

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**AKILLI ŞEBEKELERDE ŞEBEKEYE BAĞLI VE ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ İLE AKILLI EV UYGULAMALARI**

DOKTORA TEZİ

Onur AYAN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

EKİM 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**AKILLI ŞEBEKELERDE ŞEBEKEYE BAĞLI VE ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ İLE AKILLI EV UYGULAMALARI**

DOKTORA TEZİ

**Onur AYAN
(504172008)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY

EKİM 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**TECHNO-ECONOMIC COMPARATIVE ANALYSIS OF GRID-CONNECTED
AND ISLANDED HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEMS AND SMART
HOME APPLICATIONS IN SMART GRIDS**



Ph.D. THESIS

**Onur AYAN
(504172008)**

Department of Electrical Engineering

Electrical Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY

OCTOBER 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 504172008 numaralı Doktora Öğrencisi Onur AYAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “AKILLI ŞEBEKELERDE ŞEBEKEYE BAĞLI VE ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ İLE AKILLI EV UYGULAMALARI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Tahir Çetin AKINCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet BAYRAK
Sakarya Üniversitesi

Doç. Dr. Erkan DURSUN
Marmara Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Canan KARATEKİN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 22 Eylül 2023
Savunma Tarihi : 17 Ekim 2023





Aileme, hocalarıma ve tüm sevdiklerime,



ÖNSÖZ

Doktora tez çalışmaları boyunca değerli bilgisi, tecrübeleri ve yönlendirmeleriyle tez çalışmamın daha verimli ve başarılı bir şekilde ilerlemesine katkıda bulunarak olgunlaşmasını sağlayan, bilgi birikimi ve akademik vizyonu ile beni araştırma alanımda derinlemesine düşünmeye teşvik eden ve yeni perspektifler kazanmamı sağlayan, birlikte çalışmaktan çok keyif aldığım değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY'a sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, doktora tez izleme jürimde olan, kıymetli fikirleri ve yönlendirmeleri ile teze önemli katkılar sağlayan Prof. Dr. Tahir Çetin AKINCI ile Prof. Dr. Mehmet BAYRAK'a çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (MDK-2020-42658) ve ASELSAN A.Ş. tarafından finanse edilmiştir. Çalışmalarım süresince bana sağlanan kaynaklar ve olanaklar için teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımı tamamlamak için gerekli fırsatı ve zamanı bana sağlayan başta Sayın Meltem AKAR ve Sayın Süleyman Eren DOĞAN olmak üzere ASELSAN A.Ş. firmasına saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımı anlamlı kılan ve her zaman yanımda olan dostlarım Alev KORKMAZ, Alper TAP, Ezgi ÇAKICI, Gizem İNCİ, Hüseyin Kağan KIZILÖZ ve Seçkin İŞLEYEN'e teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemi sağlayan, benim için maddi ve manevi hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, sadece bu çalışma sürecinde değil tüm hayatım boyunca beni cesaretlendiren, aldığım tüm kararlarda beni destekleyip yanımda olan ve sevgilerini her daim hissettiğim annem Kadriye AYAN ve babam Erhan AYAN'a en derin teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Son olarak, deneyimlerine ve fikirlerine çok önem verdiğim, attığım her adımda yanımda olan ve bu aşamaya gelmemde çok fazla katkısı bulunan Dr. İdil AYAN'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Ekim 2023

Onur AYAN
(Elektrik-Elektronik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	5
1.3 Yenilik, Katkılar ve Tezin Organizasyonu.....	8
2. HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ	13
2.1 Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	13
2.2 Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	14
2.3 Sistem Verilerinin Belirlenmesi	15
2.3.1 Konut yük profili.....	15
2.3.2 Teknik ve maliyet verileri	21
2.3.3 İklim verileri ve seçilen iller	24
2.4 HRES'e Yönelik Temel Hesaplamalar.....	30
2.5 HRES'e Yönelik Simülasyon Sonuçları	31
2.6 Duyarlılık Analizi.....	52
2.6.1 Ekonomik açıdan duyarlılık analizi (PV paneli ve rüzgar türbini maliyetlerinin %50 azaltılması, %200 ve %300 arttırılması)	52
2.6.2 Çevresel açıdan duyarlılık analizi (güneş radyasyonu ve rüzgar hızının %10 azaltılması, %10 ve %20 arttırılması).....	56
2.6.3 Batarya maliyetlerinin %30, %40, %50 ve %60 azaltılması	60
3. AKILLI EVLER VE İoT TABANLI TEKNOLOJİLER	67
3.1 Akıllı Evlere Yönelik Teknoloji Kabul Modeli	68
3.1.1 Akıllı ev teknolojilerine yönelik yeniliklerin benimcenme süreci.....	68
3.1.2 Temel davranış modelleri.....	69
3.1.3 Teknoloji benimseme modeli.....	71
3.1.4 Kavramsal model bileşenleri ve oluşturulan hipotezler	72
3.1.4.1 Orijinal TAM yapıları	72
3.1.4.2 Hedonik değer	73
3.1.4.3 Rahatlatıcı değer.....	74
3.1.4.4 Güvence değeri.....	74
3.1.4.5 Ekonomik değer	75
3.1.4.6 Yenilikçi değer	75
3.1.5 Araştırma Modeli	76
3.1.6 Yöntem ve Analiz Sonuçları	78

3.1.6.1	Veri toplama yöntemi ve katılımcı istatistikleri	78
3.1.6.2	Tanımlayıcı istatistikler	79
3.1.7	Güvenilirlik analizi ve keşfedici faktör analizi	82
3.1.8	Çok değişkenli regresyon analizi ve sonuçları	88
3.2	Aydınlatma Sistemlerinde Harmonik ve Termal Analiz	94
3.2.1	Aydınlatma sistemlerinin harmonik analizi ve sonuçları	95
3.2.2	Deney düzeneği ve test edilen lambaların termal-harmonik analizi	97
3.2.2.1	Lambaların tekli harmonik analizi ve sonuçları	101
3.2.2.2	Bir grup lambanın harmonik analizi ve sonuçları	108
3.2.2.3	Lambaların termal karakteristik analizi ve sonuçları	111
3.3	IoT Tabanlı Akıllı Aydınlatma Sistemleri	116
3.3.1	Akıllı LED lambaların güç tüketimine etkisi	117
3.3.2	Akıllı LED tarafından sağlanan farklı ışık renklerinin güç tüketimine etkisi	119
3.3.3	Enerji tasarrufuna ilişkin farklı tipteki lambaların karşılaştırmalı analizi	122
4.	SONUÇLAR	127
	KAYNAKLAR	135
	EKLER	149
	ÖZGEÇMİŞ	153

