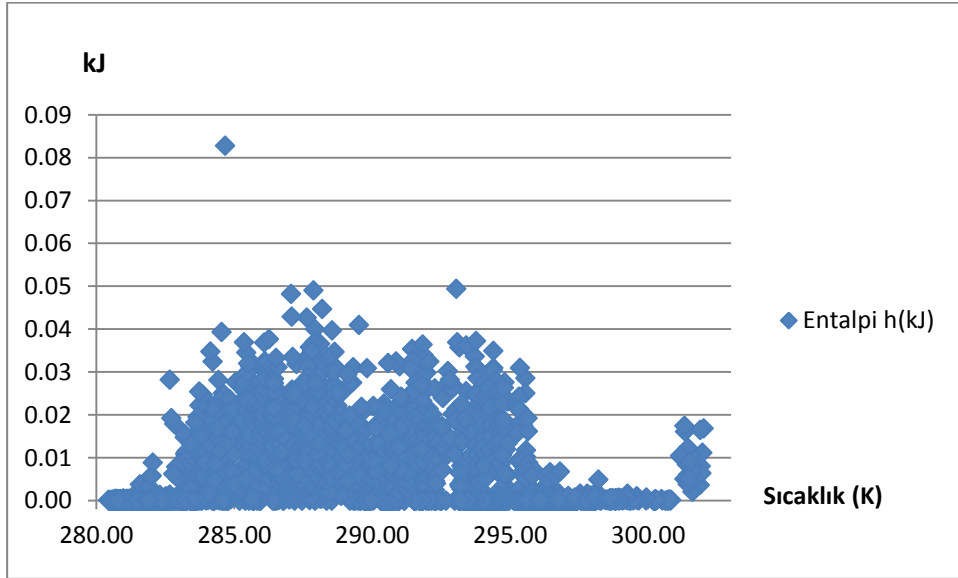


Şekil 4.19 : Entalpinin zamanla değişimi

Entalpi değerlerinin arka ve ön rüzgar türbini sıcaklıkları ile ilişkileri Şekil 4.20'de ve Şekil 4.21'de de verilmiştir. Burden da görüleceği üzere doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır.



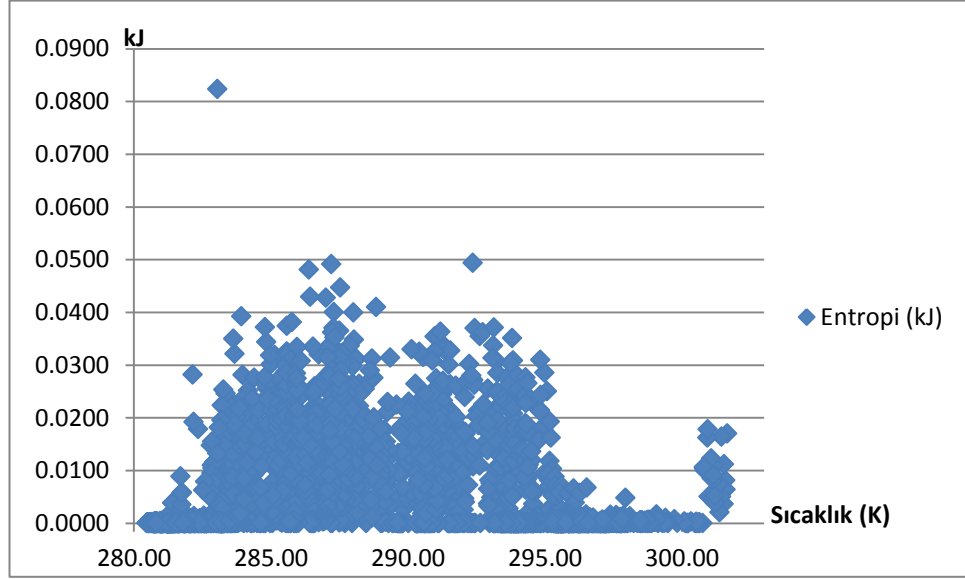
Şekil 4.20 : Entalpinin türbin ön sıcaklığıyla değişimi



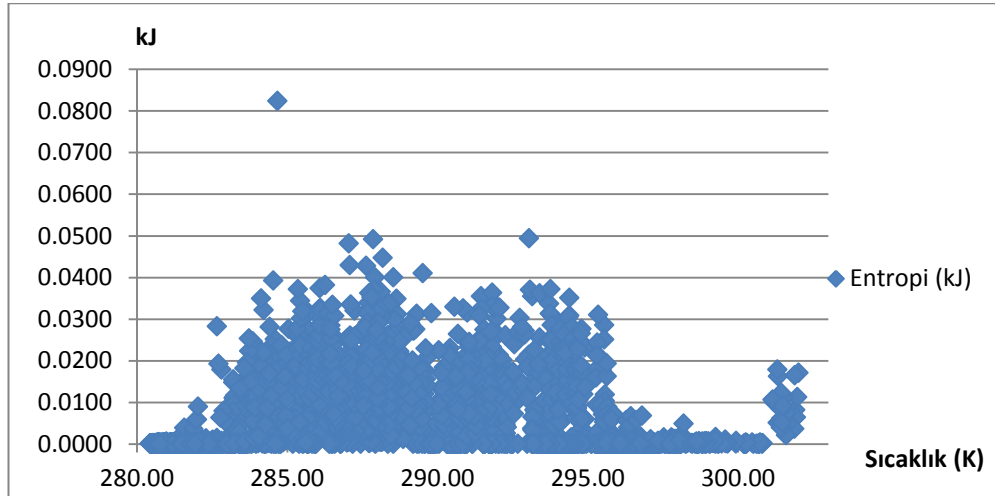
Şekil 4.21: Entalpinin türbin arka sıcaklığıyla değişimi

Ekserji denkleminde en önemli değişken şüphesiz ki entropi değişimi yani ΔS dir. Entropi değişimi ile sıcaklık, basınç farkları, akış ve türbindeki ısı kaybına bağlı olarak değişmektedir. Entropi değişiminin rüzgar türbini, ön ve arka sıcaklığı ile değişimi sırasıyla Şekil 4.22 ve 4.23'te verilmiştir. Sıcaklık arttıkça akışa ait entropi üretiminin artması sistmlerin kayıplarının önemli kısımlarının bu değişkene bağlı olduğu göstermektedir. Buna ilave olarak türbin iç sıcaklığından kaynaklanan entropi üretiminin mil sıcaklığı ile değişimi şekil 4.23'te verilmiştir.

Gerek akışın gerekse türbinden kaynaklanan entropi değişimlerinin türbin ön ve arka sıcaklıklarıyla değişimi şekil 4.23-24’te verilmiştir.

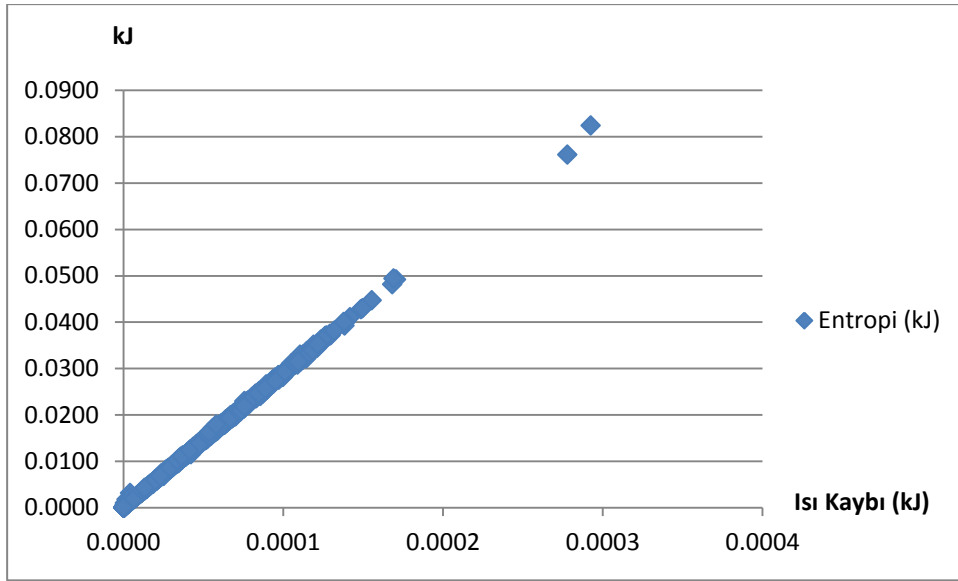


Şekil 4.22 : Entropinin türbin ön sıcaklığıyla değişimi



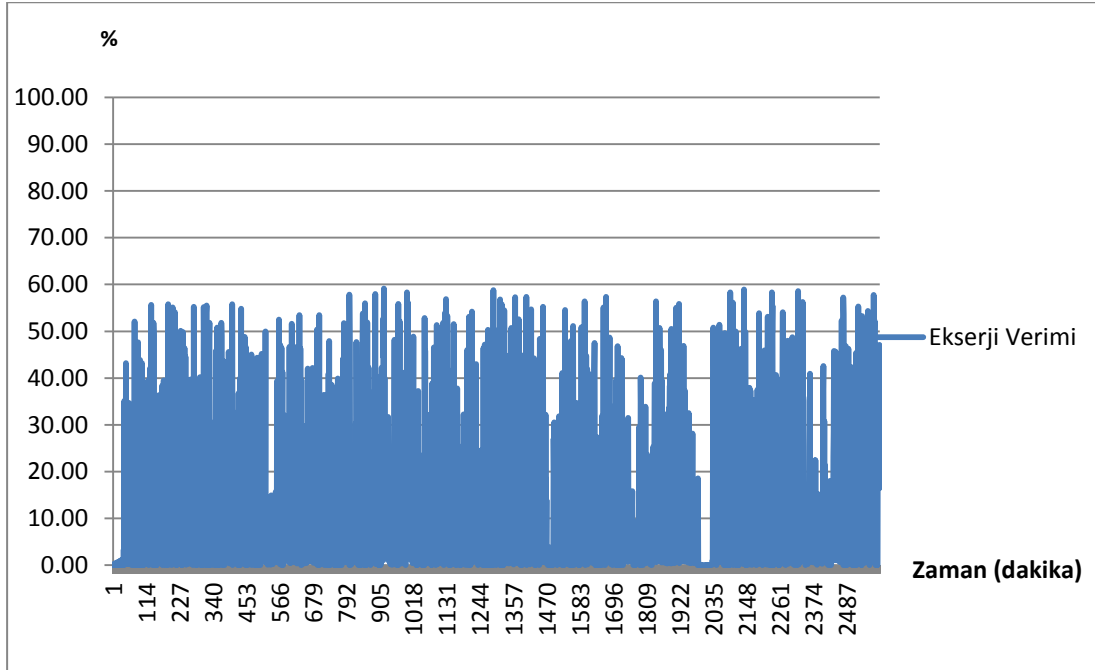
Şekil 4.23 : Entropinin türbin ön sıcaklığıyla değişimi

Bütün bunlara ilave olarak rüzgar türbininden sıcaklık farkından dolayı dışarıya doğru oluşan entropi üretimide büyük önem taşımaktadır. Rüzgar turbine kaynaklı entropi değişimi ve mil sıcaklığı arasındaki ilişki şekil 4.24’te verilmiştir.



Şekil 4.24 : Entropi değişimi ısı kaybı arasındaki ilişki

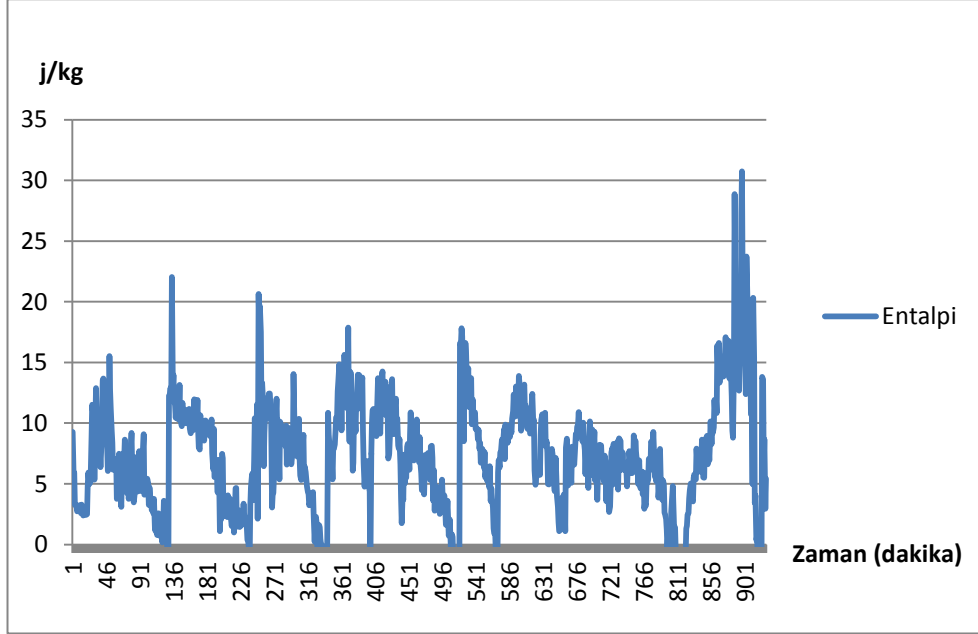
Bütün bu değişkenler rüzgar ekserji verimlilik denkleminde denklem (3.9)'dayerine yerleştirildiğinde elde edilecek ekserji verimliliğinin zamanla değişimi şekil 4.25'te verilmiştir.



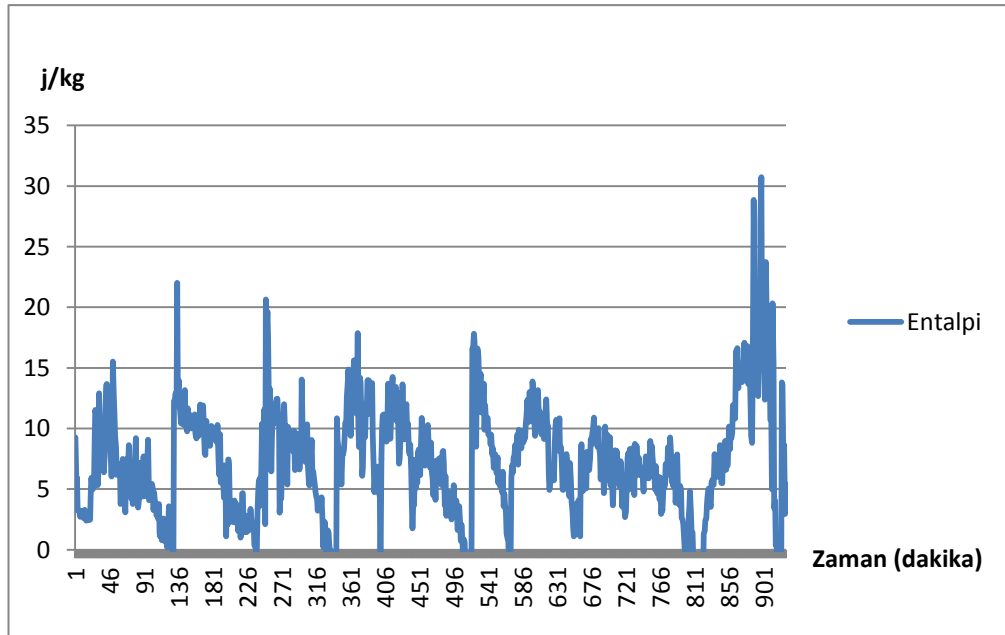
Şekil 4.25 : Rüzgar ekserji verimliliği

4.3 Fotovoltaik Sistemde Ekserji Analizi

Rüzgar enerji ve ekserji hesaplamaları yanında güneş PV sisteminin de enerji ve ekserji hesaplamaları ayrı ayrı yapılmıştır. Denklem 3.27’de belirtilen PV ekserji verimliliğinde entalpi değerleri şekil 4.26’da verilmiştir. Entalpi değişim değerlerinin periyodiklikleri ile birlikte ısı kayıplarında periyodikliklik gösterecektir.

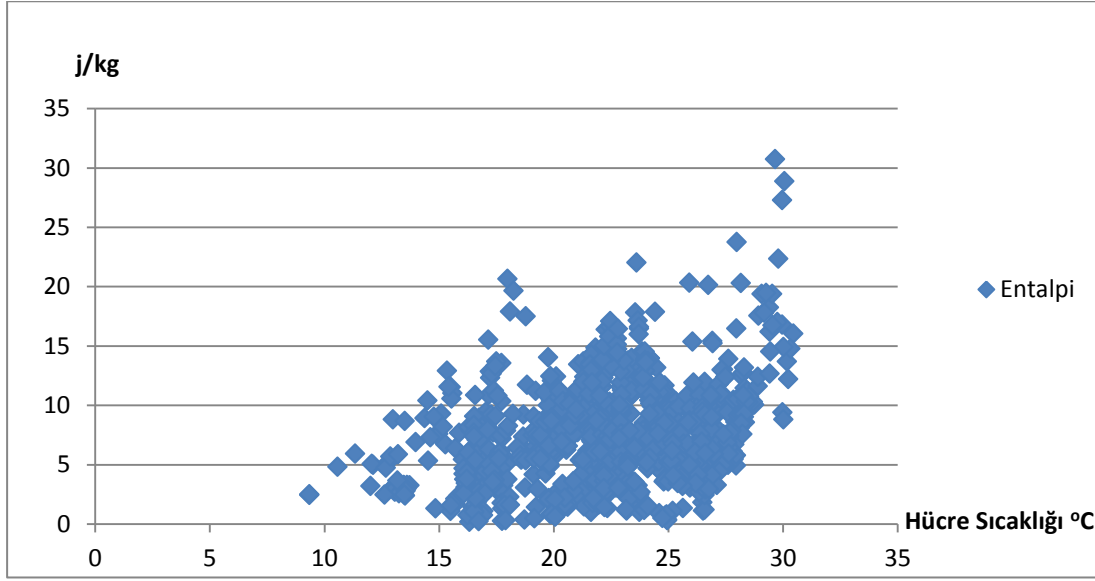


Şekil 4.26 : PV entalpi değişimi

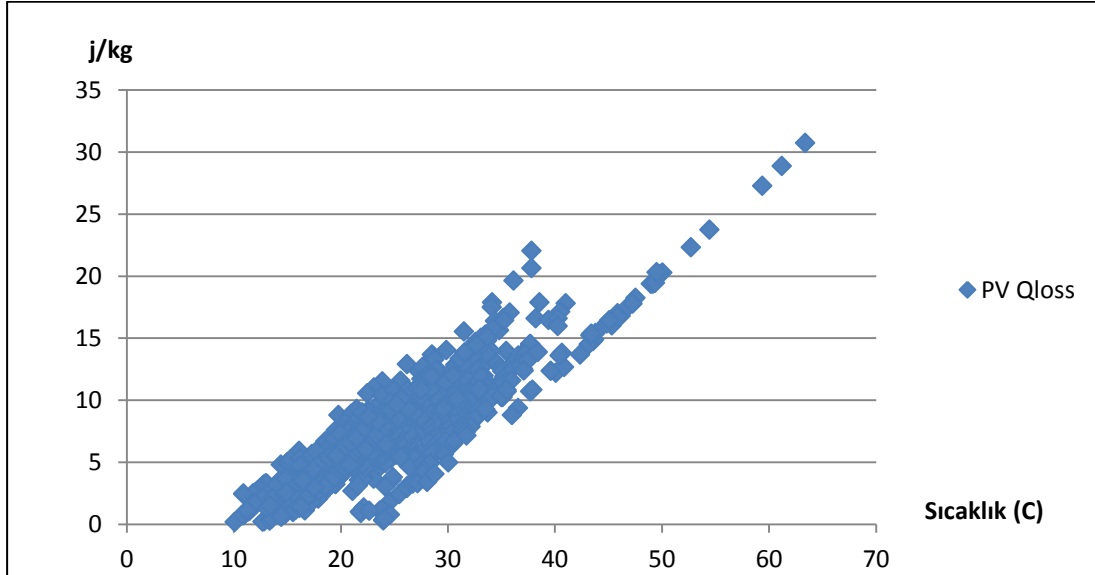


Şekil 4.27 : PV ısı kayıplarının zamanla değişimi

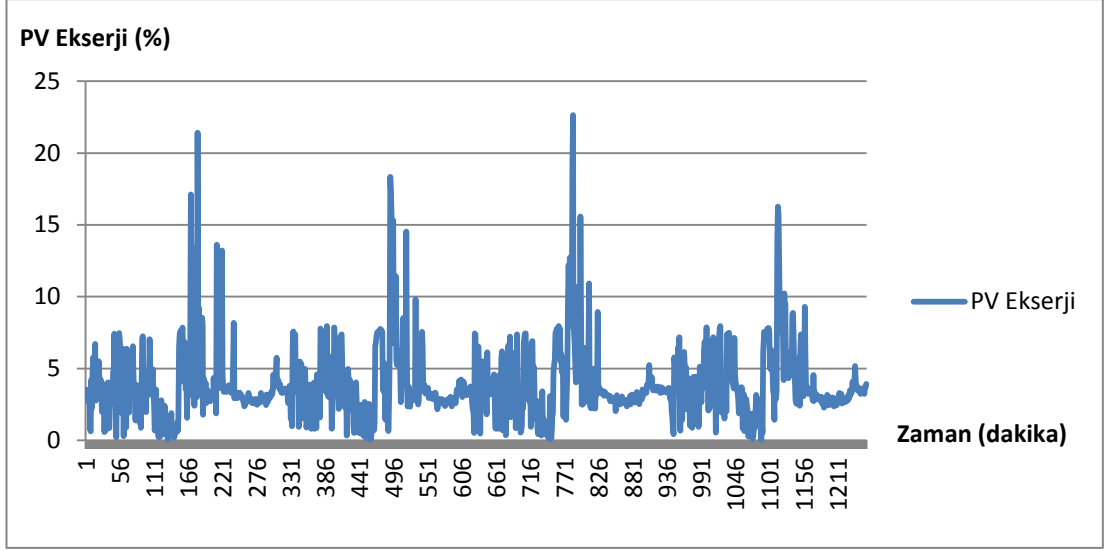
PV sisteminde atmosfer sıcaklığı, hücre sıcaklığı ile entalpi ve entropi arasındaki ilişki büyük önem taşımaktadır. Atmosfer sıcaklığı – entalpi, hücre sıcaklığı – ısı kaybı, arasında ki ilişki sırasıyla Şekil 4.28-29’da verilmiştir. Bütün bu parametreler göz önüne alındığında yapılan hesaplamada PV sisteminin ekserji veriminin zamanla değişimi Şekil 4.30’da verilmiştir.



Şekil 4.28 : PV sisteminde atmosfer sıcaklığı ile entalpi arasındaki ilişki



Şekil 4.29 : PV sisteminin hücre sıcaklığına bağlı ısı kaybı

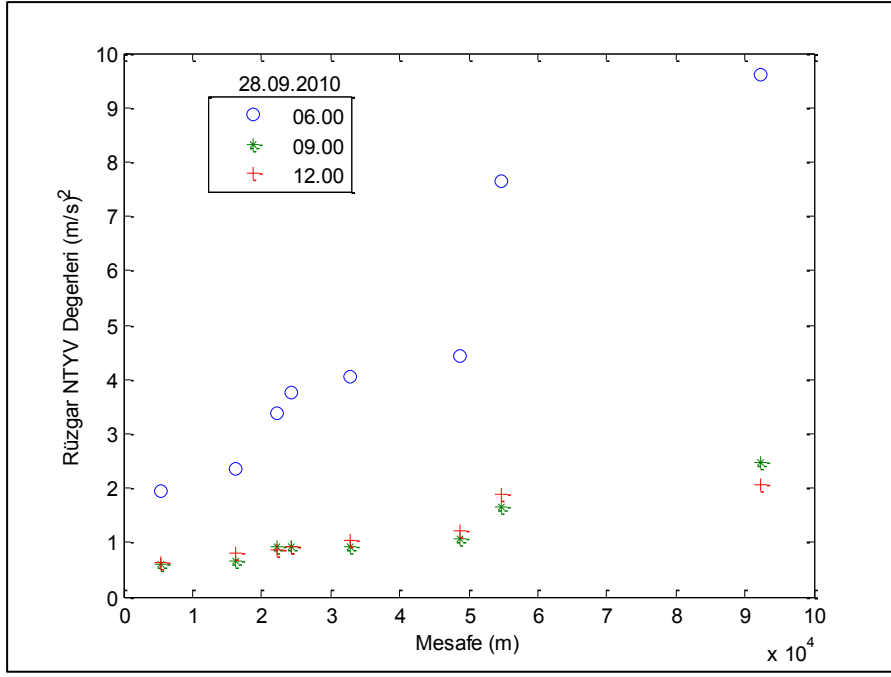


Şekil 4.30 : PV sistemin ekserji verimliliğinin zamanla değişimi

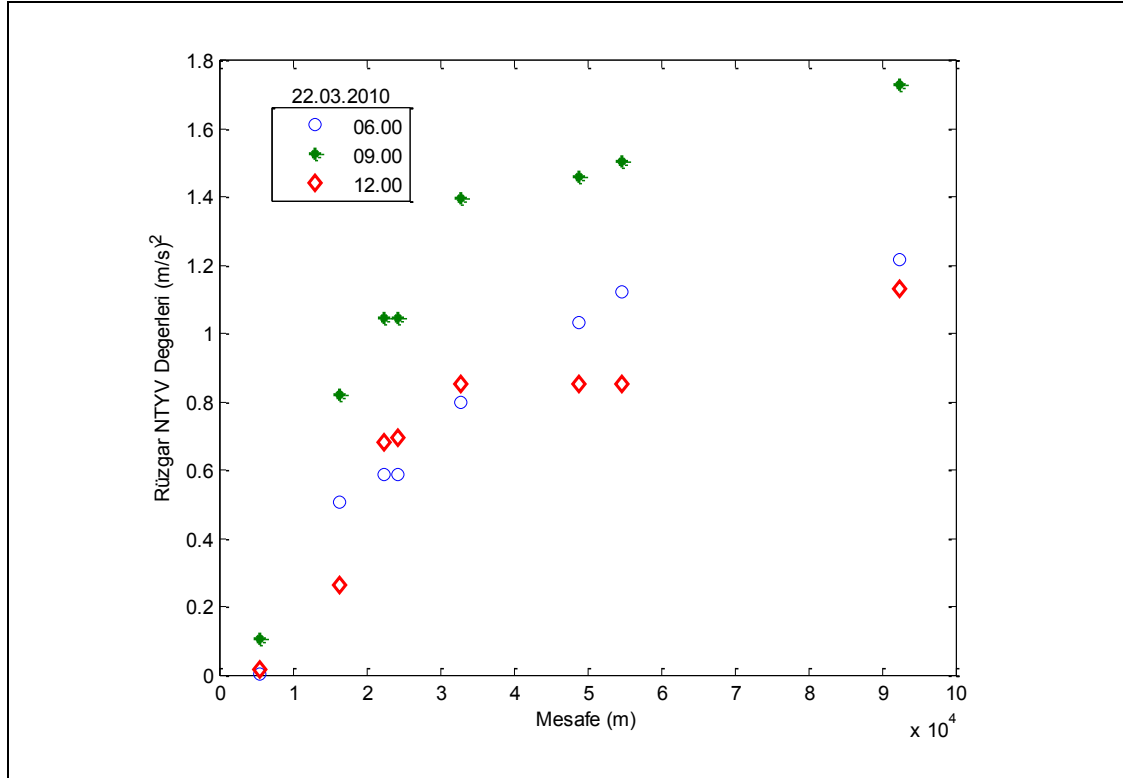
4.4 Alansal Modeller

4.4.1 Noktasal toplam yarı varyogram

Bu tez çalışmasında diğer önemli bir konu İTÜ’de ölçülen değişkenlerin diğer çevre istasyonlara taşınmasıdır. Bu taşınımın yapılabilmesi için alanı temsil edebilecek 8 istasyon seçilmiştir. Bütün istasyonlardaki verilerin aynı zamanlı olması gerektiğinden dolayı veri sayısında kısıtlamalar yaşanmıştır. Daha önce Bölüm 3.4’te detayı verilen NTYV yöntemi her bir istasyon merkez alınarak adeta bölgesel bir fonksiyon ağı oluşturulmuştur. Her bir istasyonun mesafeye bağlı olarak diğerleri ile ilişkisi Bölüm 3’te anlatılan bölgesel bağımlılık fonksiyonları (BBF) ile elde edilmiştir. Öncelikle İTÜ Meteoroloji Gözlem Parkı merkez seçilerek hazırlanan NTYV ve BBF değerleri Şekil 4.30-36’da verilmiştir. İTÜ ile çevre istasyonlar arasındaki değişim 28.09.2010 tarihine göre düşünüldüğünde 06:00’da yüksek değişimlerim yaşandığı görülmekle birlikte 09:00 ve 12:00’ da alansal bir kararlılığın olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.31).



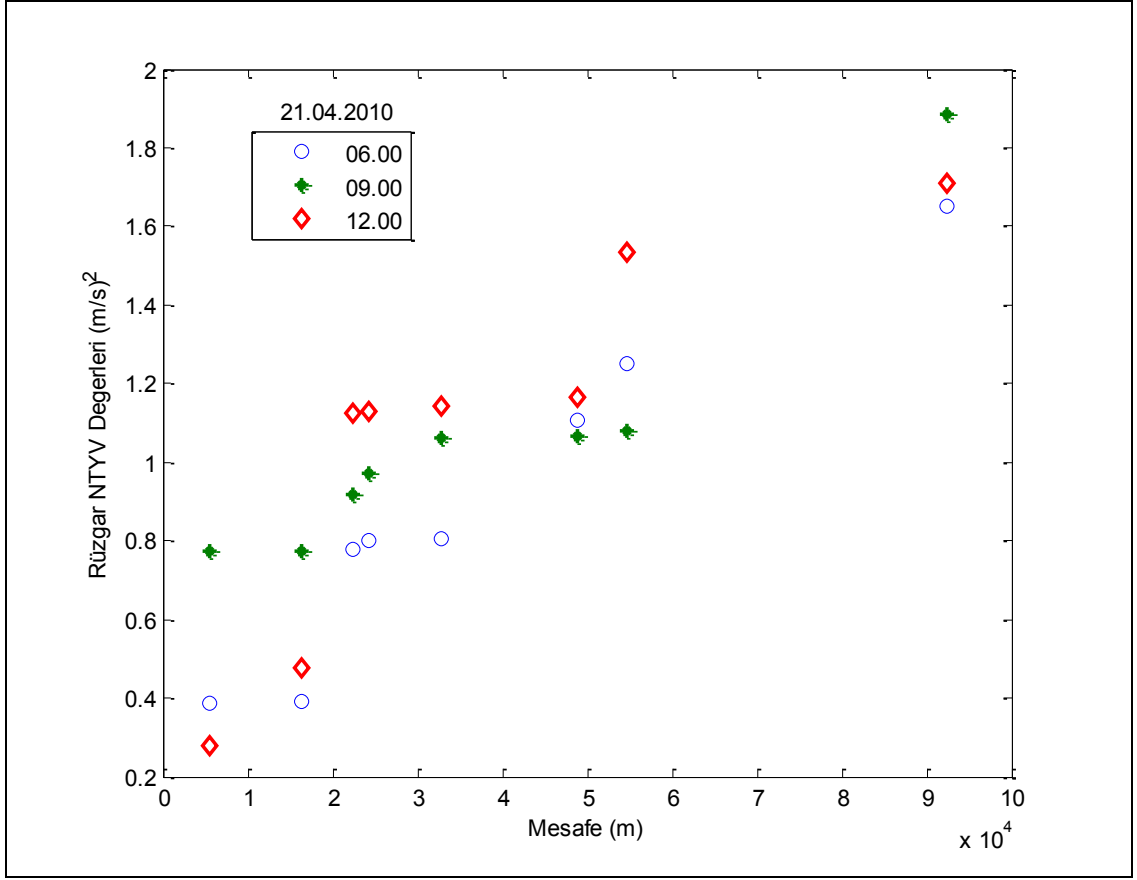
Şekil 4.31 : İTÜ 28.09.2010 tarihli NTYV değerleri



Şekil 4.32 : İTÜ 22.03.2010 tarihli NTYV değerleri

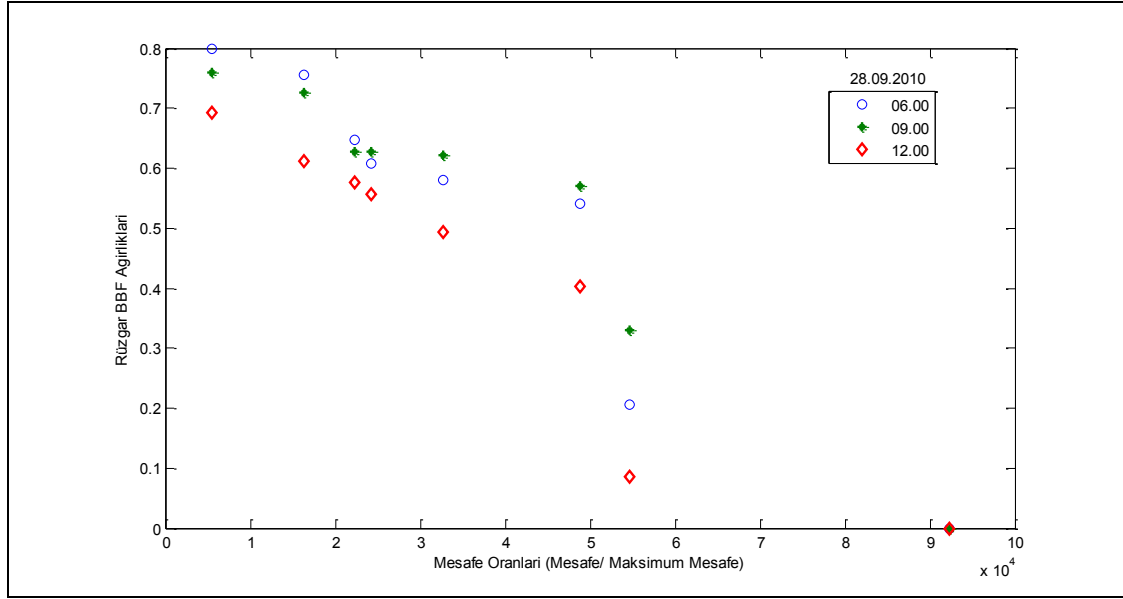
Mart ayında yani ilkbaharda İTÜ ve çevre istasyolar arasında yapılan NTYV değerlendirmelerinde 06:00'da diğer saatlere göre homojenlik bulunmamaktadır

(Şekil 4.32). Bunların tersine 24.04.2010 tarihli NTYV çalışmasında alansal bir homojenliğin bütün istasyonlarda sağlandığı söylenebilir (Şekil 4.33).

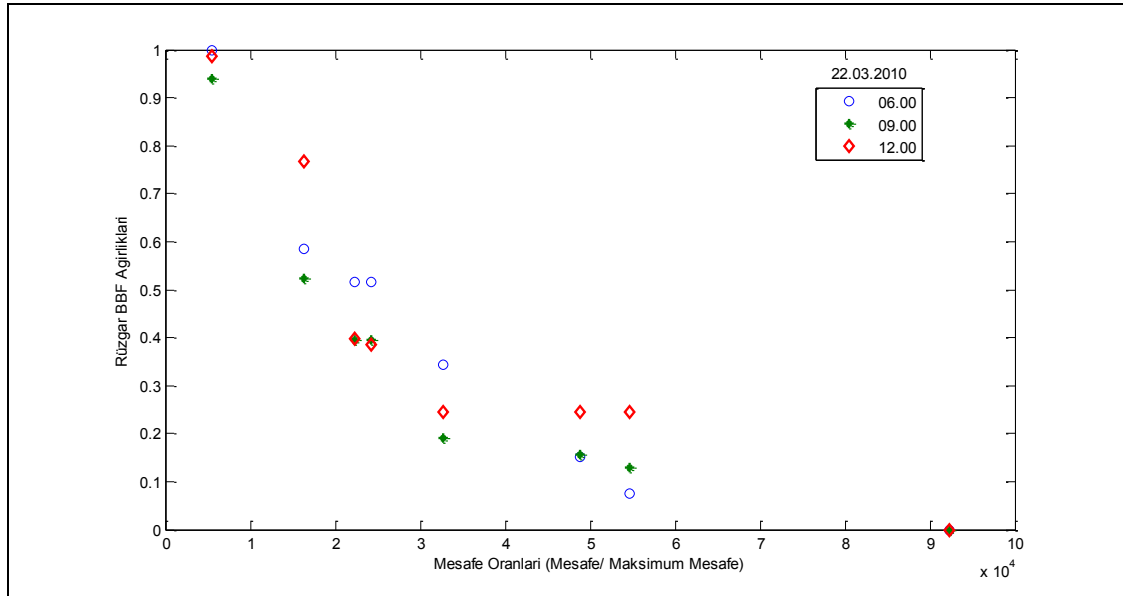


Şekil 4.33 : İTÜ 21.04.2010 tarihli NTYV değerleri

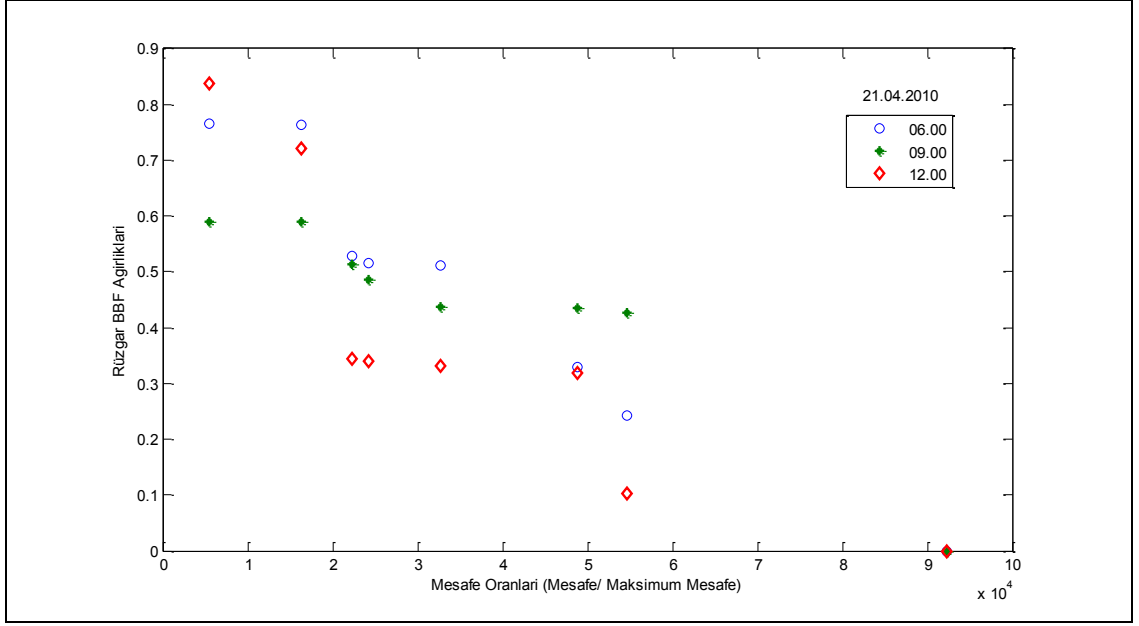
NTYV'ların bölgesel bağımlılık fonksiyonları (BBF)'na dönüştürülmesi ile özellikle 22 mart ve 21 nisanda İTÜ ye yakın istasyonların daha çok etkili olduklarını daha yüksek ağırlıkla göstermektedir (Şekil 4.35-36).



Şekil 4.34 : İTÜ 28.09.2010 tarihli BBF değerleri

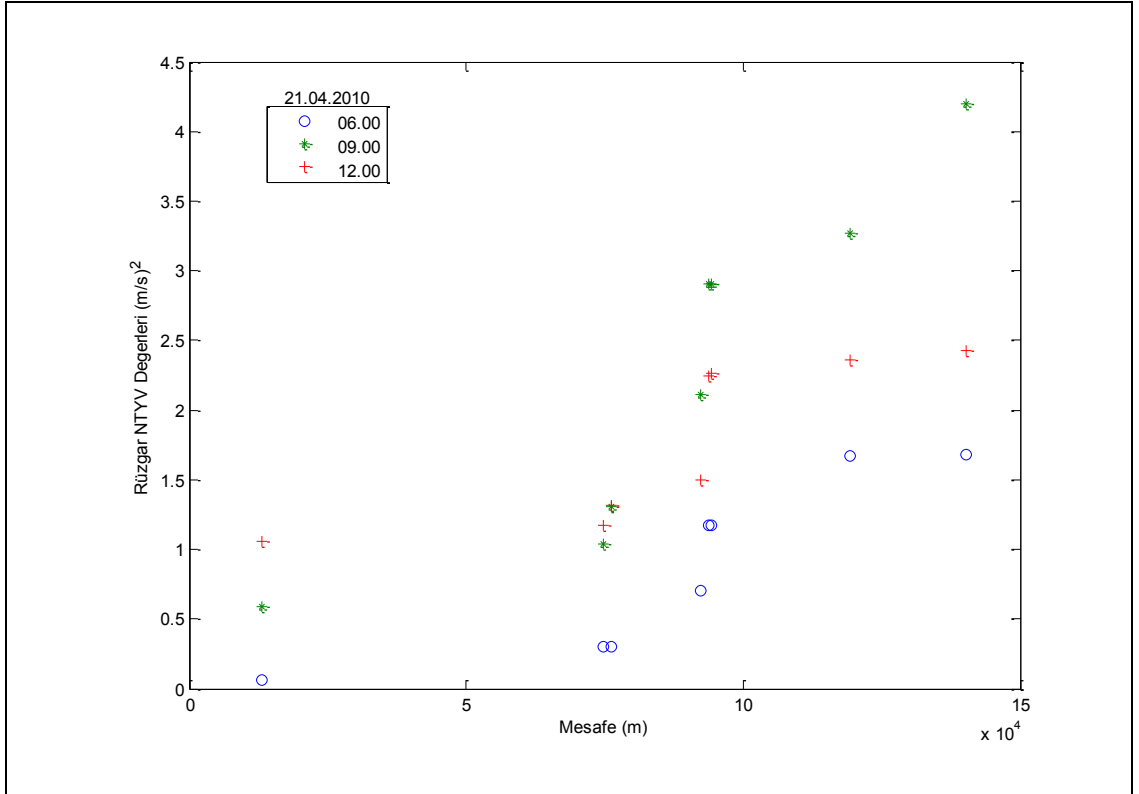


Şekil 4.35 : İTÜ 22.03.2010 tarihli BBF değerleri

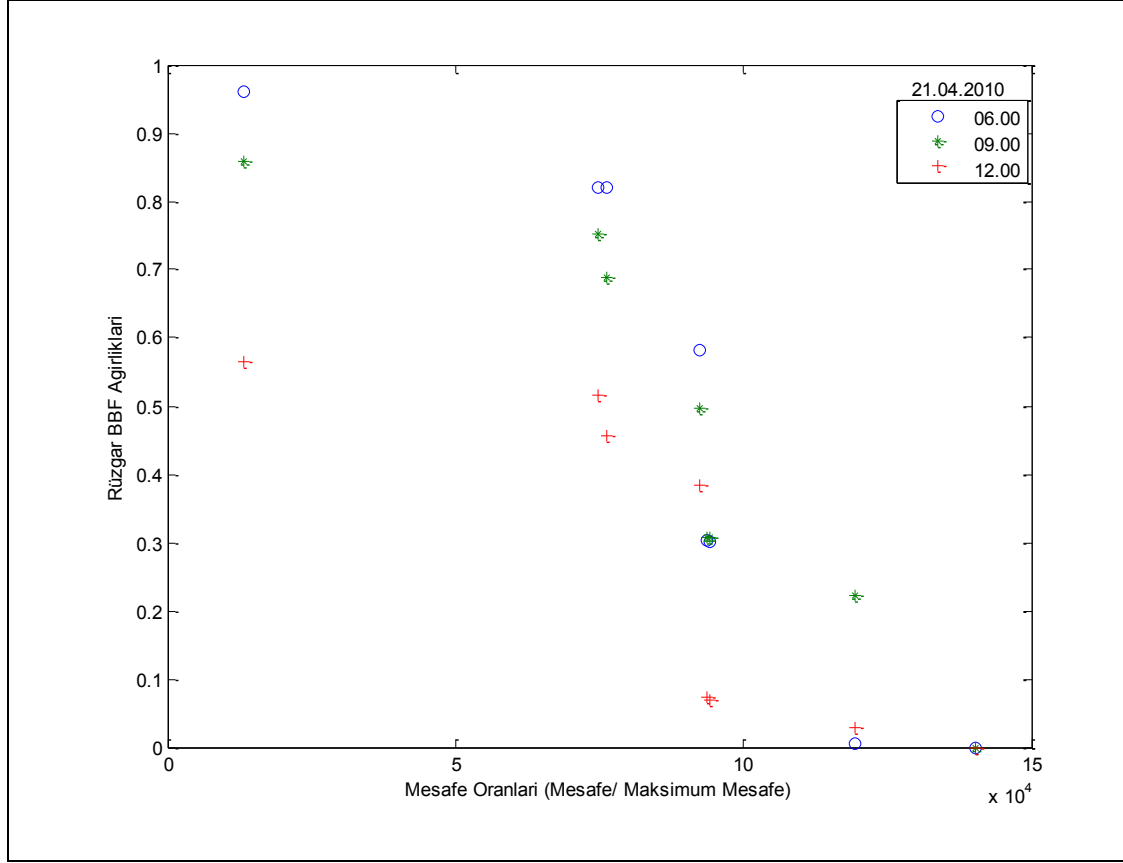


Şekil 4.36 : İTÜ 21.04.2010 tarihli BBF değerleri

İTÜ'nün yanında İstanbul'un batısını temsil etmek üzere Çorlu istasyonu seçilmiştir. Çorlu istasyonunun NTYV ve BBF değerleri Şekil 4.37-42'te verilmiştir.