KISALTMALAR

BESS	: Battery Energy Storage System (<i>Batarya Enerji Depolama Sistemi</i>)
BTU	: British Thermal Unit (<i>İngiliz Termal Birimi</i>)
CFL	: Compact Fluorescent Lamp (<i>Kompakt Floresan Lamba</i>)
COE	: Cost of Energy (<i>Birim Enerji Maliyeti</i>)
CRF	: Capital Recovery Factor (<i>Sermaye Geri Kazanım Faktörü</i>)
DG	: Diesel Generator (<i>Dizel Jeneratör</i>)
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GEPA	: Türkiye Güneş Enerji Atlası
HOMER	: Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (<i>Hibrit Optimizasyon Çoklu Enerji Kaynakları</i>)
HRES	: Hybrid Renewable Energy System (<i>Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi</i>)
IBM	: International Business Machines (<i>Uluslararası İş Makineleri</i>)
IoT	: Internet of Things (<i>Nesnelerin İnterneti</i>)
KMO	: Kaiser-Meyer-Olkin
kWh	: kilowatt-hour (<i>kilowatt saat</i>)
LCOE	: Levelized Cost of Energy (<i>Seviyelendirilmiş Birim Enerji Maliyeti</i>)
LED	: Light Emitting Diode (<i>Işık Yayan Diyot</i>)
MWh	: megawatt-hour (<i>megawatt saat</i>)
NPC	: Net Present Cost (<i>Net Bugünkü Değer</i>)
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (<i>İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı</i>)
PV Systems	: PhotoVoltaic Systems (<i>Fotovoltaik Sistemler</i>)
REPA	: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	: Renewable Energy Sources (<i>Yenilenebilir Enerji Kaynakları</i>)
RF	: Renewable Fraction (<i>Yenilenebilir Enerjiden Yararlanma Oranı</i>)
TAM	: Technology Acceptance Model (<i>Teknoloji Kabul/Benimseme Modeli</i>)
THD	: Total Harmonic Distortion (<i>Toplam Harmonik Bozulma</i>)

THDI	: Total Harmonic Distortion of Current (<i>Akımın Toplam Harmonik Bozunumu</i>)
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change (<i>Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi</i>)
WT	: Wind Turbine (<i>Rüzgar Türbini</i>)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Literatürde meskenlere yönelik gerçekleştirilmiş çalışmalar.....	11
Çizelge 2.1 : Fotovoltaik panel sistem bileşenleri.....	22
Çizelge 2.2 : Rüzgar türbini sistem bileşenleri.....	22
Çizelge 2.3 : Dizel jeneratör sistem bileşenleri.....	23
Çizelge 2.4 : Dönüştürücü sistem bileşenleri.....	23
Çizelge 2.5 : Batarya sistem bileşenleri.....	23
Çizelge 2.6 : HRES kapsamında seçilen iller, illerin koordinatları ve coğrafi özellikleri.....	25
Çizelge 2.7 : İllere yönelik dizel fiyatları.....	29
Çizelge 2.8 : Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES optimizasyon sonuçları.....	45
Çizelge 2.9 : Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES kapsamında çevreye salınan zararlı gazlar ve emisyon değerleri.....	46
Çizelge 2.10 : Duyarlılık analizi kapsamında değişken parametreler ve oluşturulan senaryolar.....	52
Çizelge 2.11 : Oluşturulan senaryolara göre duyarlılık analizi sonuçları.....	64
Çizelge 3.1 : Mevcut çalışmada kullanılan anket ifadeleri.....	77
Çizelge 3.2 : Anket katılımcılarına ait demografik özellikler (N=382).	81
Çizelge 3.3 : Güvenilirlik analizi ve keşfedici faktör analizi sonuçları.....	85
Çizelge 3.4 : Geliştirilmiş araştırma modeline ilişkin çok değişkenli regresyon analizi sonuçları.....	89
Çizelge 3.5 : Test edilen lambaların elektriksel ölçümleri ve katalog parametreleri.....	100
Çizelge 3.6 : C sınıfı donanımlar için harmonik sınır değerleri.....	101
Çizelge 3.7 : Test edilen ambaların harmonik analizi ölçüm değerleri.....	102
Çizelge 3.8 : Farklı sayılardaki bir grup lambanın çeşitlilik faktörü değerleri.....	109
Çizelge 3.9 : Lambaların ölçülen termal karakteristik özellikleri.....	114
Çizelge 3.10 : Akıllı lambara yönelik ölçüm değerleri.....	118
Çizelge 3.11 : Farklı ışık renklerine göre akıllı LED lambanın güç tüketim değerleri.....	120
Çizelge 3.12 : Aydınlatma kaynağının değişen ışık renklerinin güç tüketimine etkisi.....	121
Çizelge 3.13 : Test edilmiş lambaların karakteristik özellikleri.....	123



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası.	14
Şekil 2.2 : Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli atlası.	15
Şekil 2.3 : Buzdolabı güç tüketimi.	16
Şekil 2.4 : Fırın güç tüketimi.	16
Şekil 2.5 : Bulaşık makinesi güç tüketimi.	16
Şekil 2.6 : Çamaşır makinesi güç tüketimi.	17
Şekil 2.7 : Ütü güç tüketimi.	17
Şekil 2.8 : TV güç tüketimi.	17
Şekil 2.9 : Bilgisayar güç tüketimi.	18
Şekil 2.10 : Kettle güç tüketimi.	18
Şekil 2.11 : Tost makinesi güç tüketimi.	18
Şekil 2.12 : Saç kurutma makinesi güç tüketimi.	19
Şekil 2.13 : Günlük yük profili.	19
Şekil 2.14 : Şebeke bağlantılı HRES.	21
Şekil 2.15 : Şebekeden bağımsız HRES.	21
Şekil 2.16 : 21ilin iklimsel verileri.	26
Şekil 2.17 : Aylara göre bulutluluk indeksi ve güneş ışıınımı dağılımı: (a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.	26
Şekil 2.18 : HRES akış diyagramı.	32
Şekil 2.19 : Bölgeler bazında şebekeden bağımsız HRES'e ait NPC değerleri: (a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.	34
Şekil 2.20 : Bölgeler bazında şebekeye bağlı HRES'e ait NPC değerleri: (a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.	38
Şekil 2.21 : Çanakkale ili şebekeden bağımsız HRES için aylık enerji üretimi.	43
Şekil 2.22 : Çanakkale ili şebekeye bağlı HRES için aylık enerji üretimi.	44
Şekil 2.23 : Artvin ili şebekeden bağımsız HRES için aylık enerji üretimi.	44
Şekil 2.24 : Artvin ili şebekeye bağlı HRES için aylık elektrik üretimi.	44
Şekil 2.25 : Şebekeye bağlı HRES'e yönelik 21 ilin CO ₂ ve RF yönünden birbirleriyle karşılaştırılması.	48
Şekil 2.26 : Şebekeye bağlı HRES'e yönelik 21 ilin NPC ve COE yönünden birbirleriyle karşılaştırılması.	49
Şekil 2.27 : Şebekeden bağımsız HRES'e yönelik 21 ilin CO ₂ ve RF yönünden birbirleriyle karşılaştırılması.	50
Şekil 2.28 : Şebekeden bağımsız HRES'e yönelik 21 ilin NPC ve COE yönünden birbirleriyle karşılaştırılması.	51