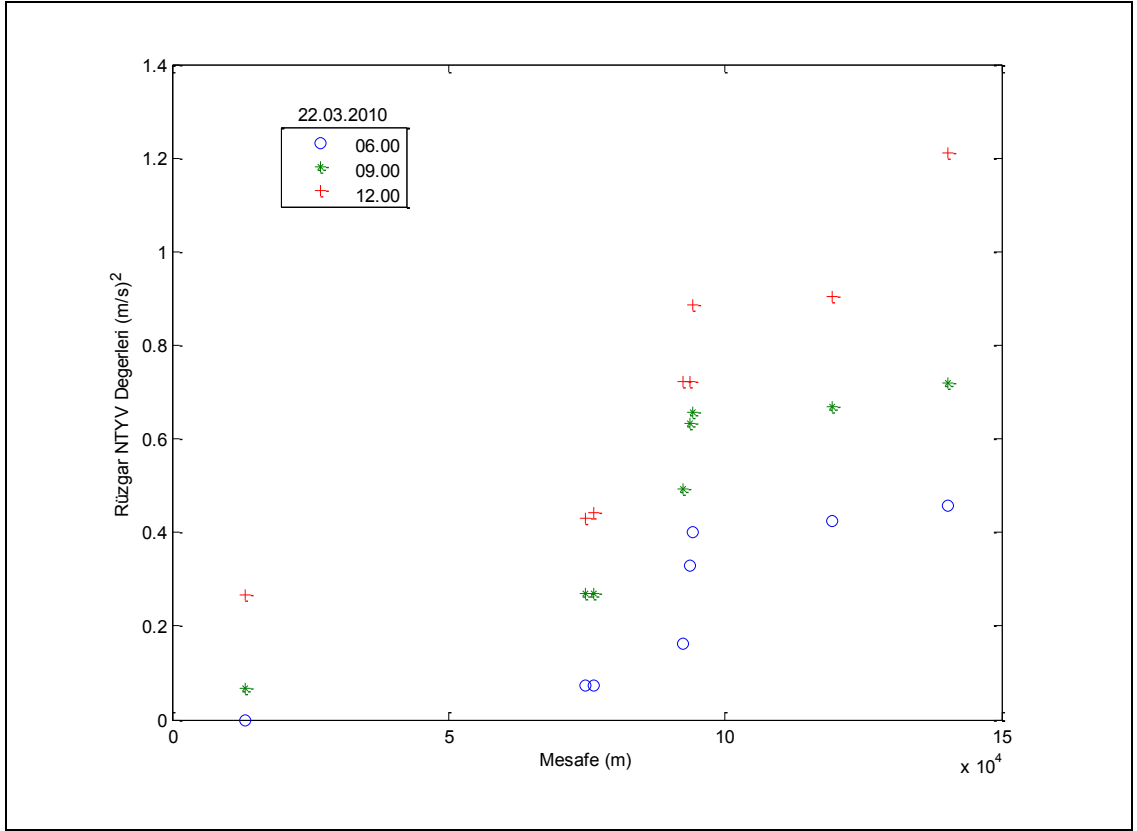


Şekil 4.37 : Çorlu 21.04.2010 tarihli NTYV değerleri

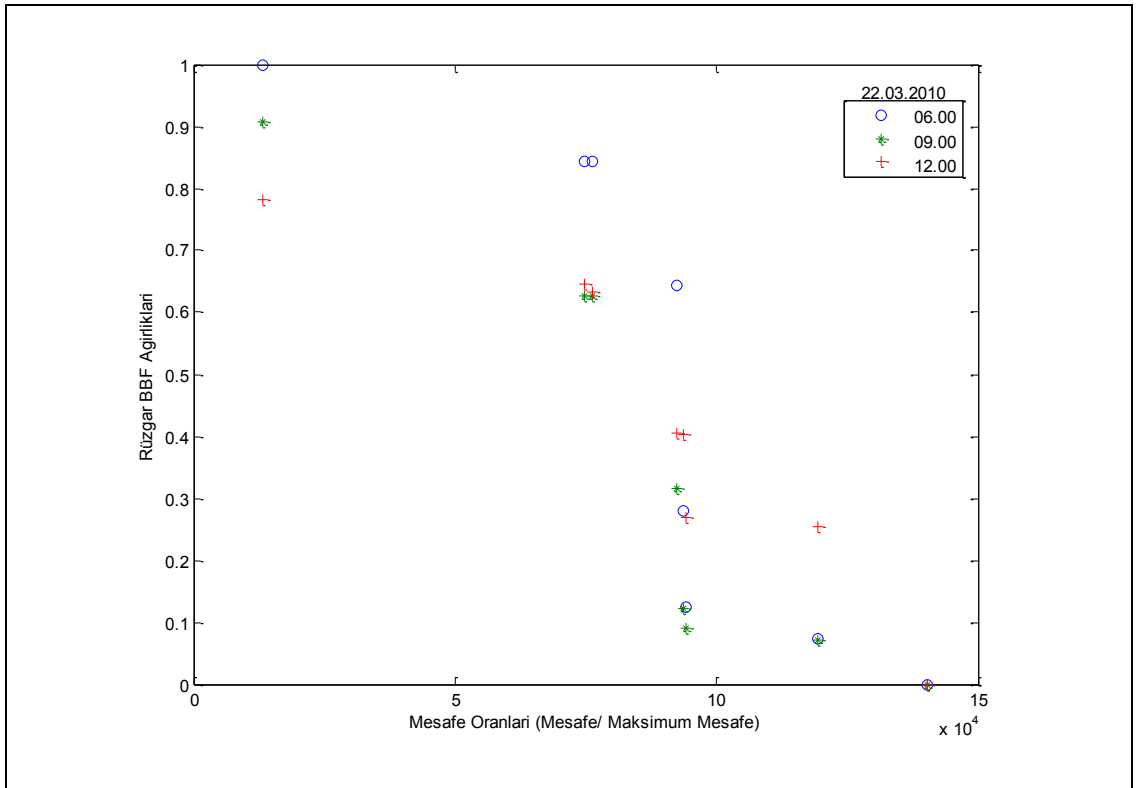


Şekil 4.38 : Çorlu 21.04.2010 tarihli BBF değerleri

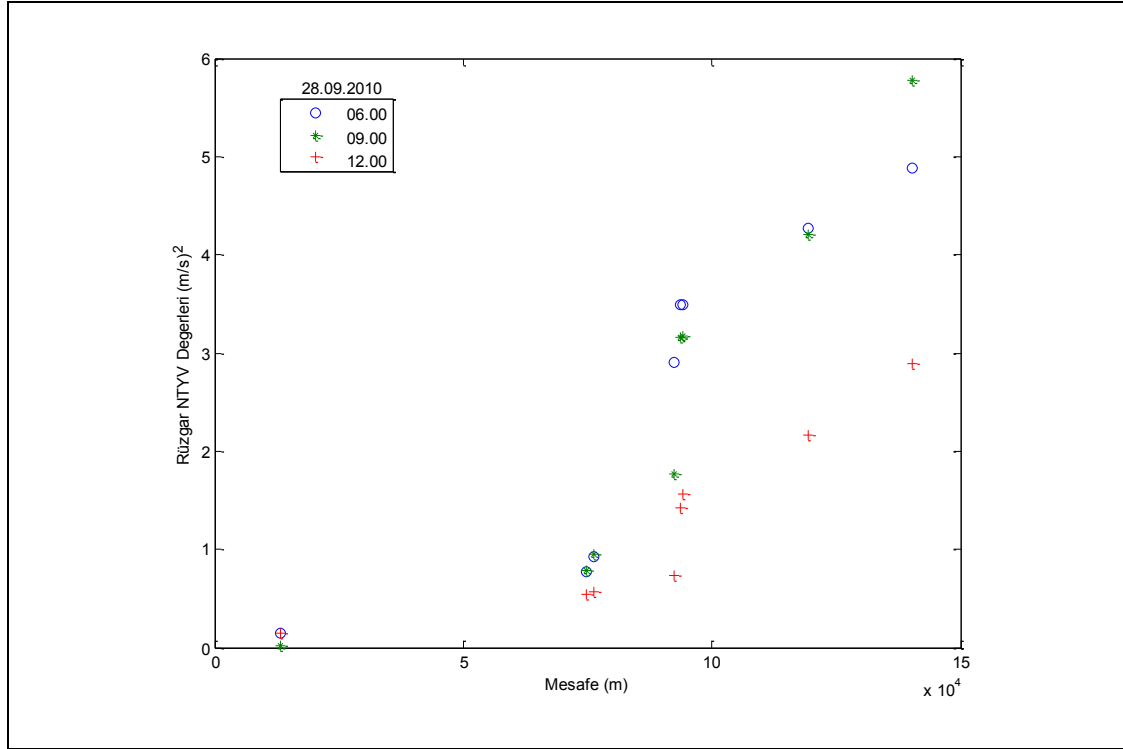
Çorlu istasyonunun önemli bir özelliği alanındaki bütün istasyonlarla ilişkili olmasıdır. Yani diğerlerine göre ani değişimler yaşanmamaktadır. Bu durumda alansal tahmin anlamında daha iyi sonuç vermesi bekleni (Şekil 4.37-42).



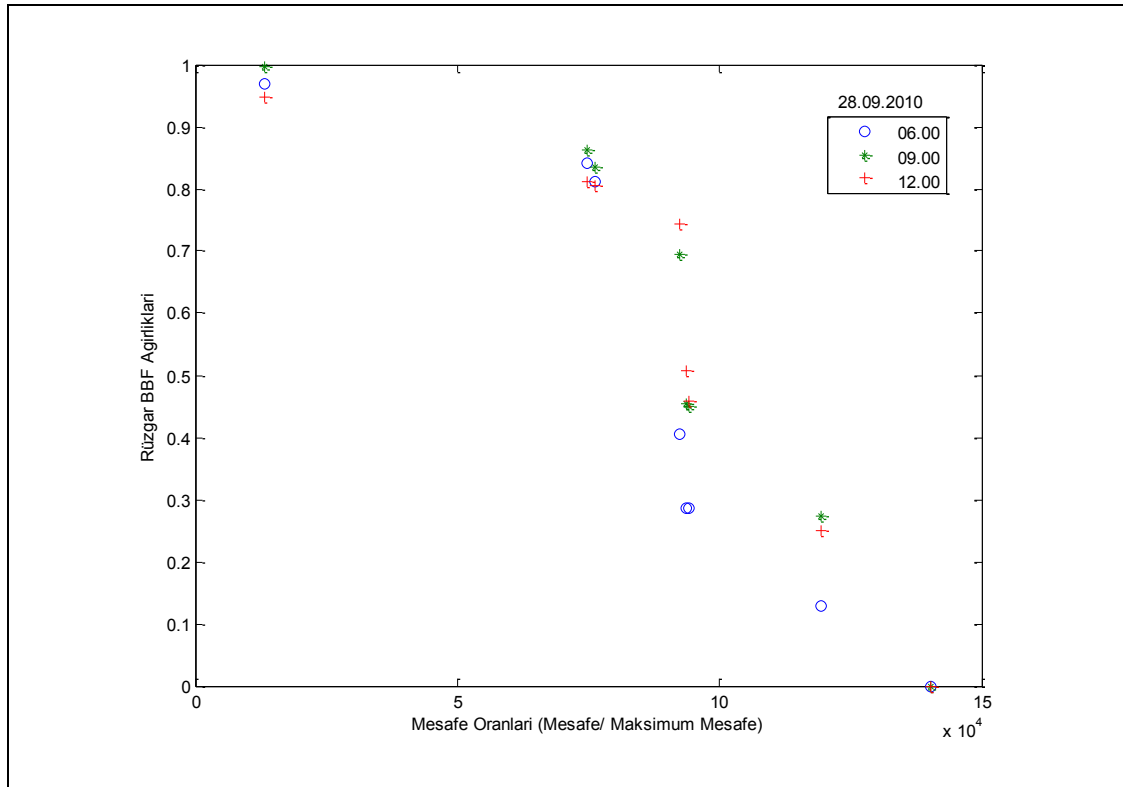
Şekil 4.39 : Çorlu 22.03.2010 tarihli NTYV değerleri



Şekil 4.40 : Çorlu BBF değerleri 22.03.2010

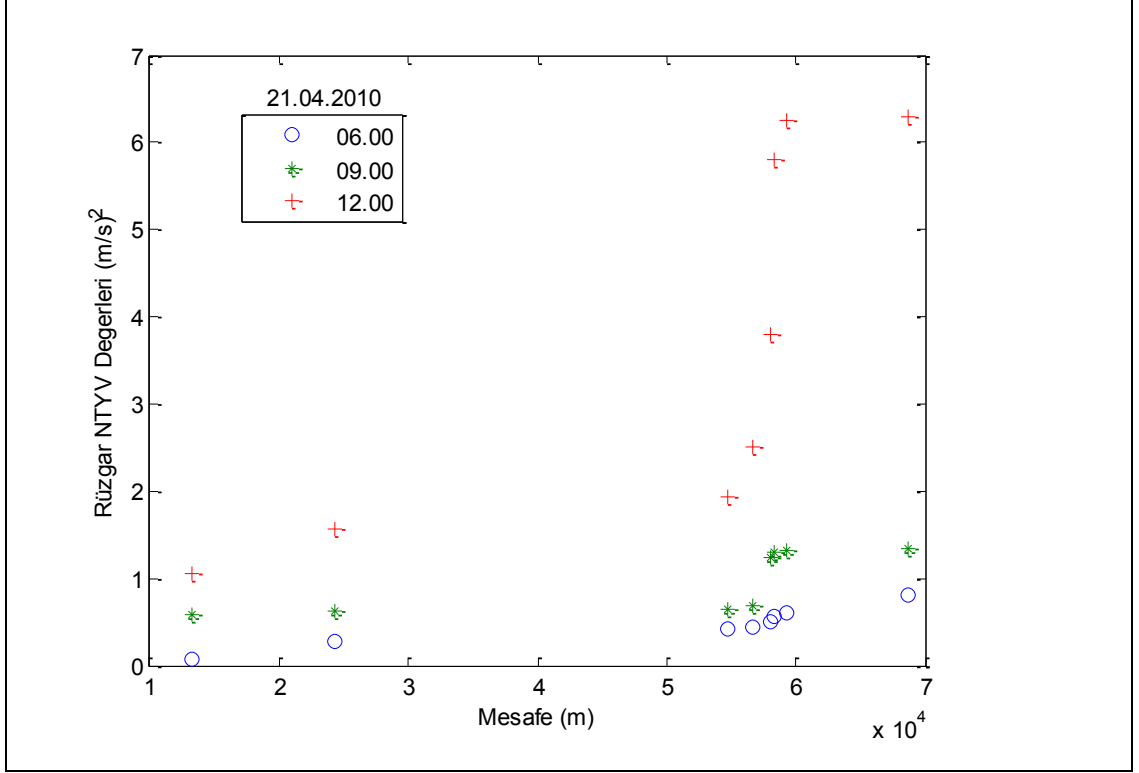


Şekil 4.41 : Çorlu NTYV değerleri 28.09.2010

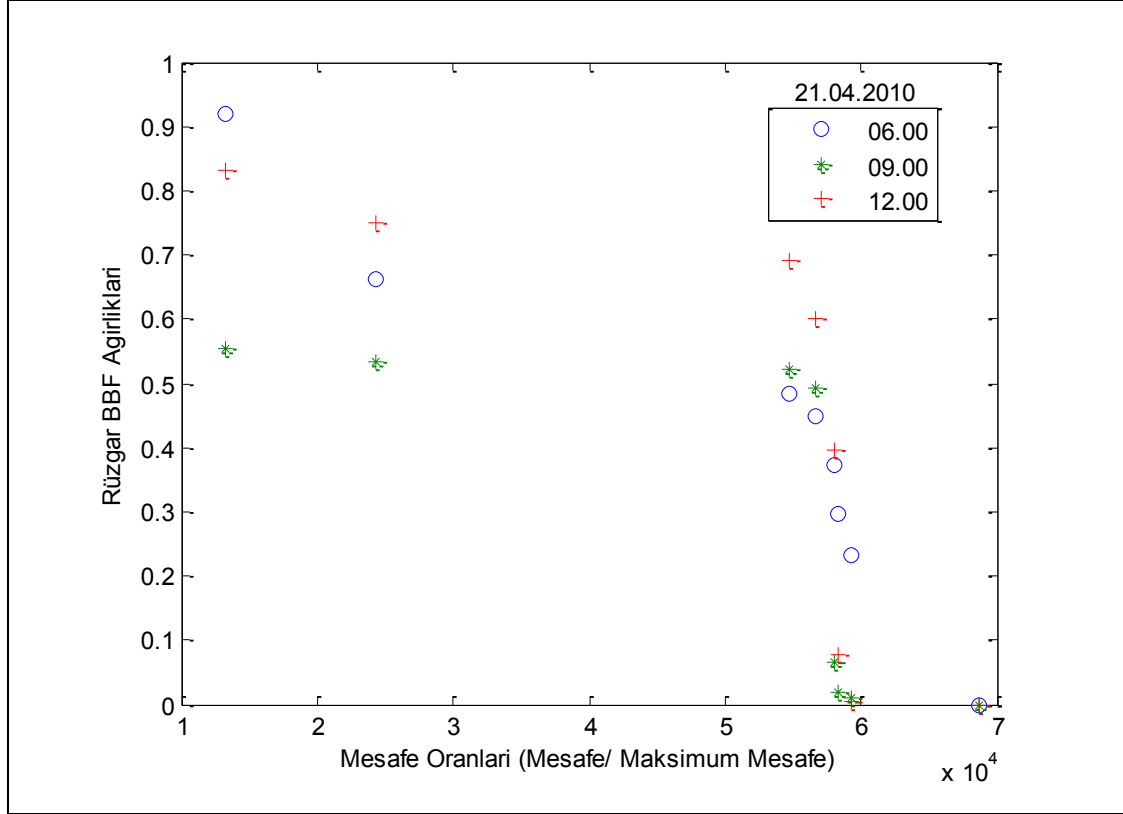


Şekil 4.42 : Çorlu BBF değerleri 28.09.2010

İstanbul ‘un Anadolu yakasının özelliklerini göstermesi bakımından Yalova istasyonu seçilmiştir. Bu istasyon kırsal kesime yakın olması ve ayrıca deniz etkisinin yüksek olmasından dolayı farklılıklar gösretecektir. Şekil 4.43-48’de Yalova istasyonuna ait NTYV ve BBF görülmektedir.

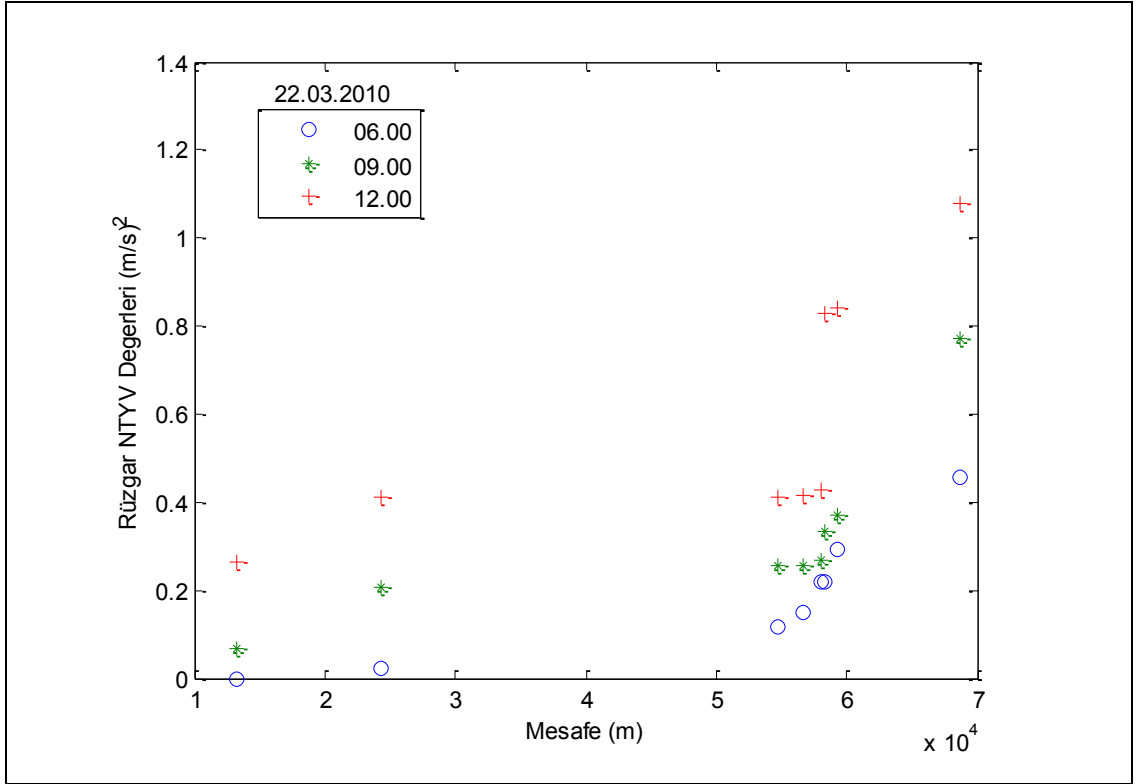


Şekil 4.43 : Yalova NTYV değerleri 21.04.2010

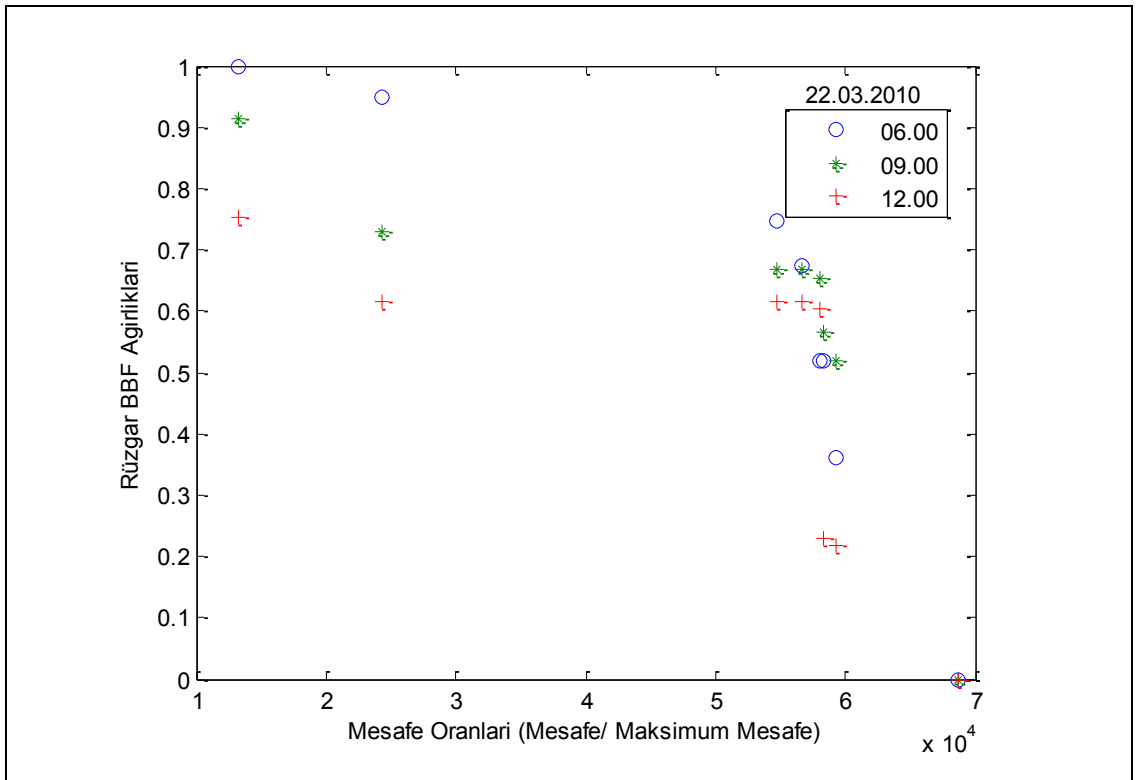


Şekil 4.44 : Yalova BBF değerleri 21.04.2010

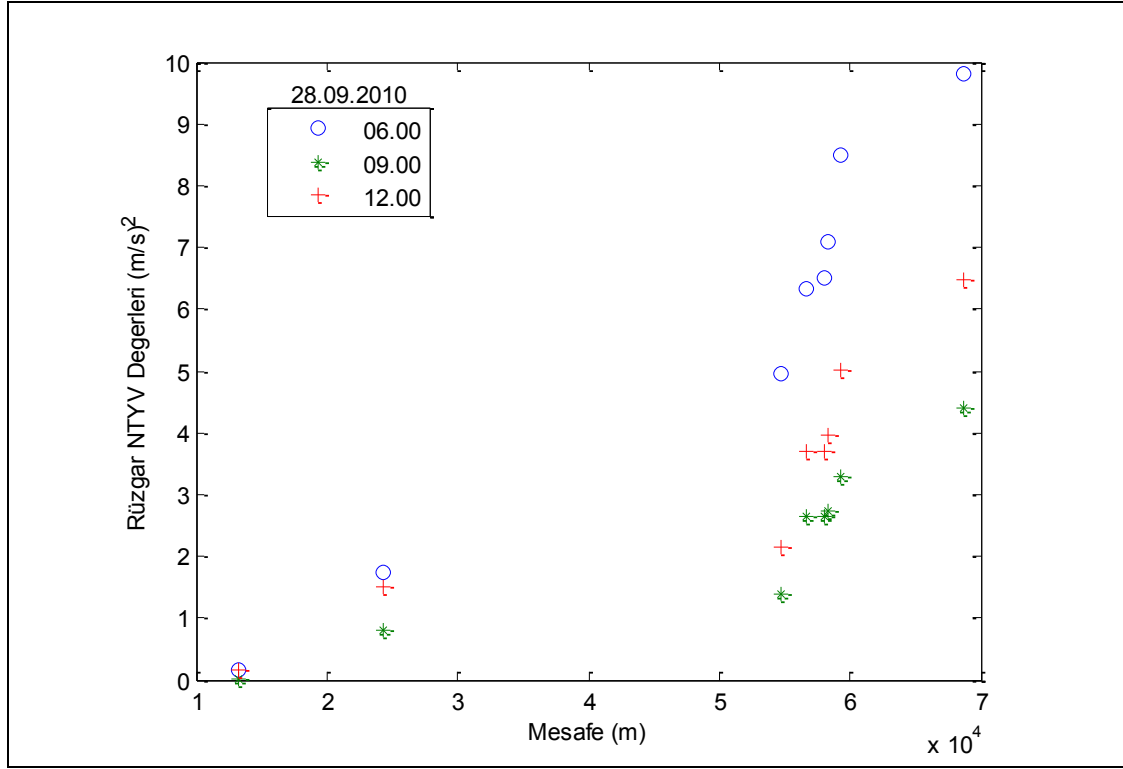
Özellikle belirli bir mesafeden sonra ani değişimlerin görülmesi bu istasyonun özellikle Avrupa yakası ve denize daha uzak istasyonlardan farkını göstermektedir. Yalova'dan alınan üç günlük veride de bu ani değişimler kolaylıkla görülmektedir (Şekil 4.43-48).



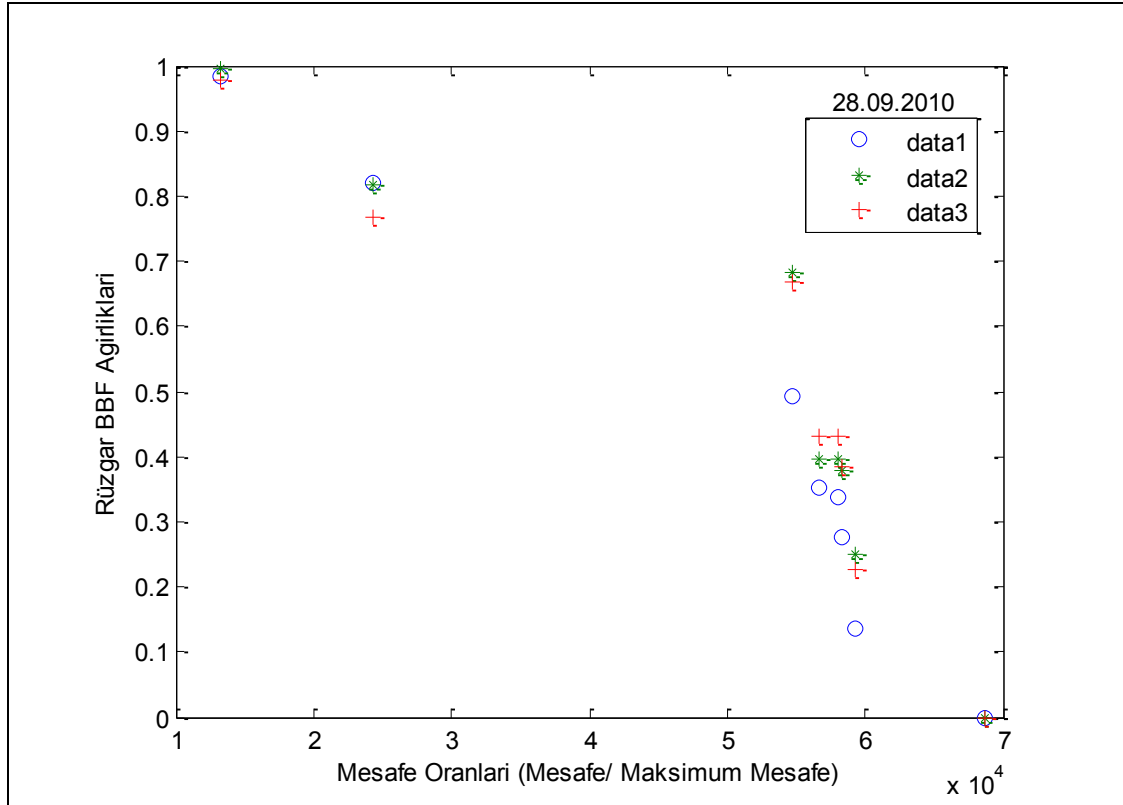
Şekil 4.45 : Yalova NTYV değerleri 22.03.2010



Şekil 4.46 : Yalova BBF değerleri 22.03.2010



Şekil 4.47 : Yalova NTYV değerleri 28.09.2010



Şekil 4.48 : Yalova BBF değerleri 28.09.2010

Elde edilen bu bölgesel bağımlılık fonksiyonlarından, diğer istasyonların verilerinin kullanılması ile BBF'ye bağlı İTÜ verisi elde edilmiştir. Ölçüme dayalı test verisi ile BBF'den elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

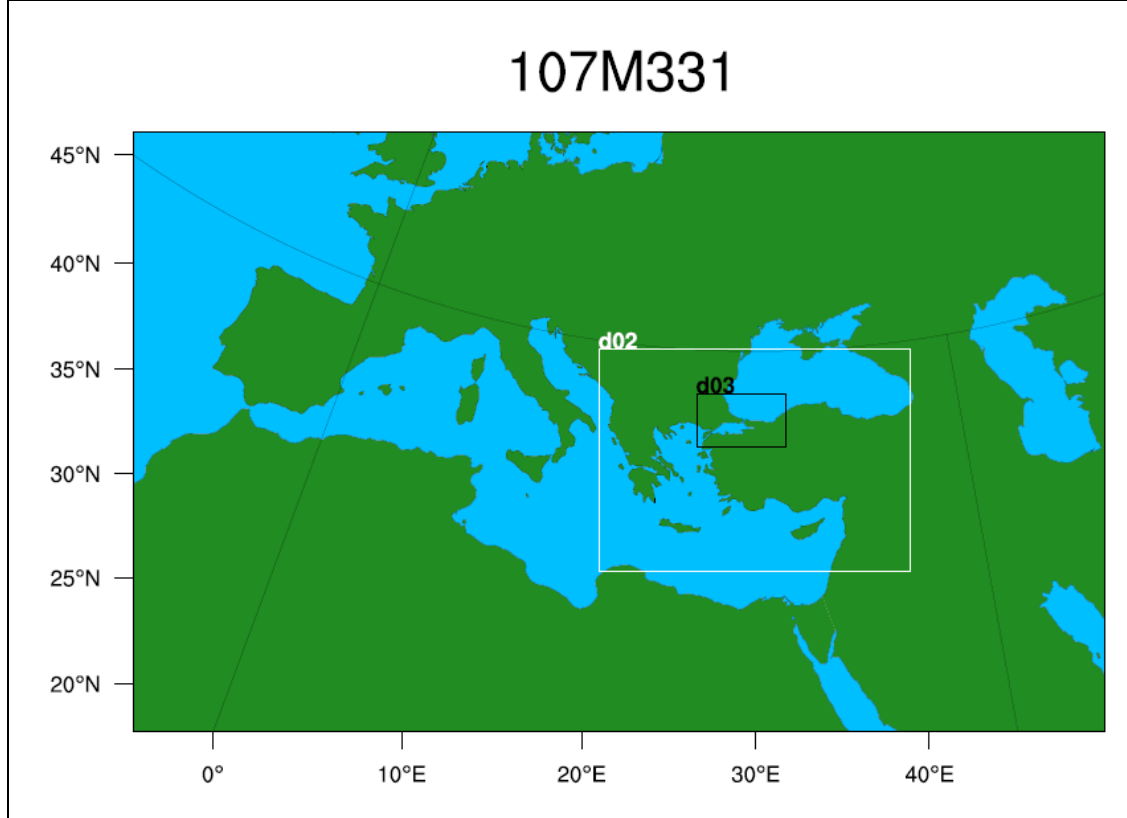
Çizelge 4.1 : İTÜ Test verisi ile BBF verilerinin karşılaştırılması

İTÜ (ölçüm)	Rüzgar(BBF tahmin)
2,0014	3,86844
0,444635	2,74391
2,19936	2,30417
2,02111	3,56418
1,45882	1,77235
3,4677	3,29523
4,21267	5,50942
3,04871	3,71846
2,97183	4,2195
2,93818	2,59073
1,17482	3,99708
3,50882	3,32016
0,851097	3,64255
0,851097	3,64255
0,843323	2,74527
0,843323	2,74527
0,472358	3,20456
0,472358	3,20456
0,768147	2,57076
0,768147	2,57076
1,62187	2,80866
0,0999898	1,56306
0,0999898	1,56306
1,45361	3,97473

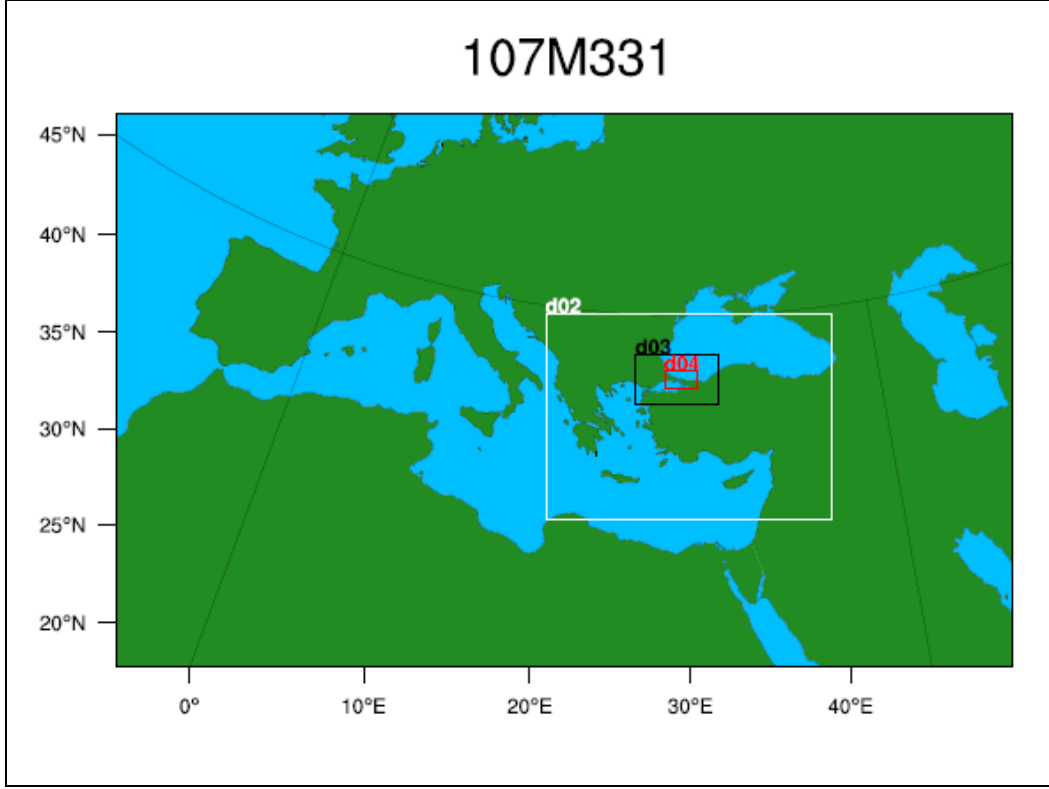
4.4.2 WRF esaslı alansal tahmin

Bu tez çalışmasında jeoistatistiksel alan modellerine ilaveten fiziksel temellere dayanan bir sayısal hava tahmin modelinin çıktılarının alınması hedeflenmektedir. Kullanılan model son yıllarda güvenilirliği ve operasyonel kullanırlığı artan Weather Research and Forecasting (WRF) sayısal hava tahmin modelidir. Yapılan bu çalışmada Şekil 4.49'da görüleceği üzere Türkiye'yi ve Marmara bölgesini de içine alan geniş bir alanda üç nest (kutu) yapılmış ve buna göre programın alt yapısı

hazırlanmıştır. Bu projenin asıl hedefi bir istasyonda ölçülmüş değerleri alansal ve zamansal modeller ile öncelikle İstanbul'a daha sonra mümkünse çevresine yaymaktır. Üç kutulu çalışma ile Marmara bölgesine ait grid (ağ) yapısı oluşturulmuştur (Şekil 4.42). Alansal modeller ile ilgili bütün çalışmalar alt yapısı kurulan bu grid yapıları üzerinde devam edecektir. Bu tür alansal modeller grid merkezli çalışmaktadırlar. Gridlerde elde edilen değerler daha sonra alansal enterpolasyonlarla istenen noktalara taşınabilmektedirler.



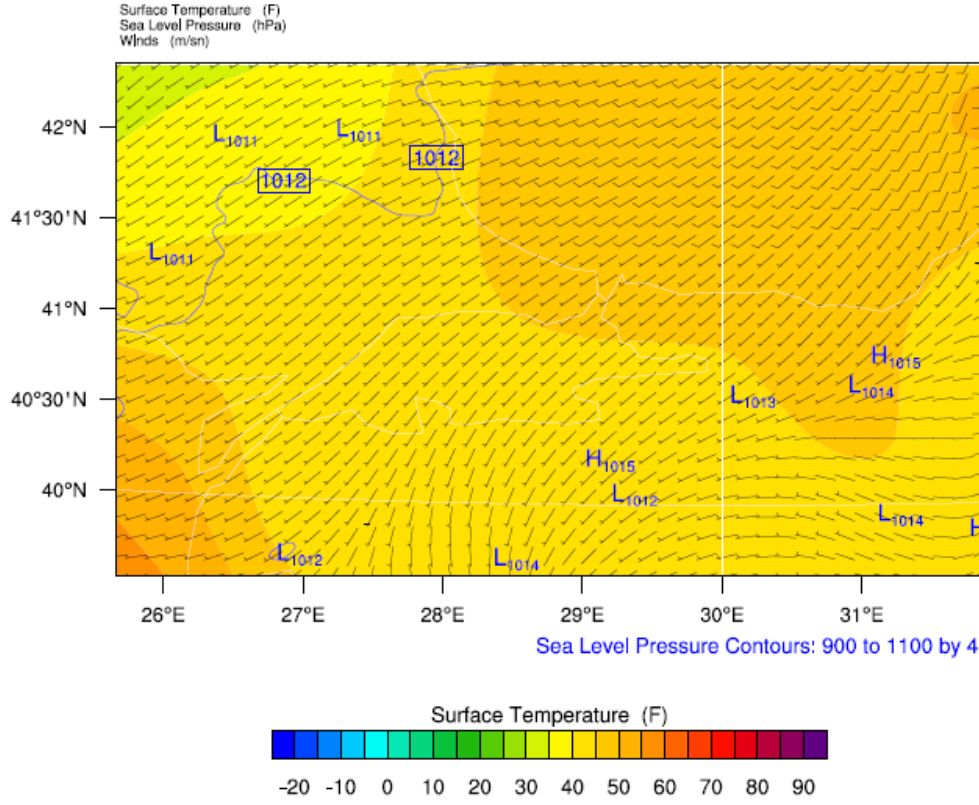
Şekil 4.49 : WRF modelinin üç kutulu ölçeğe göre oluşturulan bölgesel altlığı. Bunun yanında modelin İstanbul ve civarına göre çalıştırılabilmesi için dört kutulu olacak şekilde WRF modelinin alt yapısı hazırlanmıştır (Şekil 4.50). Bu altlıkların hazırlanması ile istasyonda ölçülen değerler ile grid noktaları arasında tam bir ilişki kurulabilecektir.