Şekil 2.29 : Artvin ili şebekeden bağımsız HRES için yatırım maliyetinin değişiminin NPC üzerine etkisi	53
Şekil 2.30 : Çanakkale ili şebekeden bağımsız HRES için yatırım maliyetinin değişiminin NPC üzerine etkisi.....	53
Şekil 2.31 : Artvin ili şebekeye bağlı HRES için yatırım maliyetinin etkileri.	55
Şekil 2.32 : Çanakkale ili şebekeye bağlı HRES için yatırım maliyetinin etkileri.	55
Şekil 2.33 : Antalya ili şebekeye bağlı HRES için yatırım maliyetinin etkileri.	55
Şekil 2.34 : Artvin ili şebekeden bağımsız HRES için rüzgar hızı ve güneş ışıınımı değişiminin NPC üzerine etkisi.....	57
Şekil 2.35 : Çanakkale ili şebekeden bağımsız HRES için rüzgar hızı ve güneş ışıınımı değişiminin NPC üzerine etkisi.....	57
Şekil 2.36 : Artvin ili şebekeye bağlı HRES için rüzgar hızı ve güneş ışıınımı değişiminin NPC üzerine etkisi.....	58
Şekil 2.37 : Çanakkale ili şebekeye bağlı HRES için rüzgar hızı ve güneş ışıınımı değişiminin NPC üzerine etkisi.....	58
Şekil 2.38 : Artvin ili HRES için rüzgar hızı ve güneş ışıınımı değişiminin CO ₂ ve RF üzerine etkisi: (a)şebekeden bağımsız. (b)şebekeye bağlı.	59
Şekil 2.39 : Çanakkale ili HRES için rüzgar hızı ve güneş ışıınımı değişiminin CO ₂ ve RF üzerine etkisi: (a)şebekeden bağımsız. (b)şebekeye bağlı.	60
Şekil 2.40 : Artvin ili için batarya maliyetinin değişiminin NPC ve COE'ye etkisi.	61
Şekil 2.41 : Antalya ili için batarya maliyetinin değişiminin NPC ve COE'ye etkisi.	62
Şekil 2.42 : Çanakkale ili için batarya maliyetinin değişiminin NPC ve COE'ye etkisi.	62
Şekil 2.43 : Batarya maliyeti değişiminin CO ₂ ve RF üzerine etkisi (a)Artvin. (b)Antalya. (c)Çanakkale.	63
Şekil 2.44 : A ve B senaryolarındaki parametrelerin değişimine bağlı olarak NPC, CO ₂ ve RF değerlerinin Artvin ve Çanakkale iline göre değişimi.....	66
Şekil 3.1 : Yeniliklerin yayılması ve benimseme süreci.....	70
Şekil 3.2 : Teknoloji benimseme modeli.	71
Şekil 3.3 : Oluşturulan araştırma modeli.	76
Şekil 3.4 : Anket katılımcılarının kullandığı akıllı cihazlar ve akıllı cihazların sayıları.....	80
Şekil 3.5 : 13 değişkene ait Cronbach Alpha (α) değerleri.....	87
Şekil 3.6 : Çok değişkenli regresyon analizi sonuçları ve kabul ile ret durumları. ...	90
Şekil 3.7 : Çok değişkenli regresyon analizi sonuçları diyagramı.	91
Şekil 3.8 : Lambaların karakteristik ölçümleri için kullanılan ekipmanlar.	98
Şekil 3.9 : Harmonik ölçümler için oluşturulan deney düzeneğinin şematik diyagramı.	98
Şekil 3.10 : Termal görüntüleme kamerası ve FLIR Tools arayüzü.....	99
Şekil 3.11 : Halojen lambaların akım ve gerilim dalga formları.	103
Şekil 3.12 : Halojen lambaların harmonik bileşenleri.	103
Şekil 3.13 : CFL lambaların akım ve gerilim dalga formları.....	104
Şekil 3.14 : CFL lambaların harmonik bileşenleri.....	104
Şekil 3.15 : Aynı markaya ait LED lambaların akım ve gerilim dalga formları.	106
Şekil 3.16 : Aynı markaya ait LED lambaların harmonik bileşenleri.	106
Şekil 3.17 : Farklı markaya ait LED lambaların akım ve gerilim dalga formları....	107
Şekil 3.18 : Farklı markaya ait LED lambaların harmonik bileşenleri.	108
Şekil 3.19 : 3 LED lamba içeren Grup A'ya ait farklı mertebelere ilişkin çeşitlilik faktörü.	110