Şekil 4.50 : WRF modelinin dört kutulu ölçeğe göre oluşturulan bölgesel altlığı
14 Şubat 2010 tarihli İstanbul için modele göre sıcaklık, basınç ve rüzgarı altlığı elde edilmiştir (Şekil 4.51).

107M331.....REAL-TIME WRF

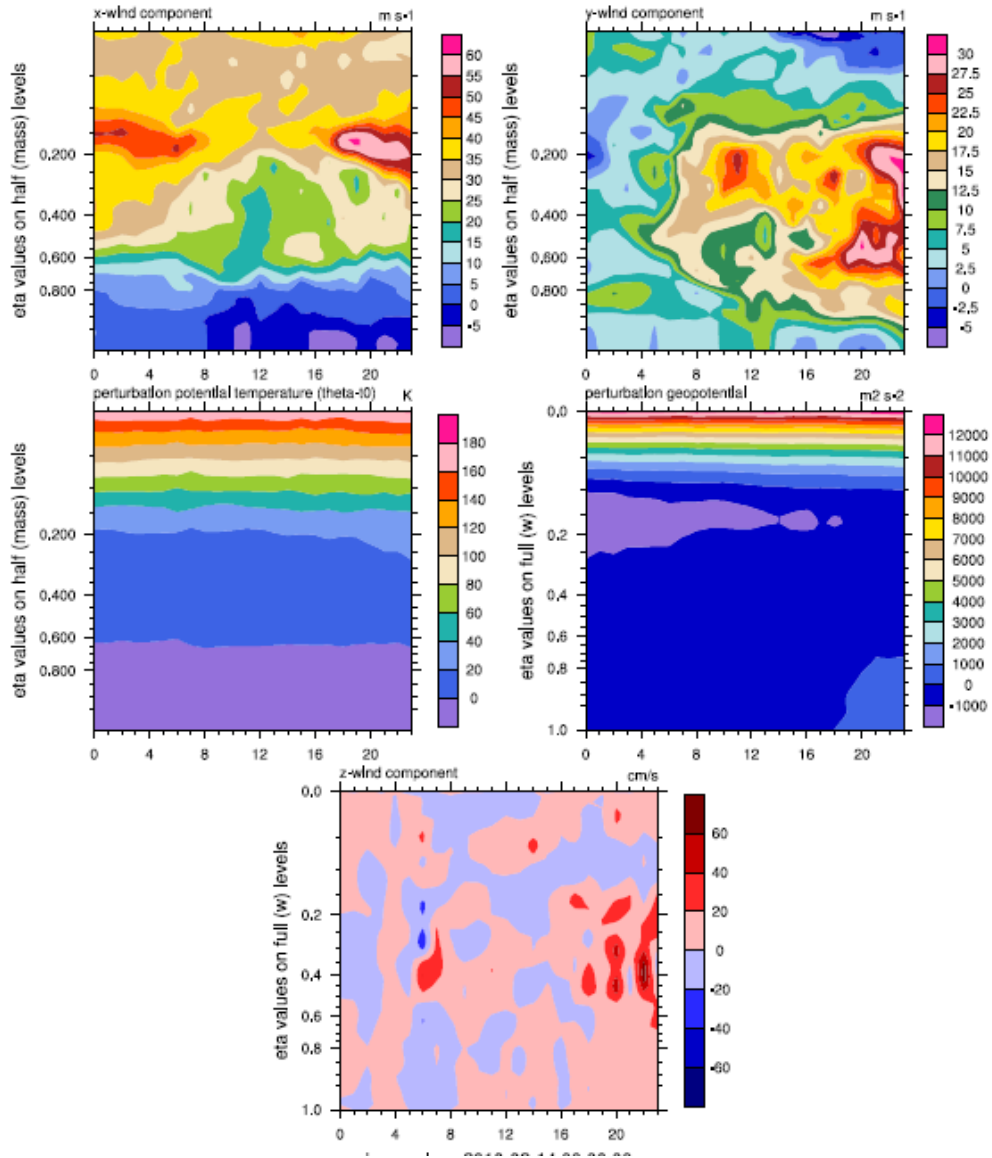
Init: 2010-02-14_00:00:00
Valid: 2010-02-14_00:00:00



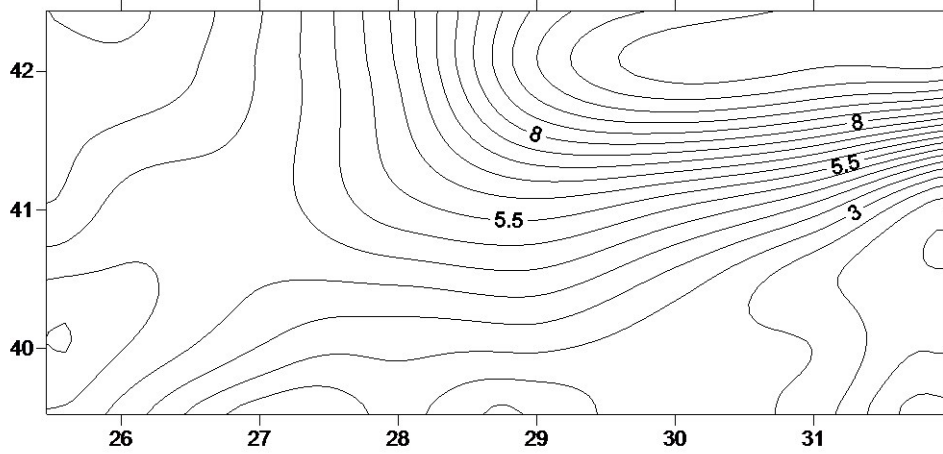
Şekil 4.51 : 14.02.2010 ‘a ait yüzey sıcaklığı, deniz seviyesi basıncı ve rüzgar şiddetleri

Bu altlıkların yanında atmosferin farklı seviyelerindeki durumlarını gösteren model çıktıları Şekil 4.52’de verilmiştir. Bu model çıktılarına dayanarak yukarı atmosfer seviyelerindeki rüzgar enerjisi ve ekserjisinin aynı zamanda haritaları elde edilebilecektir. Özellikle üç boyutlu (x, y ve z eksenleri boyunca) rüzgar şiddetleri, rüzgar kararlılığı ve türbülans konularında birçok bilgi verecektir.

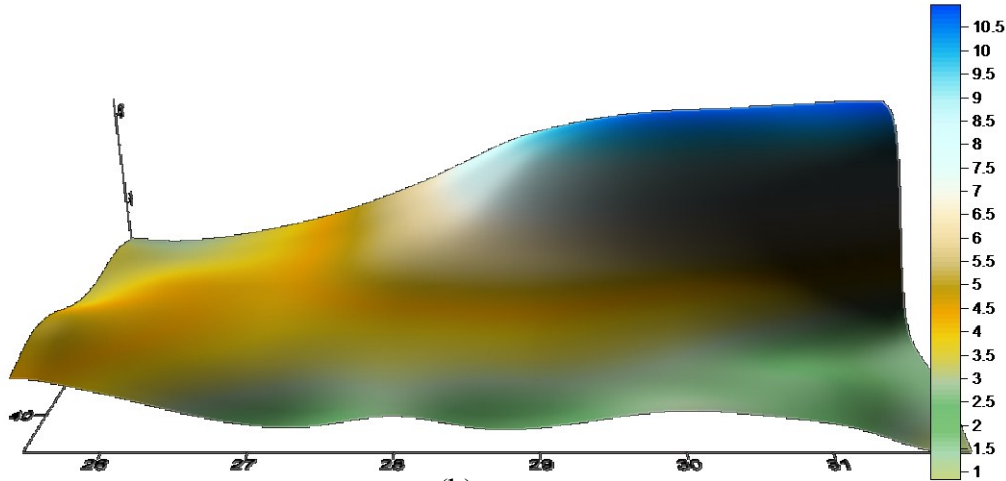
WRF-SCM: 39.55N 25.69W



Şekil 4.52 : Yukarı atmosfer seviyeleri için rüzgarın farklı parametreleri ve değişimleri İstanbul ve çevresine indirgenen model değerlerinin iki boyutlu (kontur) ve üç boyutlu haritaları, rüzgar şiddeti açısından gece +00Z saatleri için elde edilmiştir. Üç boyutlu şekilde görüldüğü üzere 9-10 m/s ye ulaşan rüzgar şiddetleri bulunmaktadır (Şekil 4.53).



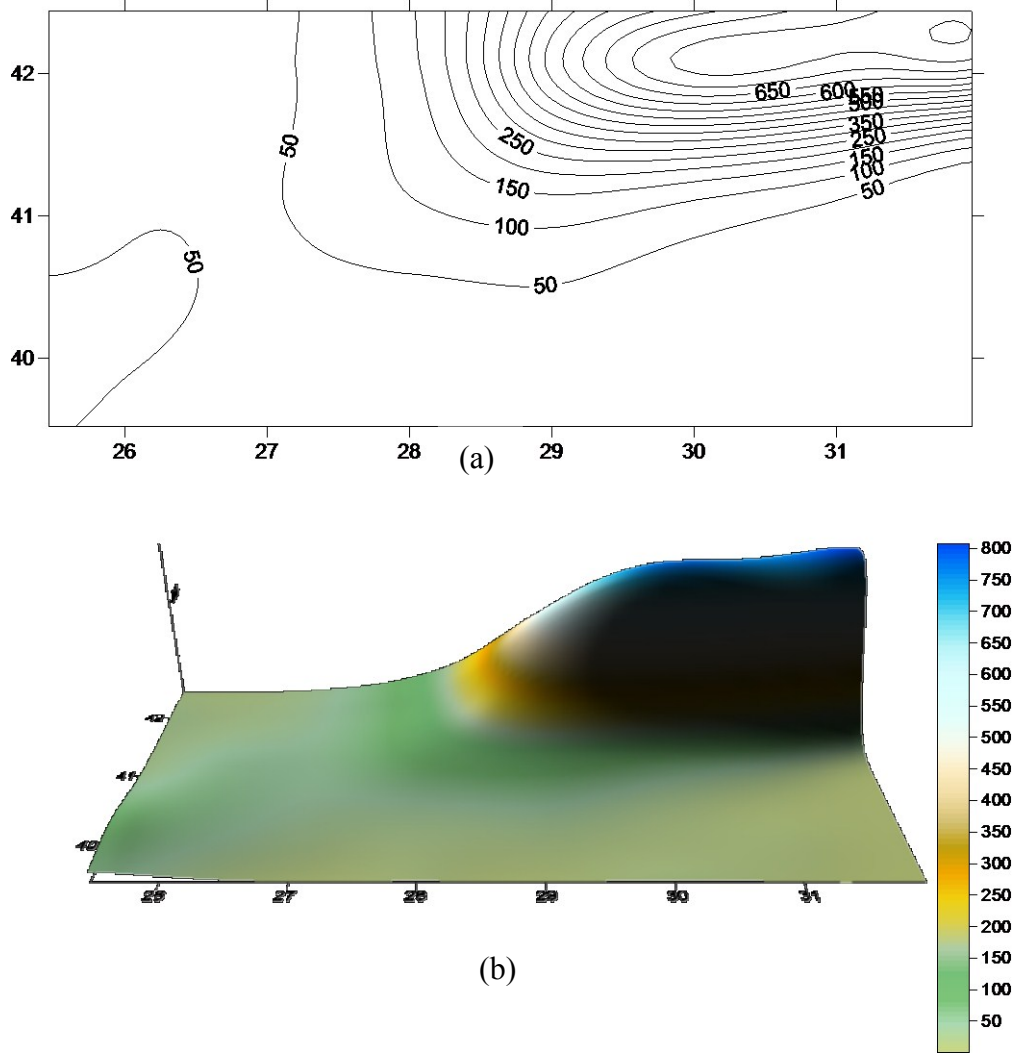
(a)



(b)

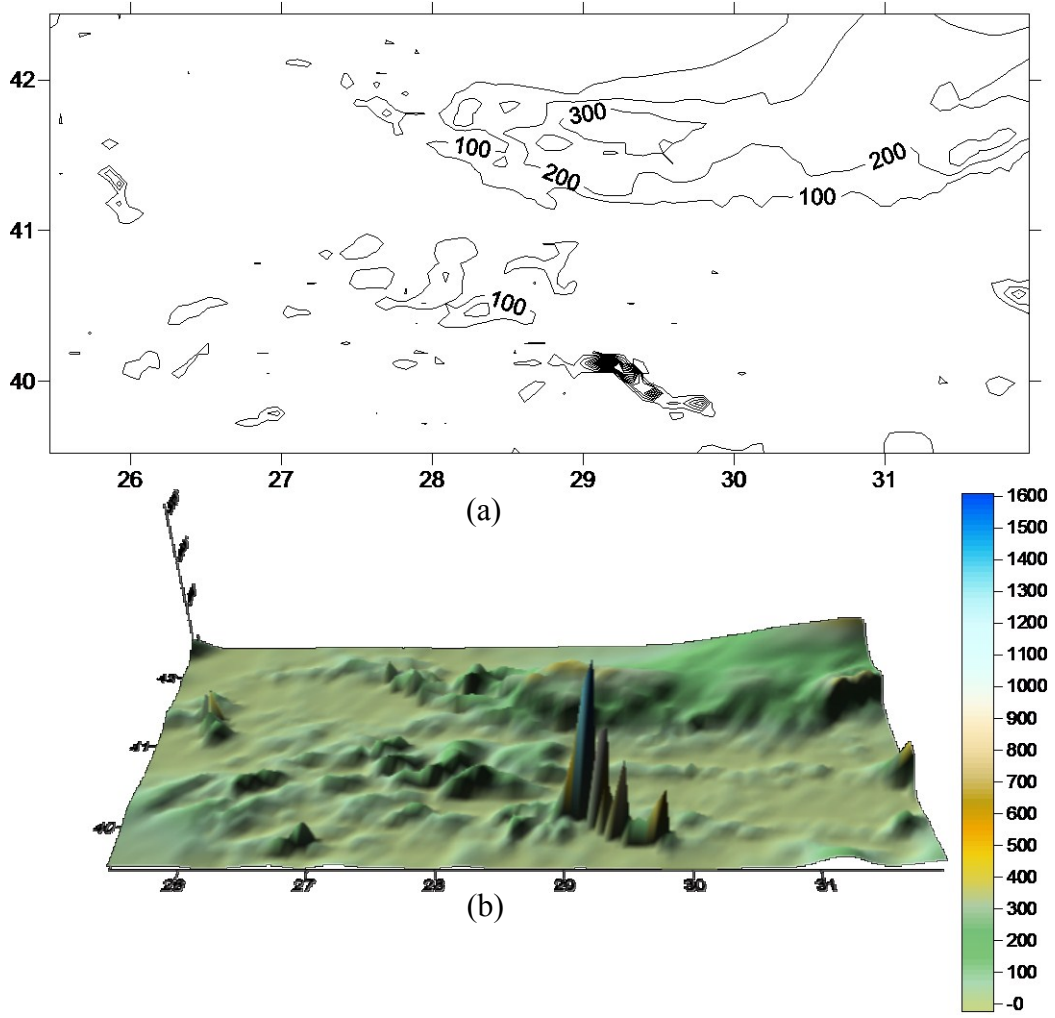
Şekil 4.53 : Gözönünde bulundurulan bölge için +00Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar haritaları

WRF modeline göre elde edilen rüzgar şiddetlerinin güç değerleri elde edilmiş ve tekrar aynı zaman dilimi için haritalar oluşturulmuştur (Şekil 4.54). Şekil 4.54 ve 4.55’de elde edilen haritalardan görülen önemli özelliklerden birisi atmosferdeki kararlılıktır. Gece şartlarından dolayı belirtilen zaman diliminde bölgesel kararlılığın olduğu rahatlıkla görülebilmektedir.



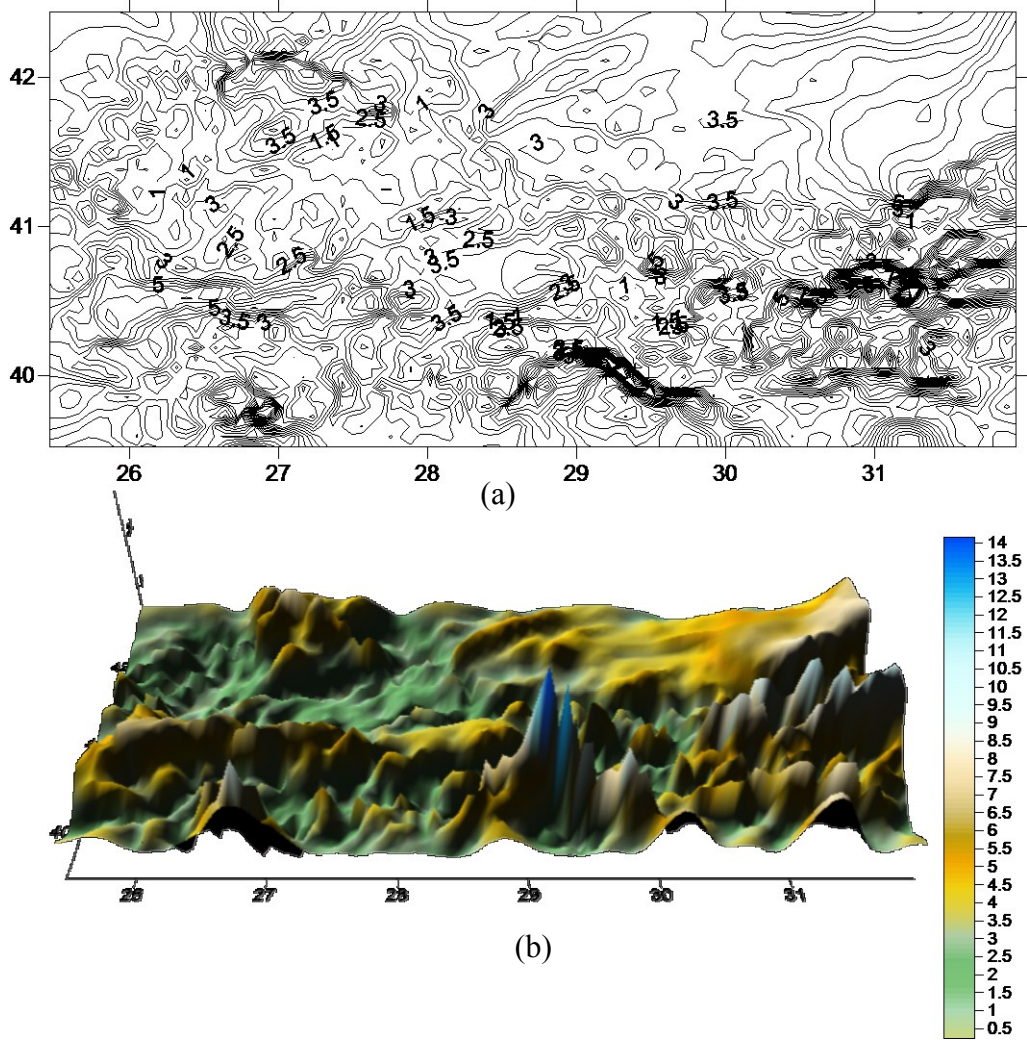
Şekil 4.54 : Gözönünde bulundurulan bölge için +00Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar enerjisi haritaları

Benzer haritalar 3'er saat arayla bahsi geçen bölge için tekrar elde edilmişlerdir. Örneğin +03 Z'te gerek rüzgar şiddetinde gerekse güç yoğunluklarında kararlılığın bozulmaya başladığı kolaylıkla görülebilmektedir (Şekil 4.55).

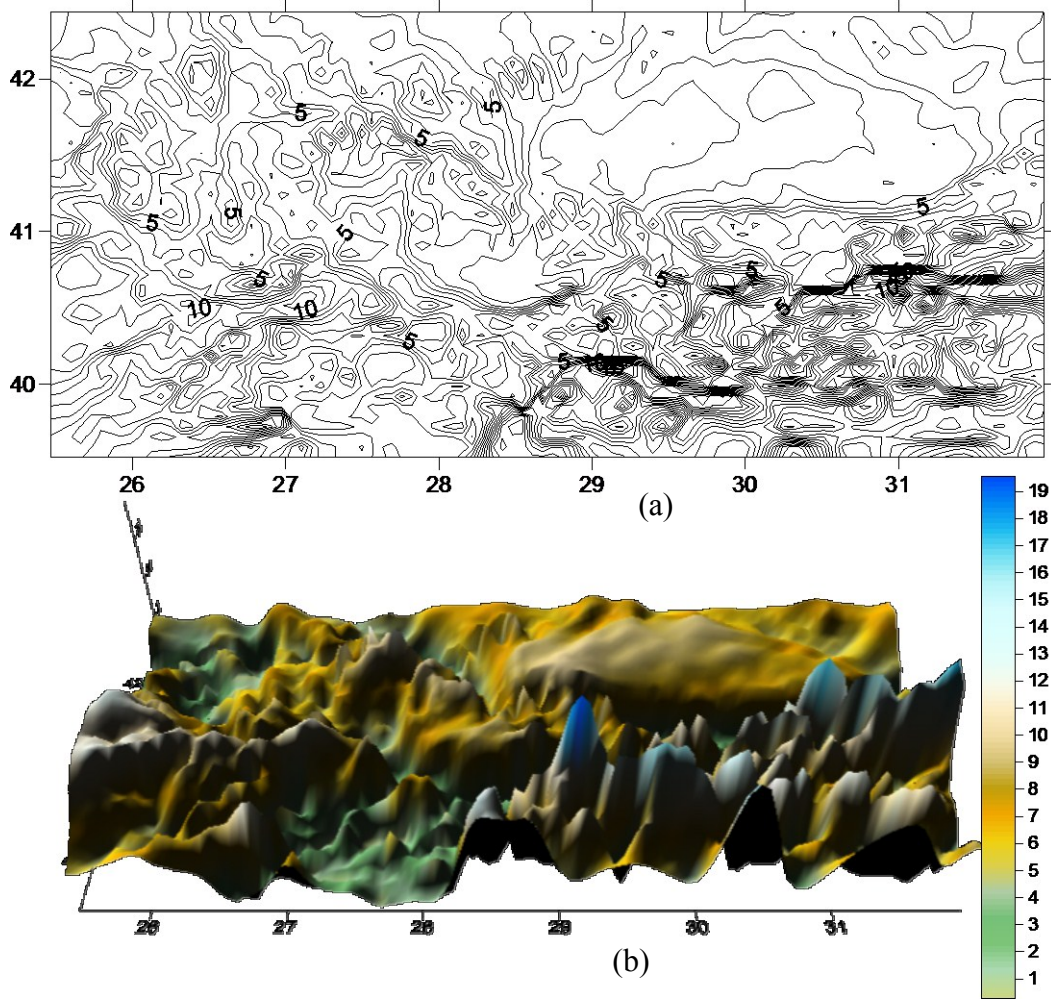


Şekil 4.55 : Gözönünde bulundurulan bölge için +03Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar enerjisi haritaları

Aynı tarihte öğle saatlerinde atmosferik kararlılığın azalmasından dolayı rüzgar şiddeti ve enerjisinde de kararsızlıklar hızlıca artmıştır (Şekil 4.56-57).

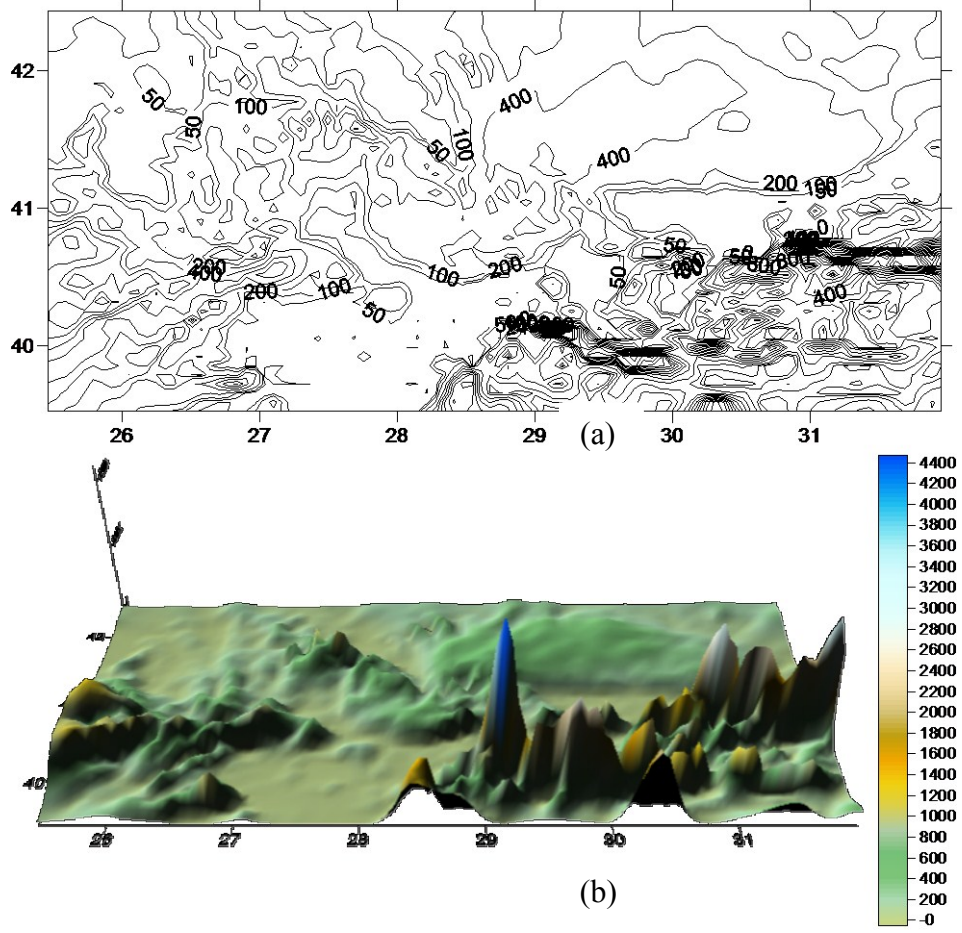


Şekil 4.56 : Gözönünde bulundurulan bölge için +12Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar haritaları



Şekil 4.57 : Gözönünde bulundurulan bölge için +12 Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar güç haritası

Benzer haritalar akşam +22:00Z zamanı için de yapılmış ve kararsızlığın gittikçe azaldığı görülmüştür (Şekil 4.58).



Şekil 4.58 : Akşam +22:00 Z zamanında (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu WRF rüzgar güç haritası

Bundan sonraki adımda yukarıda bahsedildiği üzere bu değerler başta sistemin kurulu olduğu noktaya göre ve gerekirse diğer noktalara bağlı olarak yeniden atanacak, bulunan ekserji değerlerinin haritaları elde edilecektir.

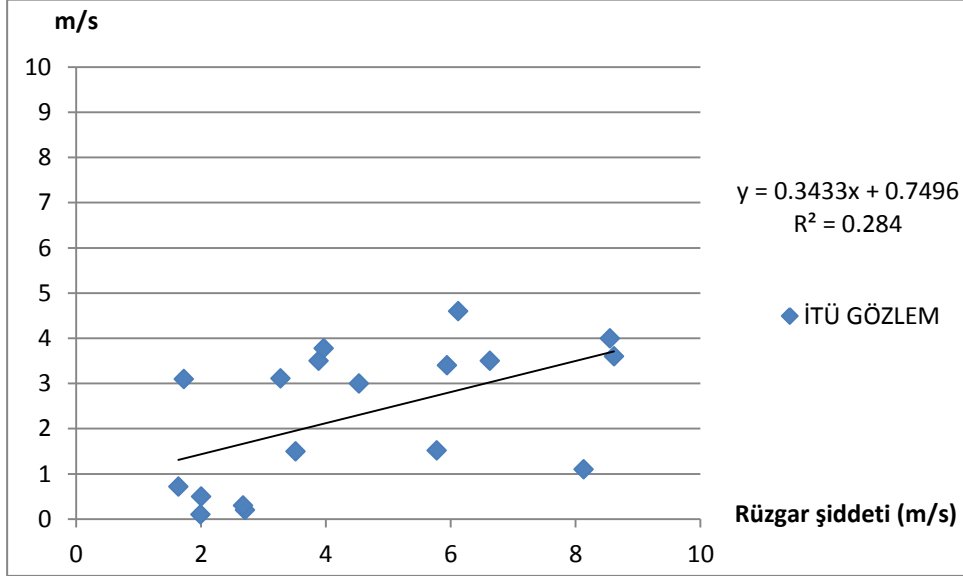
Bu çalışmada grid noktalarından hareketle istenilen noktanın rüzgar veya diğer parametreleri bulunmaktadır. Gridlerden eldilen ortalama değerler ve ölçümler arasındaki bağıl hatalara bakılmıştır.

En küçük bağıl hatanın gözlemlendiği grid noktasına kadar devam edilmiştir. En küçük hatanın olduğu grid noktalarından ileriye gidilmemiştir. Örnek olarak vermek gerekirse İTÜ’de örnek 4,5 m/sn rüzgar gözlemlenmişse öncelikle İTÜ’nün çevresindeki en yakın dört gridin ortalaması alınmış ve İTÜ gözlemi ile aralarındaki bağıl hataya bakılmıştır. Daha sonra bu dört gride ilave olarak bunları çevreleyen sekiz grid daha alınmış ve ortalamaları hesaplanmıştır. Eğer ortalamalar ile İTÜ gözlem arasındaki bağıl hata daha çok ilerlerse en düşük seviyedeysen bu noktada

durulmaktadır. Bir anlamda İTÜ'den mesafesi ötede alansal-zamansal tahmin yapılabilmektedir.

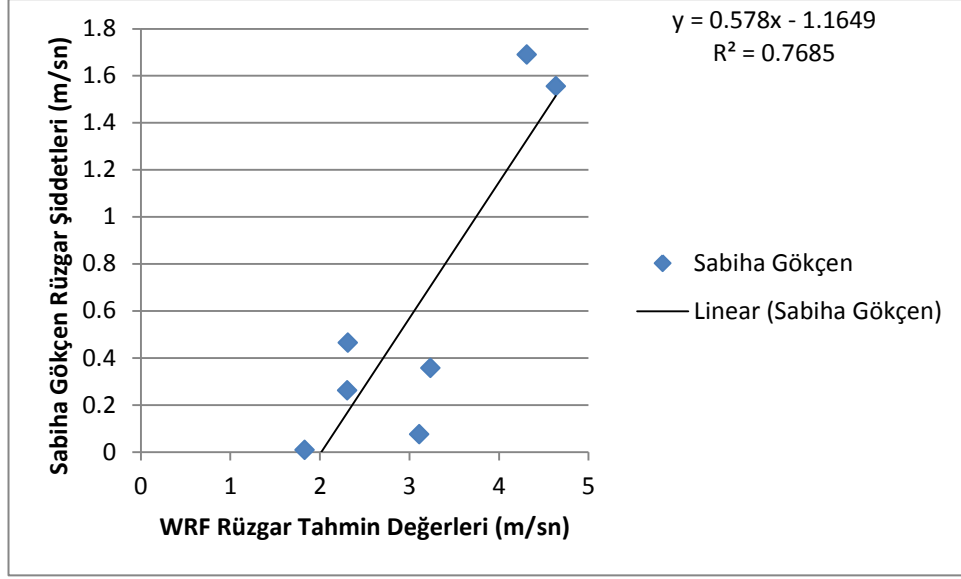
Bununla ilgili olarak her bir istasyonun verisi en küçük hataları verecek şekilde grid değerlerinden hareketle hesaplanmıştır.

WRF model verisi kullanılarak İTÜ istasyonuna ait değerler tahmin edilmiş, tahmin edilen bu değerler ile ölçümler karşılaştırılmıştır. Bunun sonunda beklenenin altında bir ilişki yakalanabilmiştir.



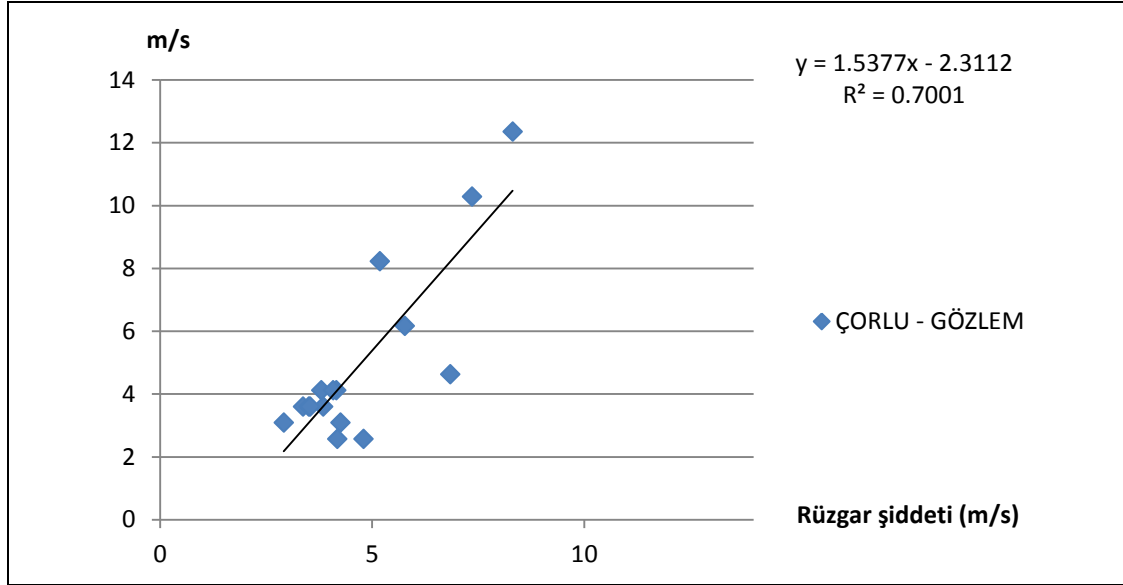
Şekil 4.59 : WRF modelinin rüzgar verileri ve İTÜ gözlemleri arasındaki ilişki

Benzer çalışma Sabiha Gökçen Havalimanı için yapılmıştır(Şekil 4.59).Sabiha Gökçen Havalimanı'nda alansal tahminlerin İTÜ'ye göre daha çok eşleştiği söylenebilmekle beraber regresyon eğrisi elde etme açısından daha düşük başarı yakalanmıştır (Şekil 4.59).



Şekil 4.60 : WRF model verileri ve Yalova gözlemleri arasındaki ilişki

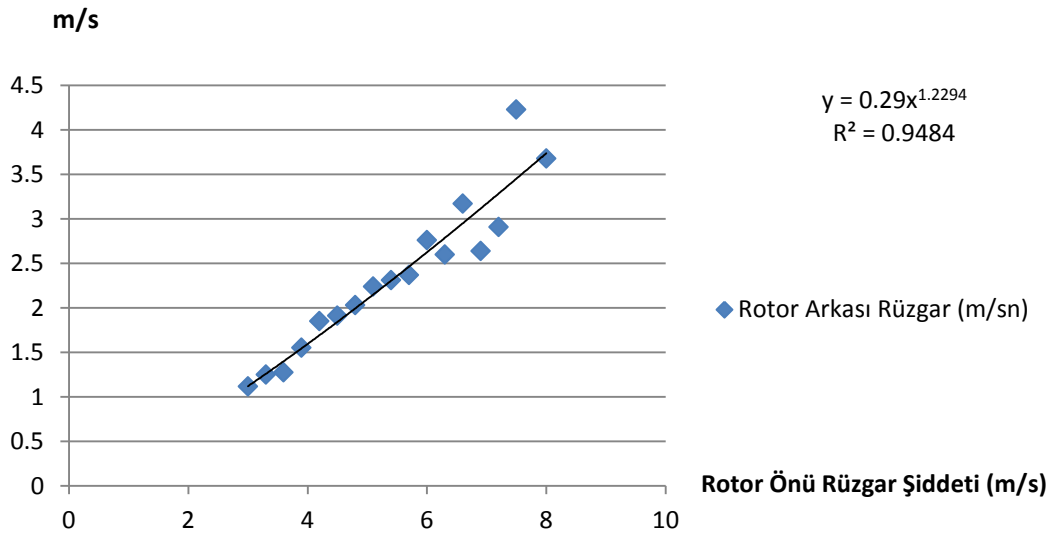
Benzer çalışma Çorlu için de yapılmıştır. Çorlu ve Sabiha Gökçen Havalimanında bulunan istasyonlardaki tahmin başarısı ne yazıkki diğerlerinde gözlemlenememiştir. Bunun sebebi ise arazinin yapısı ve şehrin meteorolojik değişkenlere olan etkisi olarak yorumlanabilir. Şekil 4.61’te Çorlu gözlem ve WRF model verileri arasındaki ilişki verilmektedir. Daha önce açıklandığı üzere Çorlu ve Sabiha Gökçen Havalimanı istasyonu alanı daha iyi tahmin etmesi açısından temsili bir konumda bulunmaktadır. Bundan dolayı tahminlerde temsiliyeti yüksek değerler elde edilmiştir (Şekil 4.61).



Şekil 4.61 : WRF model verileri ve Çorlu gözlemleri arasındaki ilişki.

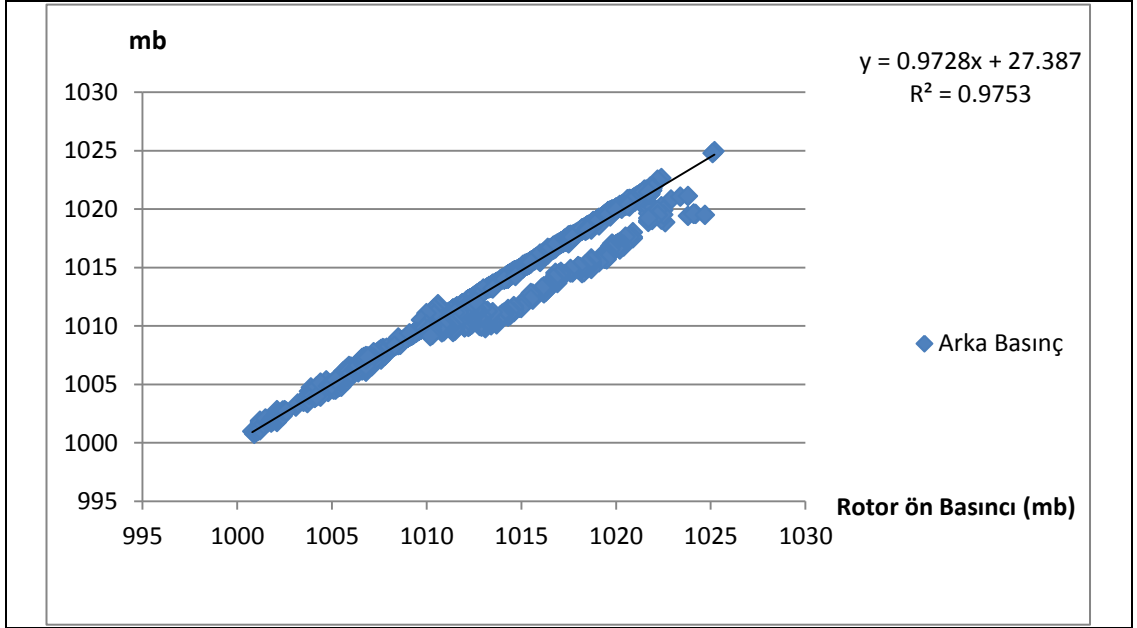
4.4.3 Rüzgar enerji sistemlerinin wrf ile enerji ve ekserji tahminleri

WRF ile enerji ve ekserji tahminleri için İTÜ’de kurulan sistemden elde edilen parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak WRF bu parametreleri çıktı olarak vermemektedir. Bu yüzden WRF çıktılarından bu parametrelerin değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamayı yapabilmek içinse ölçülen değerler arasındaki ilişkiyi bilmek gerekmektedir. Şekil 4.62’de rotor önünde ölçülen rüzgar şiddetleriyle arkasında ölçülen rüzgar şiddetleriarasındaki ilişki görülmektedir.



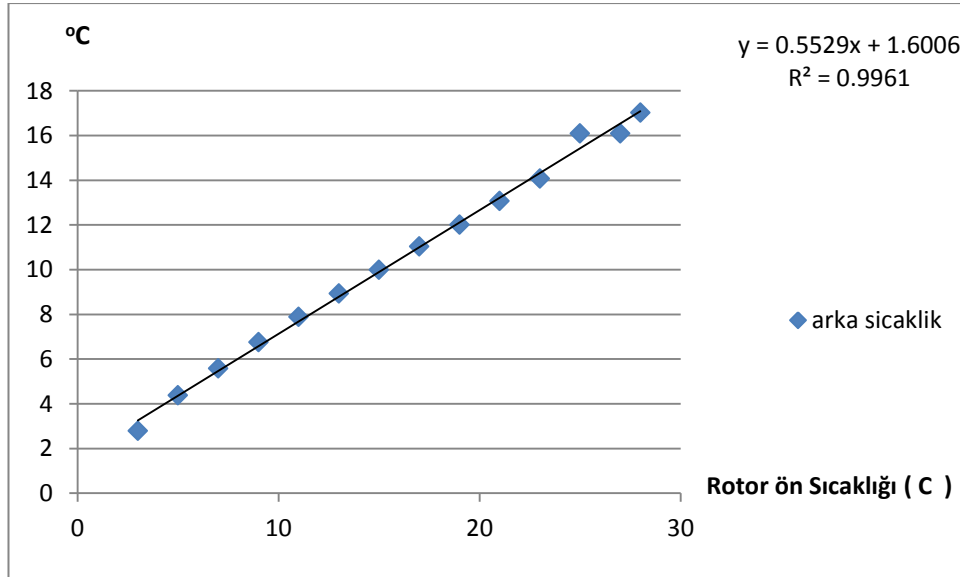
Şekil 4.62 : Rotor ön ve arkasında ölçülen rüzgar şiddetlerinin ilişkisi

Şekil 4.63’de rotor önünde ölçülen basınç değerleri ile arkasında ölçülen basınç değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.