Şekil 3.20 : 7 LED lamba içeren Grup F'ye ait farklı mertebelere ilişkin çeşitlilik faktörü.....	111
Şekil 3.21 : Test edilen halojen lambaların termal görüntüleri: (a)Diall 46W. (b)Maxin 70W.....	112
Şekil 3.22 : Test edilen CFL lambaların termal görüntüleri: (a)GE 15W. (b)Inflame 20W. (c)Philips 12W-2700K. (d)Philips 12W-6500K. (e)Philips 20W.	112
Şekil 3.23 : Test edilen LED lambaların termal görüntüleri: (a)Osram 8,5W. (b)Osram 9W. (c)Pal 5W. (d)Philips 4W. (e)Philips 5,5W. (f)Philips 6W-2700K. (g)Philips 6W-6500K. (h)Xioami 10W.	113
Şekil 3.24 : Meskenlere yönelik IoT tabanlı aydınlatma sistemleri kontrol altyapısı.....	117
Şekil 3.25 : 16 milyon renk seçeneği içerisinde seçilen 15 ışık renginin gösterimi.	120
Şekil 3.26 : 16 milyon renk seçeneği içerisinde seçilen 6 ışık renginin gösterimi.	121
Şekil 3.27 : Senaryo I için test edilen lambaların enerji tüketimleri.	123
Şekil 3.28 : Senaryo II için test edilen lambaların enerji tüketimleri.	124
Şekil 3.29 : Senaryo III için test edilen lambaların enerji tüketimleri.....	125
Şekil A.1 : Anket katılımcılarının demografik özellikleri: (a)yaş dağılımı. (b)cinsiyet dağılımı. (c)medeni durum dağılımı. (d)eğitim durumu dağılımı.	150
Şekil A.2 : Anketi cevaplayanların dağılımı: (a)çalışma durumu. (b)gelir durumu.	150
Şekil A.3 : Anket katılımcılarının birlikte yaşadığı kişi sayısı dağılımı.....	151
Şekil A.4 : Faktör yükleri: (a)algılanan eğlence. (b)algılanan bağlanabilirlik. (c)algılanan güvenilirlik. (d)algılanan güvenlik. (e)uyumluluk. (f)algılanan maliyet.....	151
Şekil A.5 : Temel faktör yükleri: (a)algılanan kullanım kolaylığı. (b)algılanan fayda. (c)tutum. (d)kullanım niyeti.....	152
Şekil A.6 : Faktör yükleri: (a)algılanan kontrol. (b)algılanan yenilikçilik. (c)test edebilirlik.	152



AKILLI ŞEBEKELERDE ŞEBEKEYE BAĞLI VE ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ İLE AKILLI EV UYGULAMALARI

ÖZET

Bu tez çalışmasında akıllı şebekeler kapsamında meskenlere yönelik “Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin (Hybrid Renewable Energy System, HRES)” bölgelere göre karşılaştırmalı analizine ve akıllı bina uygulamalarına yer verilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak Türkiye’nin 7 bölgesindeki en düşük, ortanca ve en yüksek güneş radyasyonu değerleri göz önüne alınarak toplam 21 il; teknik, ekonomik ve çevresel açıdan HOMER Pro yazılımı kullanılarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Her bir ildeki sistem bileşenlerinin büyüklüğü dikkate alınarak en optimum çözümün bulunması amaçlanmıştır. Analizler hem şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, birçok ile yönelik şebekeye bağlı HRES için en optimum sistem konfigürasyonunun Grid/PV/WT olduğunu gösterirken şebekeden bağımsız HRES göz önüne alındığında test kapsamındaki bütün iller için en uygun sistem konfigürasyonunun PV/WT/DG/BESS olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı HRES için en düşük ve en yüksek “Net Bugünkü Maliyetin (Net Present Cost, NPC)” sırasıyla Marmara Bölgesi’ndeki Çanakkale ili ve Karadeniz Bölgesi’ndeki Artvin ili olduğu görülmüştür.

Rüzgâr hızının düşük olduğu illerde rüzgâr türbinleri kurulumunun gerçekleştirilememesine bağlı olarak NPC değerinin oldukça yükseldiği görülmüştür. Coğrafi özellikler dikkate alındığında, rüzgâr hızı 3,8 m/s'nin altında olan iller için rüzgâr türbinlerinin, şebekeye bağlı HRES konfigürasyonunda HOMER Pro yazılımı tarafından dahil edilmediği görülmüştür.

Değişken parametreleri içeren analizlere ek olarak belirsizliklerin yenilenebilir enerji sistemlerini nasıl etkilediğini incelemek amacıyla ekonomik ve çevresel açıdan duyarlılık analizleri de gerçekleştirilmiştir. PV panellerinin ve rüzgâr türbinlerinin değişen sermaye maliyetlerinin etkileri göz önüne alındığında şebekeden bağımsız HRES için Artvin ve Çanakkale ilinde optimum sistem konfigürasyonun değişmediği gözlemlenmesine rağmen, şebekeye bağlı HRES için Artvin ve Çanakkale ilinde sistem konfigürasyonun değiştiği gözlemlenmiştir.

Çevresel açıdan duyarlılık analizleri göz önüne alındığında ise güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı parametrelerinin hem Artvin hem de Çanakkale ilinde artmasına bağlı olarak NPC değerinde önemli düşüşler olduğu ve Çanakkale ilinde gerçekleşen düşüşün Artvin iline kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür.

Tez kapsamında, akıllı şebekelere yönelik Teknoloji Kabul Modeli (TAM) temel alınarak, akıllı ev sistemlerinin benimsenmesini etkileyen faktörler incelenmiştir. Bu araştırma Türkiye’de internet tabanlı bir anket çalışması yoluyla gerçekleştirilmiştir ve toplamda 386 katılımcının verileri kullanılmıştır. Toplanan veriler, keşfedici faktör analizi ve çok değişkenli regresyon analizi yöntemleriyle irdelenmiştir.

Araştırma sonucunda, keşfedici faktör analizi ve güvenilirlik analizi kullanılarak toplanan 40 ifadenin 13 ayrı faktör altında gruplandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, çok değişkenli faktör analizi ile oluşturulan 14 hipotezden 11'i araştırma verileri ile uyumlu olarak kabul edilirken, 3 hipotez reddedilmiştir. Sonuçlar algılanan faydanın, tutum ve niyet üzerinde en etkili yordayıcı/gösterge olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte kullanma niyeti üzerinde tutum, algılanan fayda, algılanan yenilikçilik ve algılanan maliyetin önemli bir etkisi olduğu ortaya çıksa da en fazla etkiyi algılanan fayda ve tutum sergilemiştir. Diğer bulgulardan biri de her ne kadar akıllı ev sistemlerinin pahalı olduğu bilinse de algılanan maliyetin kullanma niyeti üzerinde bir etkisi olduğu ama diğer faktörlerden daha düşük seviyede olduğu görülmüştür. Katılımcılar açısından akıllı evlerin benimsenmesinde bu sistemlerin yenilikçi olması maliyetin getirmiş olduğu dezavantajdan daha önemlidir.

Akıllı ev sistemlerinde IoT tabanlı cihazlar kullanılmaktadır. Akıllı aydınlatma sistemleri de IoT tabanlı sistemlere örnektir. Bu sebeple meskenlerde aydınlatma kaynağı olarak kullanılan halojen, CFL, LED ve akıllı LED lambaların güç kalitesi ve termal etkileri de tez kapsamında araştırılmıştır. Halojen lambaların mevcut dalga formlarının büyük ölçüde sinüzoidal olduğu, CFL ve LED lambaların ise mevcut dalga formlarının sinüzoidal bir dalga formundan büyük ölçüde uzaklaştığı görülmüştür. Farklı balast teknolojilerine sahip bazı LED lambaların diğer test edilen LED ve akıllı LED lambalara göre daha düşük harmonik akımlar oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Çeşitlilik faktörlerinin harmonik bozunumlar üzerindeki etkilerini analiz etmek için farklı lamba gruplarıyla ölçümler yapılmıştır. Ölçümler, lamba sayısının artmasına bağlı olarak çeşitlilik faktörünün azaldığını göstermiştir. Buna ek olarak CFL lambalarla LED lambalar birlikte kullanıldığında çeşitlilik faktörünün daha da azaldığı gözlemlenmiştir.

Lambaların harmonik özelliklerine ek olarak ısı dağılımları da test edilmiştir. Termal kameradan elde edilen sonuçlar, maksimum sıcaklığın halojen ve CFL lambaların cam yüzeyinde üretildiğini göstermiştir. LED lambalar da ise maksimum sıcaklığın soğutucu ünitesinde üretildiği görülmüştür. Halojen ve CFL lambaların aksine, LED ve akıllı LED lambaların cam yüzeyinin en düşük ısı seviyesine sahip olduğu görülmüştür.

Son olarak akıllı evlerde kullanılan IoT tabanlı cihazlardan biri olan akıllı LED lambaların performanslarına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Akıllı LED lambaların kullanılmaması durumunda bile Wi-Fi modüllerine sahip oldukları için yaklaşık olarak 1 W güç harcadıkları gözlemlenmiştir. Bu sebeple akıllı LED lambaların etkinlik faktörlerinin standart LED lambalardan daha düşük olduğu ve kullanım sürelerine bağlı olarak enerji tüketimlerinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Akıllı bir LED lambanın renk sıcaklığına göre güç tüketiminin değiştiği gözlemlenmiştir. Kırmızı, yeşil veya mavi rengin seçilmesine bağlı olarak enerji tüketiminin azaldığı görülürken; turuncu veya mor rengin seçilmesiyle enerji tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir. Beyaz ışık, görünür spektrumun tüm dalga boylarını içerdiğinden en fazla enerji tüketimi beyaz renkte meydana gelmiştir.

Enerji tasarrufu açısından halojen, CFL, LED ve akıllı LED karşılaştırıldığında en düşük güç tüketiminin LED lamba tarafından sağlandığı görülmüştür. Akıllı LED lambaların loşlaştırılma ve uzaktan kontrol edilme özelliklerinin kullanımı birlikte sağlandığında ve diğer lambalarla kıyaslandığında en düşük güç tüketimi sağladığı sonucuna varılmıştır. Akıllı LED lambaların enerji tasarrufundan ziyade kullanıcılara daha fazla konfor sunabilen ve ek faydalar sağlayabilen cihazlar olduğu söylenebilir.

TECHNO-ECONOMIC COMPARATIVE ANALYSIS OF GRID-CONNECTED AND ISLANDED HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEMS AND SMART HOME APPLICATIONS IN SMART GRIDS

SUMMARY

This thesis focuses on a comparative analysis of Hybrid Renewable Energy Systems (HRES) for residential area under the scope of smart grids, and smart building applications. In this context, 21 provinces in Turkey were compared with each other in terms of technical, economic, and environmental aspects using the HOMER Pro software, considering the lowest, median, and highest solar radiation values in the 7 regions of Turkey.

HRES were designed and simulated using the HOMER Pro Software in order to meet the daily energy demand of 13.26 kWh/day of a household. The findings for each province were compared taking into account factors such as renewable fraction (RF), net present cost (NPC), optimum system configuration, greenhouse gas emissions, and the cost of energy.

The aim was to find the most optimal solution considering the size of the system components in each province. The analyses were carried out both stand-alone and grid-tied HRES. The results showed that the most optimal system configuration for grid-tied HRES for many provinces was Grid/PV/WT, while for stand-alone HRES, the most suitable system configuration for all provinces was PV/WT/DG/BESS. The NPC range for islanded HRES was between \$ 23,372.00 to \$ 40,858.00, whereas for grid-connected HRES, the NPC ranged from \$ 2,540.00 to \$ 8,951.00. Additionally, it was observed that the lowest and highest Net Present Cost (NPC) for both stand-alone and grid-tied HRES were in Çanakkale in the Marmara region and Artvin in the Black Sea region, respectively.

In the Marmara region, Çanakkale has the lowest NPC value for stand-alone HRES, which comprises a 3.76 kW PV array, a 6.90 kW diesel generator (DG), a 1.80 kW wind turbine (WT), and 22.6 kWh batteries. On the other hand, in the Black Sea Coast Region, Artvin has the highest NPC value for stand-alone HRES, which includes a 5 kW PV array, two 1.80 kW WT units, a 6.90 kW DG, and 40.2 kWh batteries. Similarly, the grid-connected HRES for Çanakkale is optimally sized with a 5 kW PV array, a 1.80 kW WT, and a 3 kW converter. However, grid-tied HRES for Artvin only consists of a 5 kW PV array and a 3 kW converter.

Upon analyzing geographical features, it was observed that grid-connected HRES systems in provinces with a wind speed of less than 3.8 m/s did not include wind turbines. The absence of wind turbines in certain provinces results in higher values for NPC, COE, and CO₂ emissions compared to other provinces.

From an economic standpoint, NPC value exhibits a decreasing trend from east to west in both grid-connected and stand-alone HRES in Turkey. Additionally, the NPC values for both grid-tied and stand-alone HRES tend to decrease from north to south across

the country. In addition to the analyses including variable parameters, sensitivity analyses from an economic and environmental perspective were also carried out to examine how uncertainties affect renewable energy systems. It was found that the system configuration for a stand-alone HRES remains unaffected by any changes in the capital cost of PV and WT. The PV/WT/DG/BESS systems are technically feasible for all provinces. On the other hand, it is shown that the system configuration of grid-connected HRES undergoes significant changes based on fluctuations in the capital costs of WT and PV. When the capital cost of both PV panels and WT were altered, the NPC of the islanded HRES varied between \$37,518.11-\$51,939.00 for Artvin. However, for Çanakkale, it ranged from \$21,402.27 to \$29,978.89.

Moreover, it was observed that the NPC and COE values decreased as the capital cost of BESS decreased for stand-alone HRES. Considering the projected reduction in battery costs in the near future, it is expected that the investment costs of battery-based renewable energy systems will also decrease.

Furthermore, in both grid-connected and stand-alone HRES, the NPC value of the optimal systems decreases across all provinces as solar radiation and wind speed increase. As solar radiation and wind speed increased, the findings revealed that NPC decreased by 9.30% and CO₂ emissions decreased by 9.23% for Çanakkale. For Artvin, the results indicated a more significant reduction, with NPC decreasing by 25.58% and CO₂ emissions decreasing by 66.95%. According to the sensitivity analysis of the simulation results, it was observed that provinces with higher wind speed and solar energy potential were less susceptible to the impact of parameter changes.