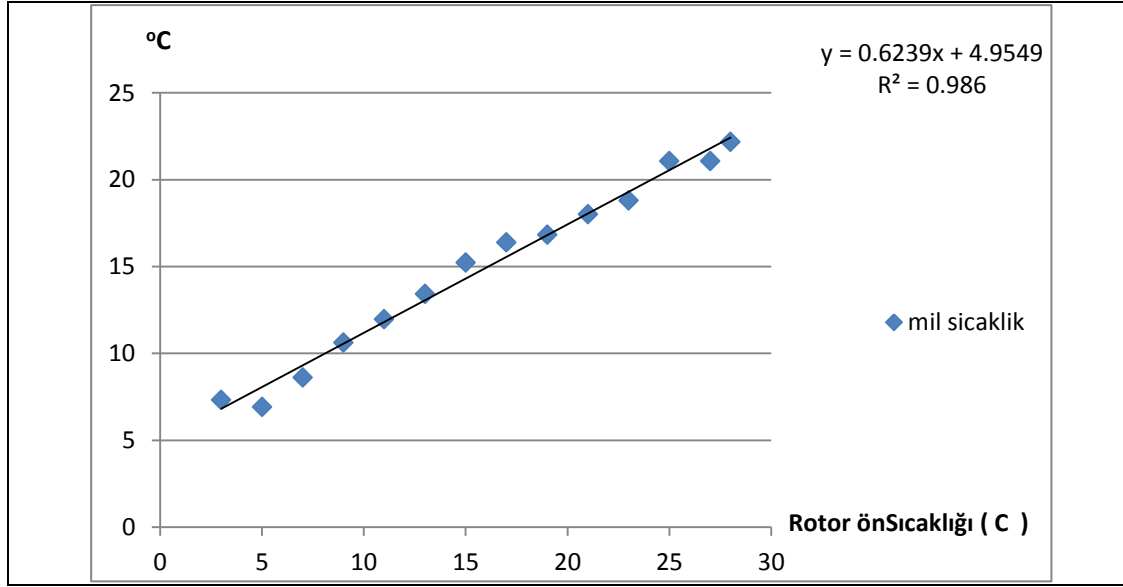
Şekil 4.63 : Rotor ön ve arkasında ölçülen basınç değerleri arasındaki ilişki

Şekil 4.64’de rotor önünde ölçülen sıcaklık değerleri ile arkasında ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.



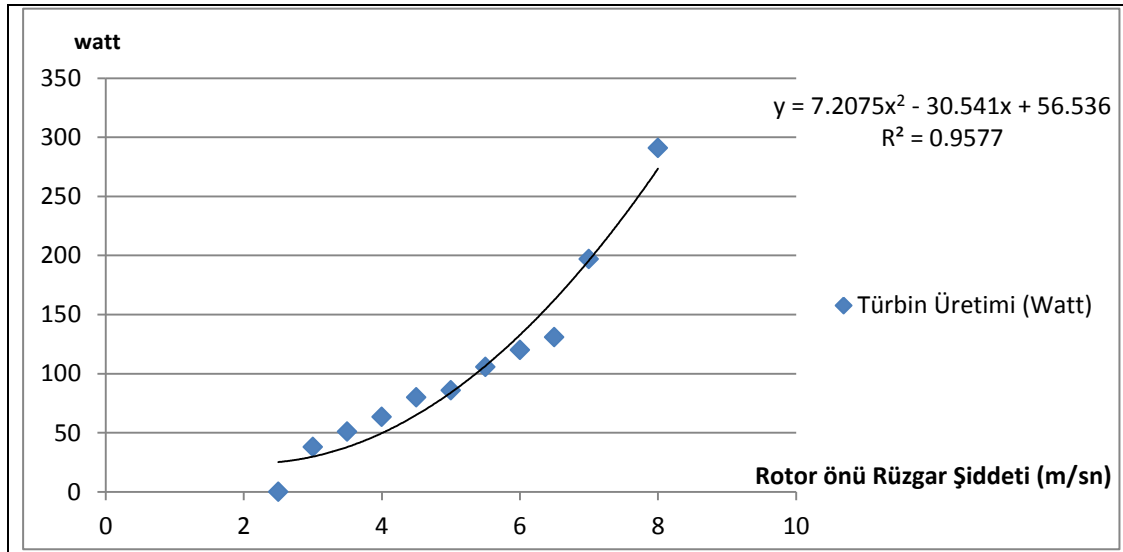
Şekil 4.64 : Rotor ön ve arkasında ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki ilişki

Şekil 4.65’de rotor önünde ölçülen sıcaklık değerleri ile mil sıcaklığı arasındaki ilişki görülmektedir.



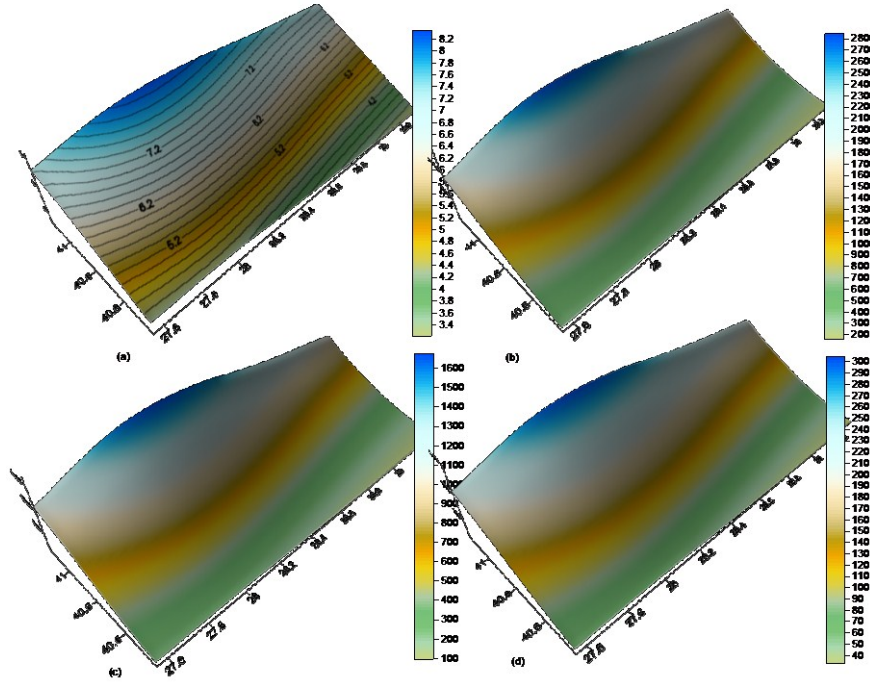
Şekil 4.65 : Rotor önünde ölçülen sıcaklık ve mil sıcaklığı arasındaki ilişki

Şekil 4.66’de rotor önünde ölçülen rüzgar şiddeti ile üretilen elektrik arasındaki ilişki görülmektedir.

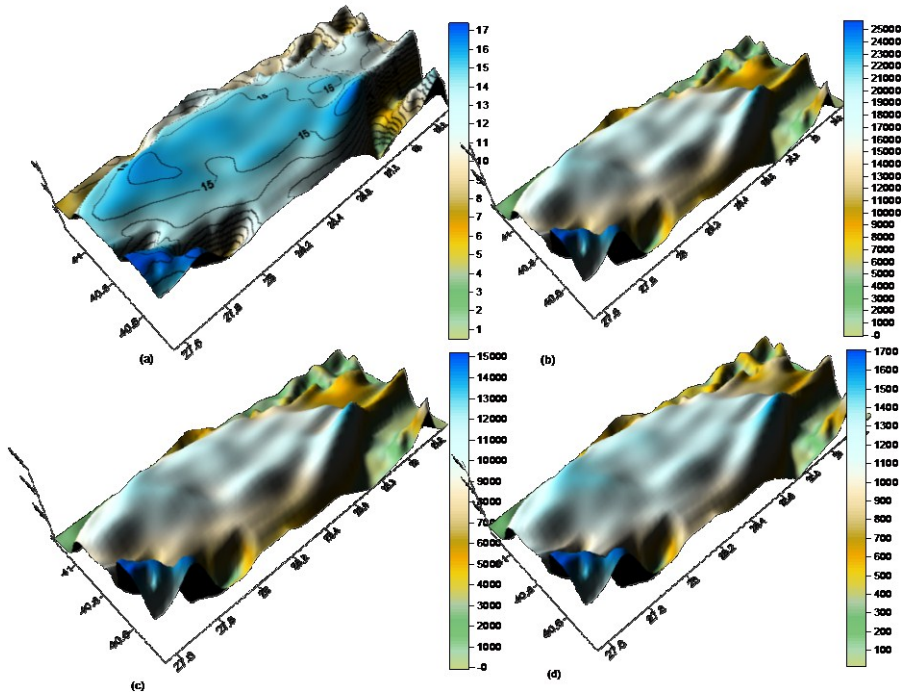


Şekil 4.66 : Rotor önünde ölçülen rüzgar şiddeti ile üretilen elektrik arasındaki ilişki

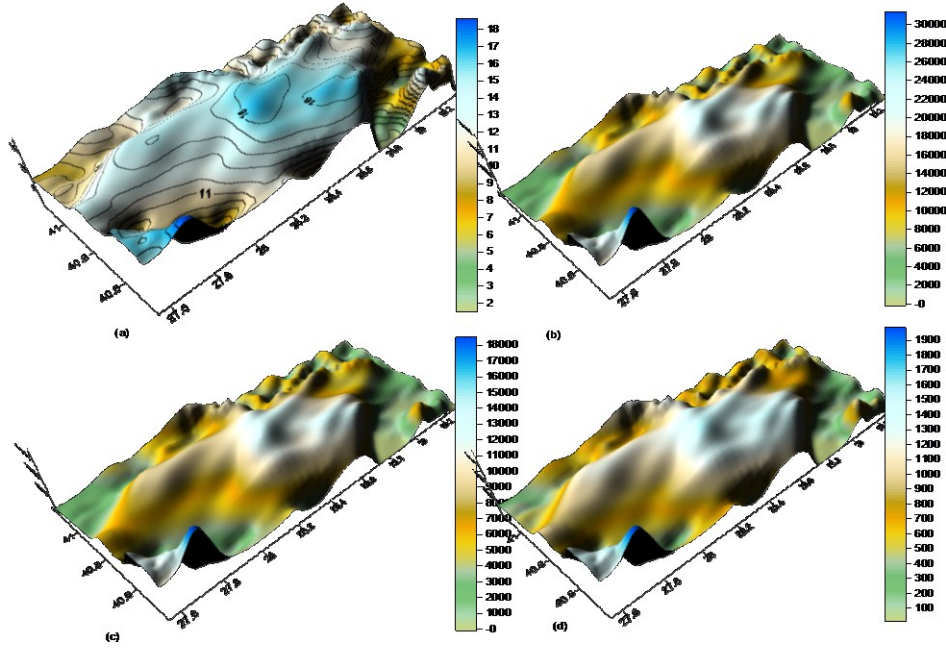
Ölçülen parametreler arasındaki ilişkiler Şekil 4.63-66’den de görüldüğü gibi oldukça yüksek bir ilişki elde edilmiştir. Bu ilişkiler ile WRF modelinden elde edilen sıcaklık, basınç ve rüzgar şiddeti değerleri kullanılarak enerji ve ekserji hesaplamalarında gerekli olan değişkenler hesaplanmıştır. Bunun neticesinde İstanbul için rüzgar şiddeti, rüzgar potansiyeli, Betz’e göre rüzgar potansiyeli, üretilen elektrik, enerji ve ekserji verimlilikleri haritaları çizilmiştir (Şekil 4.67-70).



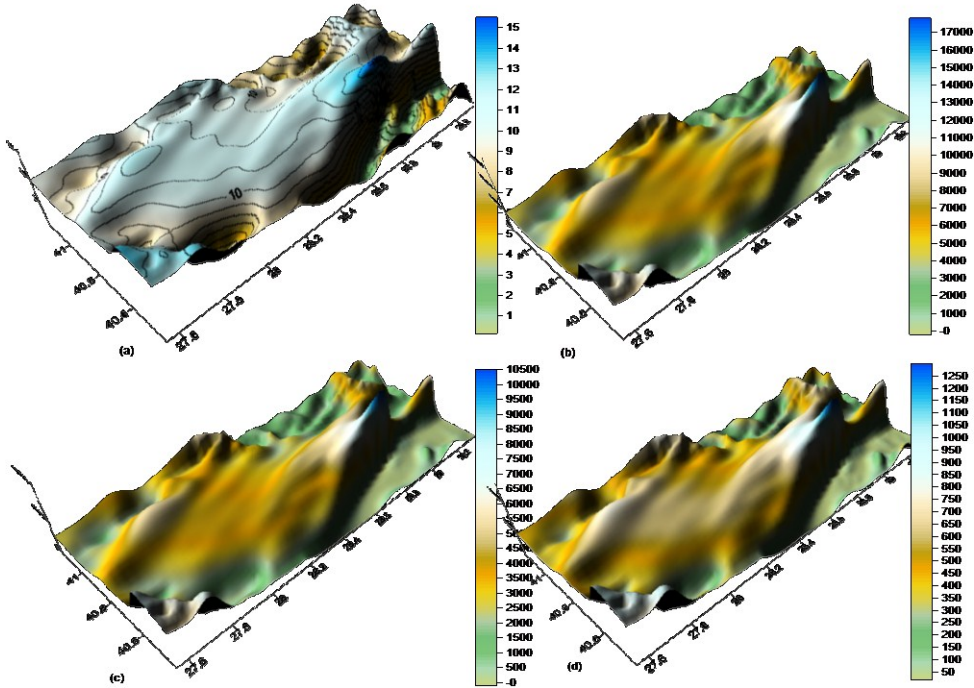
Şekil 4.67 : 8 Mart 2010 tarihli saat 00 için (a)rüzgar şiddeti (m/s) (b) Rüzgar potansiyel enerjisi (watt) (c) Betz limitine göre rüzgar potansiyeli (watt) (d) Üretilen elektrik (watt) haritaları



Şekil 4.68 : 8 Mart 2010 tarihli saat 06 için (a) rüzgar şiddeti (m/s) (b) Rüzgar potansiyel enerjisi (watt) (c) Betz limitine göre rüzgar potansiyeli (watt) (d) Üretilen elektrik (watt) haritaları



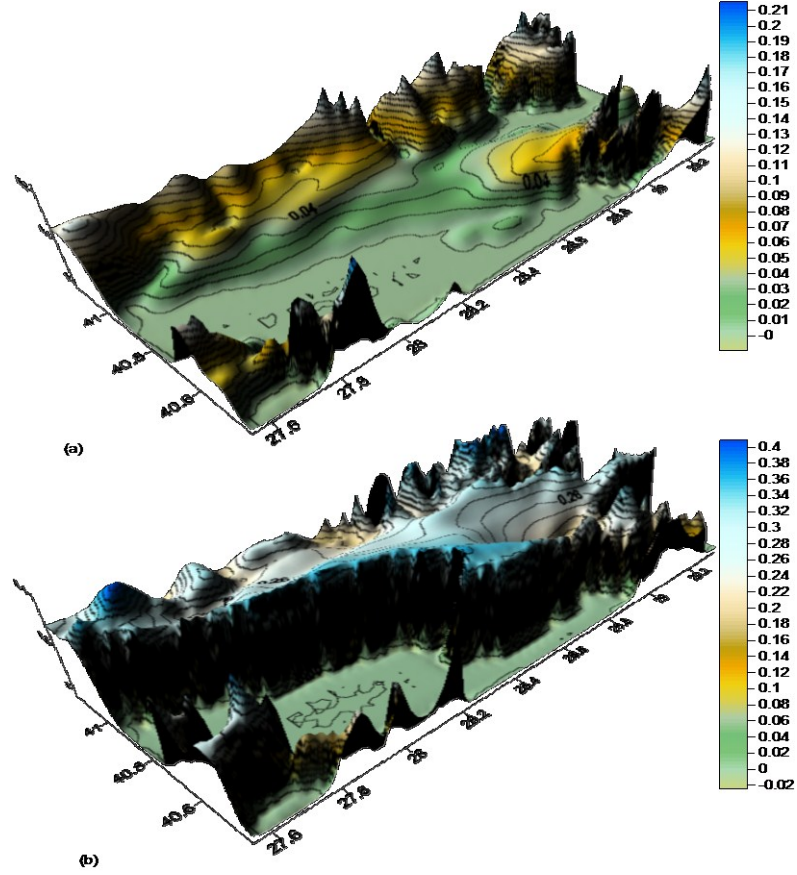
Şekil 4.69 : 8 Mart 2010 tarihli saat 12 için (a) rüzgar şiddeti (m/s) (b) Rüzgar potansiyel enerjisi (watt) (c) Betz limitine göre rüzgar potansiyeli (watt) (d) Üretilen elektrik(watt) haritaları



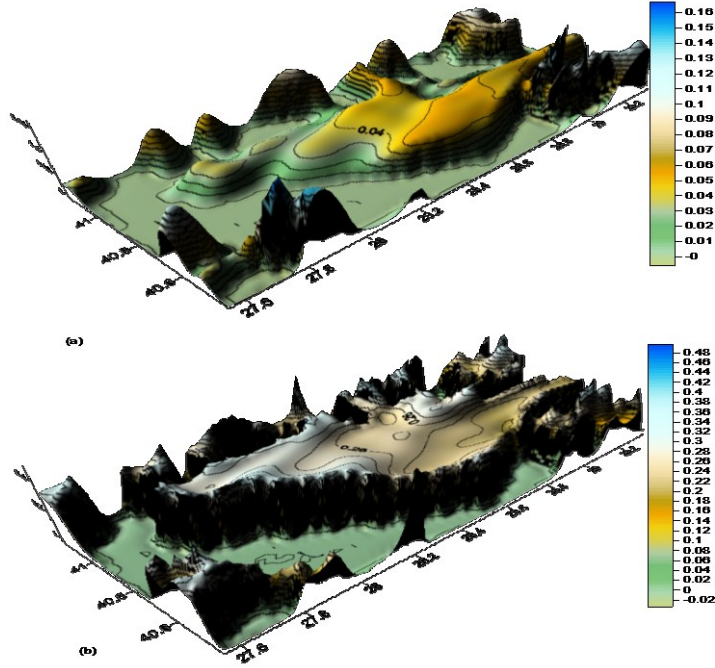
Şekil 4.70 : 8 Mart 2010 tarihli saat 18 için (a) rüzgar şiddeti (m/s) (b) Rüzgar potansiyel enerjisi (watt) (c) Betz limitine göre rüzgar potansiyeli (watt) (d) Üretilen elektrik(watt) haritaları

Şekil 4.67-70’lerden da görüldüğü gibi 8 Mart 2010 için günün ilk saatlerinde rüzgar istanbul civarında homojen bir yapıya sahipken ilerleyen saatlerinde bu homojen

yapı gittikçe bozulmaktadır. Günün ilk saatlerinde rüzgar şiddetinin hafif olmasından dolayı enerji potansiyelide düşüktür. İlerleyen saatlerde rüzgar şiddetinin artışı potansiyel enerjiyi de arttırmaktadır ancak bu artış oranı üretilen elektrik miktarında görülememektedir. Rüzgar enerji potansiyelinin artışına paralel bir şekilde üretilen elektrik miktarı artmamıştır ki bu durum bize türbinin yüksek rüzgar şiddetlerindeki rüzgarı iyi kullanamadığı göstermektedir.