The proportion of renewable energy and CO₂ emissions also varies based on the location, geographical characteristics, wind speed, solar radiation, and clearness index of the provinces being analyzed. Due to the absence of a utility grid in islanded HRES, the renewable fraction required to fulfill the energy demand is higher compared to grid-connected systems.

Secondly, The factors that impact the adoption of smart home systems were examined using the Technology Acceptance Model (TAM) for smart grids. To achieve this, an online survey was carried out in Turkey, and the gathered data (N=386) were analyzed through exploratory factor analysis and multivariate regression analysis.

Based on the outcomes of the reliability analysis and exploratory factor analysis, 40 items were found to be grouped under 13 factors. Additionally, 11 out of 14 hypotheses generated from the multivariate factor analysis were accepted while 3 were rejected.

According to the findings, perceived usefulness has the most significant impact on the intention to use and attitude. While attitude, perceived usefulness, perceived innovativeness, and perceived cost also have a significant effect on intention to use, results showed that perceived usefulness and attitude have shown the most impact. One of the other findings was that although smart home systems are known to be expensive, they have an effect on the intention to use, but at a lower level than other factors. For the participants, the innovativeness of these systems is more important than the disadvantage of the cost in the adoption of smart homes.

Thirdly, The power quality and thermal effects of halogen, CFL, LED, and smart LED lamps used as lighting sources in residential area were compared within the scope of the thesis.

Halogen lamps were found to exhibit the lowest total harmonic current distortion (THD_i) since they function as resistive loads. Conversely, LEDs have the highest THD_i. However, LED lamps have lower energy consumption compared to CFLs and halogen lamps, but they produce higher levels of harmonics.

The results indicated that halogen lamps produced current waveforms that closely resembled a sinusoidal wave, whereas the current waveforms of CFLs and LEDs exhibited significant distortion from a sinusoidal wave. The total harmonic current distortion percentages for halogen lamps ranged from 1.7 to 1.8. However, the tested CFLs and LEDs generated considerably high levels of harmonics, leading to non-compliance with the IEC61000-3-2:2019 standard for class C lighting equipment. The THD_i percentages for CFLs ranged between 101.5 and 103.4, while for LEDs, they varied from 121.6 to 103.4.

Despite all tested lamps having CE certification, they surpass the harmonic limits set by IEC61000-3-2:2019, except for halogen lamps. It was also found that, certain LEDs utilizing different ballast technologies display lower harmonic currents in comparison to other tested LEDs. Additionally, it was shown that lamps of the same brand share similar harmonic characteristics. Moreover, it was observed that power quality for lamps with the same brand and power rating are not influenced by different color temperatures.

Experimental tests were conducted with various groups of lamps to examine the impact of diversity factors on harmonic current emissions. The results revealed that as the number of lamps increased, the diversity factor decreased. Group-A, consisting of 3 LED lamps, had a diversity factor of 0.769, while Group-F, comprising 7 LED lamps, had a diversity factor of 0.595. Consequently, it was deduced that Group-A produced higher harmonics compared to Group-F. Furthermore, the combination of CFLs with LEDs was found to result in lower current distortion.

Various types of lamps were subjected to heat dissipation tests. The results obtained from the thermal camera revealed that halogen lamps and CFLs generated the maximum heat at their glass surfaces, while LEDs produced the maximum heat at the surface of their heat sinks. The maximum temperature recorded for halogen lamps ranged from 123.6°C to 124.3°C. In contrast, CFLs emitted heat within the range of 95.3°C to 114.2°C, and LEDs released heat between 64.8°C to 92.9°C. Unlike halogen lamps and CFLs, it was observed that the glass surface of LEDs exhibited the lowest level of heat. The use of heat sinks to cool LEDs results in LEDs producing less heat in comparison to halogen lamps and CFLs.

Furthermore, it was shown that, at the end of 1 hour, halogen lamps increased the internal temperature of a sphere with a diameter of 1 meter by 5°C to 7°C, while CFLs and LEDs did not cause significant changes in the internal temperature of the sphere.

Finally, studies were conducted on the performances of smart LED lamps, which are one of the IoT-based devices used in smart homes.

Based on the measurements conducted on two smart LED bulbs, it was observed that both devices consumed approximately 1 W of power when turned off, due to the presence of Wi-Fi modules in both lamps.

It was also observed that the power consumption of a smart LED bulb is dependent on the adjusted color setting. Based on the findings, when the smart LED bulb was set to red, green, or blue colors, its power consumption was approximately 4.3 W. However, when the orange, purple, or white were chosen, the power consumption of the smart

LED bulb increased to 4.77 W, 6.76 W, and 9.71 W, respectively. Due to the fact that white light encompasses all the wavelengths of the visible spectrum, it consumes the highest amount of power.

Three case studies were conducted to comprehensively compare the energy-saving capabilities of halogen, CFL, LED, and smart LED lamps. According to the findings, when the smart LED bulb was dimmed and remotely controlled, it provided an additional energy saving of approximately 57.44% compared to conventional LED lamps. Furthermore, when the smart LED bulb was remotely controlled and dimmed, it achieved energy savings of 91.32% and 75.55% compared to halogen and CFL, respectively.



1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarının kullanımı, sanayi devriminden günümüze kadar olan süreçlerde hızla artarak dünya çapında en önemli konulardan biri haline gelmiştir [1]. Küresel enerji ihtiyacı her geçen gün artmaya devam etmektedir. 18. yüzyılın başında dünyanın enerji talebi yaklaşık 3 katrilyon İngiliz Isı Birimi (British Thermal Unit, BTU) iken, 2010 yılında yaklaşık 100 katrilyon BTU'ya ulaşmıştır [2]. Uluslararası Enerji Ajansı'na (International Energy Organization, IEO) göre, küresel enerji talebinin 2012-2040 yılları arasında önemli ölçüde artması beklenmektedir. Toplam küresel enerji tüketimi 2012'de 549 katrilyon BTU'dan 2020'de 629 katrilyon BTU'ya yükselmiştir. 2040 yılına kadar ise 815 katrilyon BTU'ya ulaşacağı tahmin edilmektedir [3]. Bu durum 2012-2040 yılları arasında dünyada küresel enerji tüketiminde %48'lik bir artış olacağına işaret etmektedir. Fosil kaynakların sınırlı olması, artan enerji talebi ve maliyetleri ile küresel ısınmaya sebep olan sera gazı emisyonları nedeniyle, hem Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Sustainable Development Goal 7, SDG7) hem de Paris Anlaşması kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) ülke içindeki payını artırmaya yönelik ulusal ve küresel düzeyde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Ancak; YEK'in sürekliliğinin olmaması sebebiyle enerji güvenilirliğini sağlamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanılmasını sağlayacak hibrit bir sistem tasarlanması küresel düzeyde amaçlanmaktadır. Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri (Hybrid Renewable Energy Systems, HRES) ile enerji sistemlerinin kararlılığı ve güvenilirliği arttırılabilir, atmosfere salınan sera gazı emisyonları azaltılabilir ve işletme maliyetleri düşürülerek enerji daha verimli kullanılabilir.

İktisadi İş birliği ve Gelişme Teşkilatı (Organisation for Economic Co-Operation and Development, OECD) ülkeleri arasında Türkiye, Çin'den sonra dünyada son 20 yılda artan elektrik enerjisi talebinde ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye enerji talebini karşılamada %74 oranında ithalata bağımlı olması sebebiyle elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payının artırılması Türkiye'nin enerji stratejisinin temel

hedeflerinden birisi haline gelmiştir [4]. Bununla birlikte enerji kaynaklarının kullanımının artması sonucunda fosil yakıtlara olan ihtiyaç da hızlı bir şekilde artmaktadır [5]. Petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil enerji kaynaklarının kullanımı küresel ısınmaya ve artan karbon emisyonuna neden olduğundan, alternatif enerji kaynaklarının kullanımını artırmak için küresel ölçekte çalışmalar yapılmaktadır. Fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılabilen güneş, rüzgâr, biyokütle ve hidrojen gibi yenilenebilir enerji sistemleri (Renewable Energy Systems, RES) daha temiz bir çevre için tercih edilmeye başlamıştır. RES; fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltması, sera gazı emisyonlarını azaltması, arzı çeşitlendirmesi, uzun vadeli erişimi artırması ve tükenmezliği nedeniyle fosil bazlı enerji kaynaklarına göre tercih edilir hale gelmiştir [6]. Net sıfır emisyon hedeflerini karşılayan YEK'in önemi ve kullanımı, küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olan fosil bazlı enerji kaynakları nedeniyle her geçen gün artmaktadır. Böylece Türkiye'nin de içinde bulunduğu 196 ülke, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) kapsamında 2016 yılında Paris İklim Anlaşması'nı imzalamıştır. Anlaşmanın amacı 2050 yılına kadar karbon emisyonlarını ve yerel emisyonları azaltmak olarak belirlenmiştir [7], [8] . Dünyada ve ülkemizde dekarbonizasyon çalışmaları ancak yenilenebilir enerji sistem ve teknolojilerinin benimsenmesi ile mümkündür. Türkiye'nin bu hedeflere ulaşmasına katkı sağlayacak çalışmalar, HRES'in coğrafi koşullara göre tasarlanması ile mümkün olabilecektir.

Yenilenebilir enerji konusunda teknolojik gelişmeler, maliyetlerin düşürülmesi, hükümetlerin uyguladığı politikalar ve stratejiler gibi faktörlere bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr ve güneş enerjisinin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Türkiye'de CO₂ emisyonlarının artması, fosil yakıt fiyatlarının artması ve fosil yakıtta dışa olan bağımlılık sebebiyle, rüzgar santrali kurulumunda ve fotovoltaik (Photo Voltaic, PV) panel kullanımında artış beklenmektedir [9]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, maliyetlerinin düşürülmesi, teşviklerin artırılması ve yenilenebilir enerji teknolojilerinde Ar-Ge faaliyetlerinin teşvik edilmesi sürdürülebilir ekonomik büyüme için büyük önem taşımaktadır [10].

Rüzgâr ve güneş kaynaklı yenilenebilir enerji teknolojileri, büyük ölçüde hava koşullarına bağlıdır. Bu nedenle yenilenebilir enerjinin devamlılığının sağlanması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda hibrit enerji sistemleri (Hybrid Energy Systems, HES) ve mikro şebeke sistemleri enerji sürdürülebilirliğinin sağlanmasında

önemli rol oynamaktadır. Sürdürülebilirlik sorunlarına ek olarak, yenilenebilir enerji sistemlerinin yüksek başlangıç maliyetleri ve düşük verimlilikleri tasarlanacak olan HRES için göz önüne alınması gereken parametrelerdir [11]. Farklı enerji kaynakları ve depolama teknolojilerinden oluşan hibrit bir sistem ile sürdürülebilirlik problemlerinin önüne geçilebilmektedir. Batarya enerji depolama sistemleri (Battery Energy Storage System, BESS) içeren HRES, enerji talebini karşılamada ve enerji sürekliliğini sağlamada önemli bir araç olarak görülmektedir [12] [13]. Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız olarak tasarlanabilir.

Literatürde şebekeden bağımsız sistemler off-grid, islanded, stand-alone ya da remote olarak isimlendirilebilmektedir ve şebekeden enerji temin edilmediğinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte dizel jeneratörler (Diesel Generator, DG) ve BESS ile enerji sürekliliği sağlanmaktadır [14]. Şebekeye bağlı sistemler ise literatürde on-grid, grid-tied ya da grid-assisted olarak adlandırılmaktadır. Olumsuz hava şartlarına bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılamadığı durumlarda talep edilen enerji şebekeden sağlanmaktadır [15].

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışma hibrit yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik temel olarak üç amaç doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Araştırmanın ilk amacı, Türkiye'nin 7 farklı bölgesindeki toplam 21 il üzerinde minimum sistem maliyeti ve en düşük CO₂ emisyonunu sağlayan şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı HRES konfigürasyonlarını belirlemektir.

İkinci amaç olarak NPC göz önünde bulundurularak Türkiye'nin farklı bölgelerindeki HRES için en optimal konumları seçmektir.

Üçüncü amaç ise duyarlılık analizleri gerçekleştirilerek HRES üzerindeki değişkenlerin sistemi nasıl etkilediğini öğrenmektir.

Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin etkilerinin araştırılmasına ek olarak akıllı şebekeler kapsamında Türkiye'de akıllı evlerin benimsenmesi etkileyen faktörlere ve hangi faktörlerin etki değerlerinin yüksek olduğu tez kapsamında araştırılmıştır. Teknoloji Kabul/Benimseme Modeli göz önünde bulundurularak Türkiye'deki akıllı evlerin benimsenmesine yönelik aşağıdaki sorulara cevap bulunması amaçlanmıştır.

- Akıllı ev sistemlerinin benimsenmesine yönelik hangi değişkenlerin kullanıcılar tarafından önemsenip hangi değişkenlerin gözardı edildiğini belirlemek ve etki değerlerini incelemek,
- Akıllı ev sistemlerinin benimsenmesinde Türkiye ile diğer ülkeler arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları belirlemek,
- Akıllı ev sistemlerine yönelik araştırma modeli oluşturmak.

Akıllı ev sistemlerine yönelik IoT tabanlı aydınlatma sistemleri de tez kapsamında incelenmiştir. Akıllı LED lambaların halojen, CFL ve LED lambalara göre avantajları ve dezavantajları araştırılmıştır. Bu bağlamda hangi yönlerden avantajlı ve dezavantajlı olduğunu belirleyebilmek amacıyla 4 farklı lamba türü verimlilik, harmonik ve termal açılardan birbirleriyle literatüre katkı sağlaması amacıyla karşılaştırılmıştır. Lambaların karşılaştırılmasının temel amacı, konut binalarındaki iç mekân aydınlatmasında kullanılan 4 farklı lamba türünün (halojen lamba, CFL, LED ve akıllı LED) harmonik analizini incelemek, farklı lamba gruplarının çeşitlilik faktörlerini araştırmak ve test edilen lambaların ısı dağılımlarını analiz etmektir.

1.2 Literatür Araştırması

Türkiye'nin Enerji ve Tabii Kaynakları Raporuna göre, bina ve hizmet sektörlerindeki elektrik tüketimi, toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %49,9'unu oluşturmaktadır [16]. Ayrıca Türkiye'de geçmişten günümüze hızlı nüfus artışı ve ekonomik büyüme oranları nedeniyle yıllık elektrik tüketiminde artış görülmektedir. Türkiye'de toplam konut elektrik tüketiminin payı yıllar içinde dramatik bir şekilde değişmiştir. 1970 yılında Türkiye'de konut sektörünün nihai kullanım elektrik tüketimi, toplam elektrik tüketiminin %15,9'unu oluşturmaktadır. Konut sektörünün elektrik tüketimindeki payı 2018'de %15,9'dan %21,1'e yükselmiştir [17]. Konut elektrik tüketiminin sektörlere göre payındaki büyük oranı sebebiyle, bu çalışmada HRES'in meskenler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Hanehalkının enerji faturalarını azaltmak, karbon emisyonlarını azaltmak ve yenilenebilir enerji payını, enerji verimliliğini ve üretim gücünü artırmak amacıyla HRES'e yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Meskenlere yönelik yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

[18]'de, yazarlar termal ve elektrik yükünü karşılamak için 40 hanede bağımsız bir hibrit yenilenebilir enerji sistemi tasarlamışlardır. HOMER programında toplanan veriler kullanılarak farklı sistemleri karşılaştıran simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. [19]'da Nijerya'daki hibrit FotoVoltaik (Photovoltaic, PV) / Rüzgâr Türbini Wind Turbine, WT) içeren hibrit yenilenebilir enerji sistemini analiz etmişlerdir. Benzer ekonomik ve iklim koşullarına sahip ülkelerin oluşturulan HRES'ten yararlanabileceğini ortaya koymuşlardır. [20]'de, meskenler için farklı teşvik programları içeren ve bu teşviklerin etkilerini inceleyen HRES senaryoları oluşturulmuştur. Sonuçlar, hibrit sistemlerin PV ve WT'ye kıyasla daha yüksek bir yatırım getirisine ve daha kısa bir geri ödeme süresine sahip olduğunu göstermiştir. [21]'de, Türkiye'nin farklı illerinde bir hanenin günlük 11,27 kW'lık talebini karşılamak için 5 kW'lık çatı tipi PV panellerin etkileri araştırılmıştır. Simülasyonlardan elde edilen sonuçlar, farklı illerdeki güneş radyasyonu çeşitliliğine göre farklı teşvik programlarının belirlenmesi gerektiğini göstermiştir. [22]'de Etiyopya'da şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı PV sistemlerinin etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, şebekeye bağlı HRES'in şebekeden bağımsız HRES'ten daha az maliyetli olduğunu göstermiştir. [23]'te, üç farklı özellikteki mesken için şebekeye bağlı PV sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçlar, mesken büyüklüğünün analiz sonuçlarını doğrudan etkilediğini göstermiştir. [24]'te, şebekeye bağlı PV

sistemlerinin tekno-ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Suudi Arabistan'da PV sistemlerinin meskenlere entegrasyonunun enerji yönetimi üzerinde önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Şebekeden bağımsız bir hibrit PV/Batarya (BESS) sistemi, HOMER Pro yazılımı kullanılarak [25]'te analiz edilmiştir. Türkiye'nin Kilis ilinde gerçekleştirilen bu çalışmada araştırmacılar; iklim, güneş radyasyonu ve iklim verilerinin analizlerin gerçekleştirilmesi için yeterli olduğunu ve benzer iklim koşullarına sahip iller için bu çalışmada gerçekleştirilen analiz sonuçlarının kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Şebekeden bağımsız HRES'e yönelik tekno-ekonomik analiz [26]'da incelenmiştir. Sonuçlar, mikro şebeke içeren bir sisteme talep tarafı yönetimi programlarının uygulanmasının toplam maliyeti düşürdüğünü göstermiştir. [27]'de, HRES'in etkileri ekonomik ve çevresel açıdan değerlendirilmiştir. Sonuçlar, WT ve PV'nin birlikte kullanıldığı senaryoda CO₂ emisyonlarında ve enerji maliyetinde önemli düşüşler olduğunu göstermiştir. Şebekeye bağlı PV sistemlerinin ekonomik açıdan değerlendirilmesi, ABD'de üç bölge için [28]'de gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, en ekonomik sonucun güneş ışıınının en yüksek olduğu bölgede meydana geldiğini göstermiştir. Araştırmacılar HRES'i tasarlamak amacıyla yeni bir yöntem geliştirmişlerdir [29]. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntem ile elektrik üretiminin elektrik tüketiminden fazla olduğu durumda enerji maliyetinde önemli düşüşler olduğunu göstermiştir. Birleşik Krallık'taki altı tesis için PV/WT analizi [30]'da gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, enerji maliyetinin bakım maliyetinden ve kurulum maliyetinden önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Yazarlar farklı iklim koşullarını göz önünde bulundurarak HRES'in tasarlanması için bir metodoloji önermiştir [31]. Sonuçlar, önerilen metodolojinin karar verme problemlerinde (Decision Making Problem) önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. HRES'in