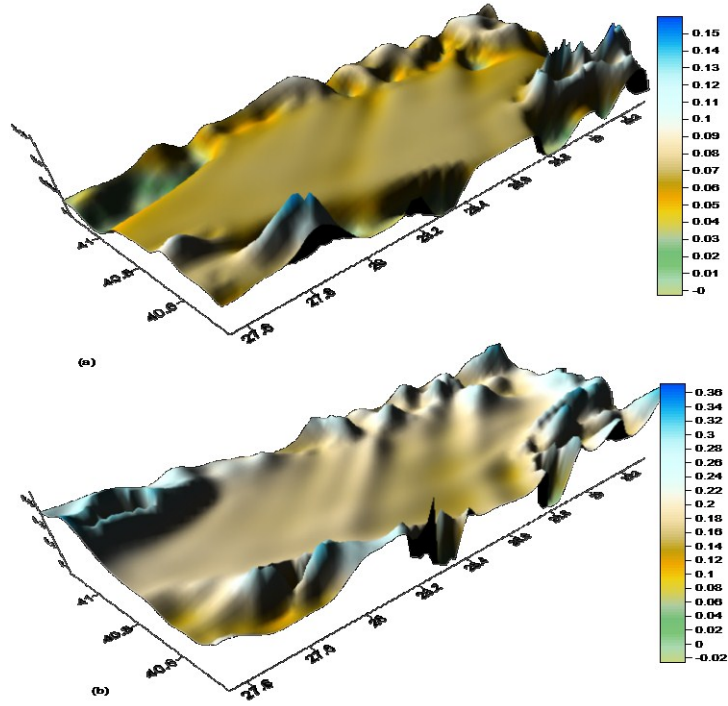


Şekil 4.71 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 03 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları

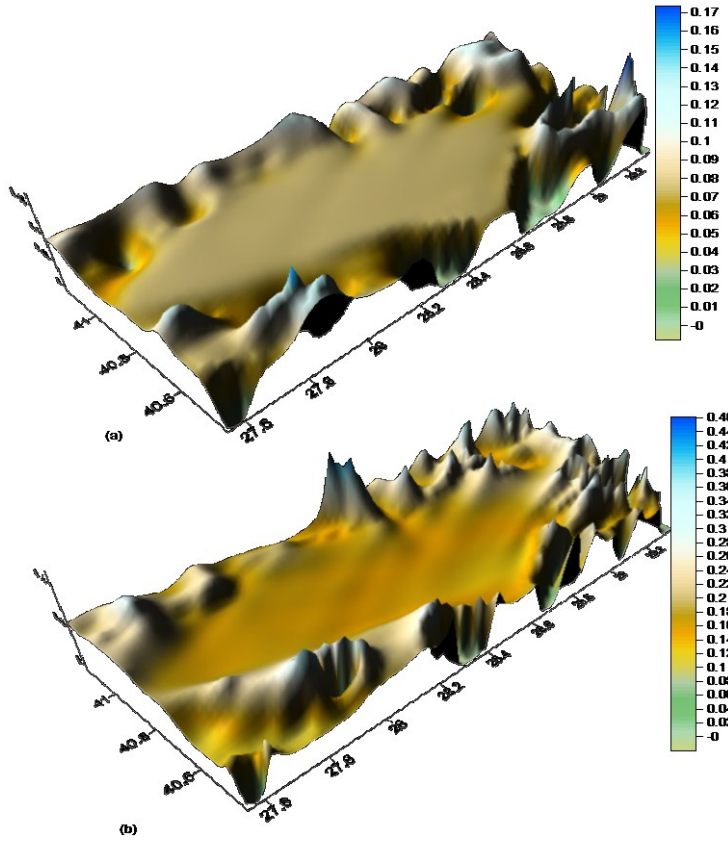


Şekil 4.72 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 06 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları

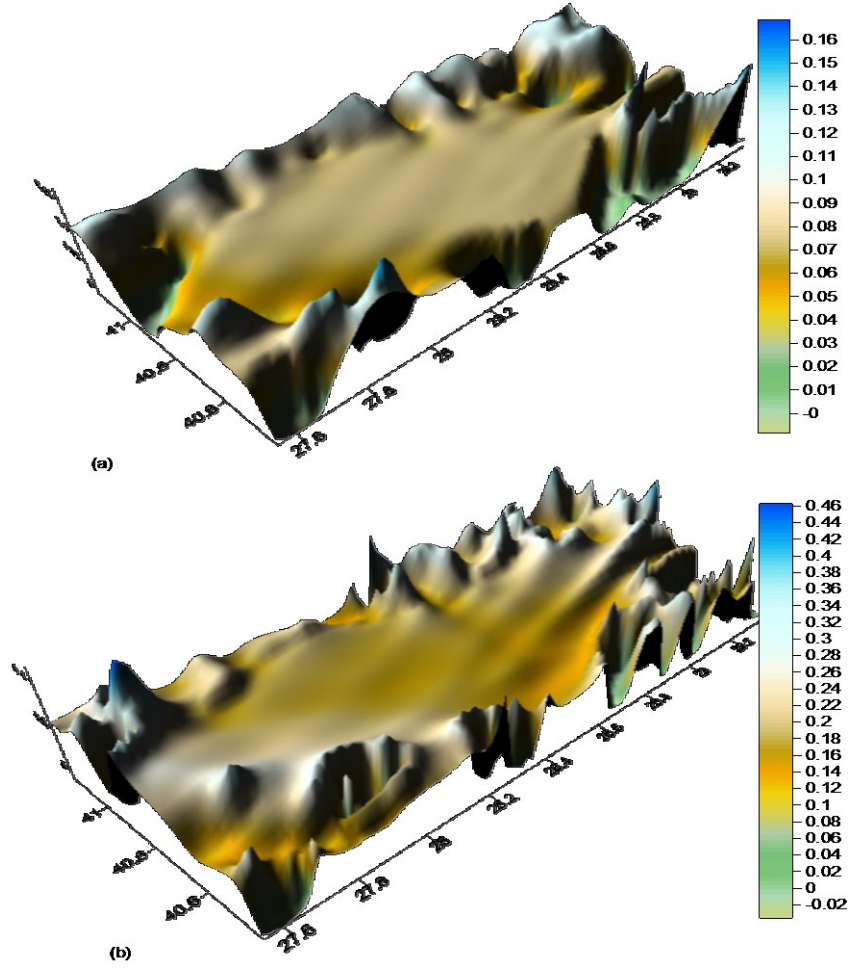
Şekil 4.71-77’da 10 Nisan 2009 günün ilk saatlerinde İstanbul’un kuzeyli bir rüzgara sahip olduğu görülmektedir. Kuzey ve güney kesimlerde rüzgar enerji verimlilikleri yüksek gözükmemektedir buna mukabil ekserji verimlilikleri ise en fazla % 21 civarı olmaktadır.



Şekil 4.75 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 15 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları



Şekil 4.76 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 18 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları



Şekil 4.77 : 10 Nisan 2009 tarihli saat 18 için (a) Ekserji verimi (%) (b) Enerji verimi (%) haritaları

Enerji verimliliklerinin yüksek olduğu bölgelerde ekserji verimliliklerinin görece düşük olduğu gözlemlenmektedir ki bu durum bize bu bölgelerdeki kayıplarının yüksek olduğunu ifade etmektedir. Günün ilerleyen zamanlarında ise deniz kara etkileşiminin olduğu bölgelerde verimliliklerin yüksek, keskin geçişli olduğu görülürken ekserji verimliliklerinde ise bu yumuşak bir geçişe tekabül etmektedir. Akşama doğru rüzgarın homojen bir yapıya döndüğü görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında 107M331 no'lu "Rüzgar-Güneş Hibrit Sistemlerinin Giriş, Çıktı, Kayıplarının ve Verimliliklerinin İstanbul Şartlarında Alan-Zaman ve Ekserji Yöntemleriyle Genel Bir Modellemesi" başlıklı Tübitak projesi çerçevesinde İTÜ Meteoroloji gözlem parkında kurulan rüzgar-güneş hibrit sisteminin ölçüm parameteleri ele alınmış, bunların alansal değişimlerine NTYV ve WRF modeli ile yaklaşmıştır. Bu tezden çıkarılabilecek sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- İstanbul şehir şartları altında rüzgar türbini kullanmak verimli değildir. Ancak PV sistemlerinde ise durum bunun aksine evsel ihtiyaçları karşılamaktadır.
- Rüzgar türbini, rotor ön ve arkasında rüzgar şiddetleri, sıcaklıklar, basınç farkları ve bağıl nem farklarının ölçülmesiyle birlikte bu bilgilerin tartışmaya açılması
- Rüzgarın soğutucu etkisi sadece canlılar üzerinde düşünülürken araya 3 pervaneli bir türbinin konulması durumunda da rotor ön ve arka sıcaklık farkları gözlemlenmiştir. Bir anlamda akışa bağlı olarak sıcaklık değişmektedir.
- Rüzgar türbini mil sıcaklığı değerlerinin gerçek uygulamada ölçülmesi ve bunların değişimlerinin izlenmesi. Özellikle düşük rüzgar şiddetlerinde yüksek mil sıcaklık değerlerinin daha yüksek sıcaklıklarda bunun tersi rüzgar durumlarında ise daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği görülmüştür.
- Fotovoltaik sistem İTÜ gözlem parkında kurulmuş ve burada toplam güneş ışıınımı ile hücre sıcaklıkları ayrı ayrı ölçülerek bu tezde tartışmaya açılmıştır.
- Fotovoltaik pillerde hücre sıcaklıklarıyla atmosfer sıcaklıkları arasında yüksek farkların olduğu gözlemlenmiştir.
- Ölçümlerin yanında rüzgar ve güneş PV sistemleri için termodinamik analiz yapılmıştır.
- Temelde ısı kayıplarının sistemlerde önem taşıdığı görülmektedir.

- Bu tip bir sistemde şu ana kadar ölçüme dayalı bir termodinamik analiz yapılmamıştır. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen bütün analizler ölçümlere dayanmaktadır.
- Entropi değerleri ile sıcaklık arasında hem güneş hem de rüzgarda ilişki olduğu görölmektedir. Özellikle PV hüzcce sıcaklığı ile PV’de ısı ve entropi kayıpları yüksek seviyelere ulaşmıştır.
- Termodinamik analiz yanında ölçüm verilerinin alansal şekle dönüştürölmesi gerekmektedir. NTYV yöntemi kullanılarak rüzgar şiddetleri alansal hale getirilmiştir. İTÜ’deki meteoroloji gözlem sitayonu ile diğer istasyonlar arasında bölgesel bağımlılık fonksiyonları kurularak alansal ilişkiler gerçekleştirilmiştir.
- Bunların yanında WRF modelinin grid çıktıları alansal tahmin için kullanılmıştır. Elde bulunan sitasyonlarda özellikle Çorlu’da ölçüm ve WRF çıktıları arasında iyi bir ilişki yakalanmıştır. Diğer istasyonlarda WRF genel de yüksek tahmin değerleri gerçekleştirmiştir.

KAYNAKLAR

- Agrawal B. and Tiwari G.N.**, 2010: Optimizing the energy and exergy of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems under cold climatic conditions, *Applied Energy*, Vol. 87, Issue 2, pp. 417-426.
- Angström, A.**, 1924: Solar and Terrestrial Radiation. *Q. J. Roy. Met. Soc.* 50, 121-125.
- Bilonick R.A.**, 1985: The space-time distribution of sulfate deposition in the northeastern United States, *Atmospheric Environment*, Vol. 19, pp. 1829-1845.
- Breitkreuz H., Homscheidt M. S., Popp T. H., Dech S.**, 2009: Short-Range Direct and Diffuse Irradiance Forecasts for Solar Energy Applications Based on Aerosol Chemical Transport and Numerical Weather Modeling, *Journal Of Applied Meteorology And Climatology*, Vol. 48, pp. 1766-1179.
- Bremnes J. B.**, 2004: Probabilistic Wind Power Forecasts Using Local Quantile Regression, *Wind Energy*, vol. 7, pp. 47-54.
- Cesare D. L., Myers D. E. and Posa D.**, 2001: Estimating and modelling space-time correlation structures. *Statistics & Probability Letters*, Vol. 51, pp.9-14.
- 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*, vol. 33, pp. 1435-1443.
- Choi J., Fuentes M., Reich B. J. ve Davis J. M.**, 2009: Multivariate spatial-temporal modeling and prediction of speciated fine particles, *J Stat Theory Pract.* Vol. 3, pp. 407-418.
- Çengel Y. A.**, 2007: Green thermodynamics, *International Journal Of Energy Research*, Vol. 31, pp. 1088-1104
- Decker J. D.**, 2008: Generation of Synthetic Time Series of Wind Power and Prediction Error for Economic Calculations, *ISUP Conference*, Bruges, Belçika, 22-25 April.
- Deutsch S.J. and Pfeiffer P.E.**, 1981: Space-time ARMA modelling with contemporaneously correlated innovations. *Technometrics*, Vol. 23, pp. 401-409.
- Dincer I, Rosen M. A.**, 2005: Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 5, Vol. 9, pp. 169-189.
- Draxl C., Hahmann A. N., Pena A., Nissen J. N., Giebel G.**, 2010: Validation of Boundary-Layer Winds From WRF Mesoscale Forecasts with Applications to Wind Energy Forecasting, *19th Symposium on Boundary Layers and Turbulence*, Keystone, CO. 1-6 August 2010

- Focken U., Lange M., Monnich K., Waldl H. P., Beyer H. G., Luig A.,** 2001: Short-term prediction of the aggregated poweroutput of wind farms statistical analysis of the reduction of the prediction error by spatial smoothing effects, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 90, pp- 231-246.
- Foley A. M., Leahy P.G., McKeogh E.J.,** 2010: Wind Power Forecasting & Prediction Methods, *IEEE, 9th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Prague, Czech Republic*, May 16 – 19.
- Gharagheizi F. ve Mehrpooya M.,** 2007: Prediction of standard chemical exergy by a threedescriptors QSPR model, *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, no. 9, pp. 2453-2460
- Griffith D. A.** 2010: Modeling spatio-temporal relationships: retrospect and prospect, *Journal of Geographical Systems*, Volume 12, No. 2, pp. 111-123
- Hahmann A. N., Pena A., Badger J., Karagali I., Larsen X., Kelly M.,** 2010: Using the WRF Model for Wind Energy Resource Assessment, *11th WRF Users' Workshop, Boulder, Colorado*, June 21 - 25,
- Han Y., Chang L.,** 2010: A Study of the Reduction of the Regional Aggregated Wind Power Forecast Error by Spatial Smoothing Effects in the Maritime Canada, *2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems*. P 942 – 947.
- Hasslett J. and Raftery P.E.,** 1989: Space time modeling with long memory dependence: Assessing Ireland's wind power resources, *Journal of Applied Statistics*, Vol. **38**, pp. 1-50.
- Khalifa R. D.,** 2009: Wind Farm Forecast, *Seapower*, Aralık, pp. 38-40.
- Kritharas P. P., Watson S. J.,** 2010: A Comparison of Long-Term Wind Speed Forecasting Models, *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 132.
- Landberg L., Giebel G., Nielsen A. H., Nielsen T. and Madsen H.,** 2003a: Short-term Prediction—An Overview, *Wind Energy*, vol. 6, pp. 273–280.
- Landberg L., Myllerup L., Rathmann O., Petersen E. L., Jorgensen B. H., Badger J. ve Mortensen N. G.,** 2003b: Wind Resource Estimation An Overview, *Wind Energy*, vol. 6, pp. 261-271.
- Larson K.A. ve Westrick K.,** 2005: Short-term Wind Forecasting Using Off-site Observations, *Wind Energy*, vol. 9, pp.55–62.
- Lundquist J. K., Mirocha J. D., Chow F. K., Lundquist K. A., Kosovic B., Chin S.,** 2008: Simulating atmosphere flow for wind energy, *9th WRF User's Workshop, Boulder, Colorado*, 26 June.
- Matheron G.,** 1965: *Les Variables Regionalisees et leur Estimation*, Masson, Paris, pp. 306
- Moon Y. S., Kim Y. K., Koo Y. S., Jung J.H.,** 2005: Intercomparison Of Wind And Air Temperature Fields Of Wrf, Mm5 And Rams For Forecasting Air Quality In Korea, *6th WRF Users' Workshop, June 27 - 30, Boulder, Colorado*
- Munoz A. M., Rosa J. J. G., Posadillo R., Pallarés V.,** 2008: Short term forecasting of solar radiation, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Cambridge, UK, 30 June – 2 July.
- Müller S. C., Dierer S., Remund J.,** 2009: Solar Radiation Forecasts for Switzerland, *Joint NCAR-NCAS WRF Users Workshop and Tutorial*, Cambridge, UK, 28 September- 2 October.

- Müller S. C. ve Remund J.**, Advances in radiation forecast based on regional weather models MM5 and WRF, METEOTEST, Bern, Switzerland. http://www.meteotest.ch/fileadmin/user_upload/Sonnenenergie/pdf/25thEUPVSEC_4BV.1.75.pdf, alındığı tarihi 07.10.2010
- Myers, D.E.**, 1990: Problems in Kriging of spatial-temporal hydrological data. *Mathematical Geology*, Vol. **22**, pp. 611-623.
- Nelson L. S., Brian J. G., John C. W., Larry M., Scott R., David R. S.**, 2008: Numerical Prediction Of Mesogamma-Scale Wind Meandering In The Nocturnal Stable Boundary Layer, *9th Wrf Users' Workshop*, Boulder, Colorado, June 23 – 27
- Özgün, M.N.**, 1965: Osmanlıca-Türkçe Sözlük. İnkılap ve Aka Kitabevleri, 4. Basım, İstanbul.
- Öztopal, A., Şahin, A.D., Şen, Z. and Akgün, N.**, 2000: On the regional wind energy potential of Turkey. *Energy*, 25, pp. 189-200
- Öztürk D., Batuk F.**, 2010: Meteorolojik Verilerin CBS ve Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Yöntemleriyle Konumsal Enterpolasyonu, *I. Meteoroloji Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 27-28 Mayıs.
- Page, J.K.**, 1964: The Estimation of Monthly Mean Values of Daily Total Short-Wave Radiation of Vertical and Inclined Surfaces From Sunshine Records for Latitudes 40°N-40°S. *Proceeding of the UN Conference on New Sources of Energy*, Vol 4, pp. 378.
- Polyak, I., North, G.R. and Valdes, J.B.**, 1994: Multivariate space-time analysis of Pre-Storm prediction. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. **33**, pp. 1079-1087.
- Potter C. W. ve Negnevitsky M.**, 2006: Very Short-Term Wind Forecasting for Tasmanian Power Generation, *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 21, No. 2, pp. 965-972.
- Remund J., Perez R. ve Lorenz E.**, 2008: Comparison Of Solar Radiation Forecasts For The Usa, *23th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Valencia, Spain 1-5 September
- Richard F. G.**, 1995: Estimating Spatial Correlations from Spatial-Temporal Meteorological Data, *Journal of Climate*, Vol. 8, pp. 2454-2470
- Sanchez I.**, 2006: Short-term prediction of wind energy production, *International Journal of Forecasting*, vol. 22, pp. 43– 56
- Sluiter R.**, 2009: Interpolation methods for climate data literature review, *De Bilt*, Netherlands, pp. 10-16.
- Smith R. L.**, 2003: <http://www.stat.unc.edu/faculty/rs/s321/spatemp.pdf>
- Storm B., Basu S.**, 2010: The WRF Model Forecast-Derived Low-Level Wind Shear climatology over the United States Great Plains, *Energies*, Vol. 3, no. 2, pp. 258-276;.
- Sventitskii I. I. and Grishin A. P.**, 2009: Measurement of Solar Radiation Exergy, *Russian Agricultural Sciences*, Vol. 35, No. 6, pp. 434–437.
- Şahin A.D.**, 1997, Cluster analysis of solar radiation in Turkey through Angström equation. *The 3rd. International Conference on New Energy Systems and Conversions*. pp. 131-136, 8-12 September, 1997, Kazan-Russia.
- Şahin A. D.**, 2001, Türkiye Rüzgarlarının Alan- Zaman Modellemesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi.

- Şahin A. D., Dinçer İ. and Rosen M. A.**2006a: Thermodynamic analysis of solar photovoltaic cell systems, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 91, pp.153-159.
- Şahin A. D., Dinçer İ. And Rosen M. A.,** 2005: Thermodynamic analysis of wind energy, *International Journal Of Energy Research*, Vol. 30, pp.553-566.
- Şahin A. D., Dinçer İ. And Rosen M. A.,** 2006b: New Spatio-Temporal Wind Exergy Maps, *Journal of Energy Resources Technology*, Vol. 128, pp.194-202.
- Şahin, A. D ve Şen Z.,** 1995 : Refined wind energy formulation and its application in Turkey. *The second international conference on new energy systems and conversions*. 31 July-3, August, İstanbul, Turkey.
- Şahin A. D. ve Şen Z.,** 1997: Batı Anadolu Bölgesinde rüzgar değişkenlerinin alansal normal dağılım grafik modelleri. *II. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 6-7 Ocak, 1997, İstanbul.
- Şahin A. D. and Şen Z.,** 1998 : Statistical anlysis of the Angström formula coefficients and appication for Turkey. *Sol. Ener.*, **62**, 29-38.
- Şahin A.D. and ŞenZ.,** 2000 : Wind energy directional spatial correlation functions and applications for prediction, *Wind Engin.*, **24**, 3.
- Şen Z.,** 1989 : Cumulative semivariogram model of regionalized variables. *Int. J. Math. Geol.*,**21**, 891.
- Şen Z.,** 1991 : Standard cumulative semivariograms of stationary stochastic processes and regional correlation. *Int. J. Math. Geol.*, **24**, 417-435.
- Şen Z.,** 1997 : Objective analysis of cumulative semivariogram technique and its application in Turkey. *J. Appl. Meteor.*, **36**, pp. 1712-1720.
- Şen Z., and Habib Z.,** 1998 : Point cumulative semivariogram of areal precipitation in mountainous regions. *J. of Hydrology*, **205**, pp. 81-91.
- Şen Z. and Şahin A.D.,** 1997 : Regional assessment of wind power in western Turkey by the cumulative semivariogram method. *Renew. Ener.*, **12**, No.2.
- Tao C., Shanxu D., Changsong C.,** 2010: Forecasting Power Output for Grid-connected Photovoltaic Power System without using Solar Radiation Measurement, *2th IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems*, TBD, Hefei, China, 16-18 June.
- Url-1**<http://www.dmcsee.eu/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=16&Itemid=26>, alındığı tarih 20.10.2010.
- Url-2**<http://www.dmcsee.eu/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=16&Itemid=26>, alındığı tarih 11.07.2010.
- Url-3**<<http://www.prism.oregonstate.edu/>>, alındığı tarih 06.10.2010.
- Zamfirescu C., Dincer I. and Wagar W. R.,** 2009: Evaluation of Exergy and Energy Efficiencies of Photothermal Solar Radiation Conversion, *Applied Solar Energy*, 2009, Vol. 45, No. 4, pp. 213–223

ÖZGEÇMİŞ

VESİKALIK
FOTO

Ad Soyad: Mustafa Kemal KAYMAK

Doğum Yeri ve Tarihi: 26.05.1981 İstanbul

Adres:

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi: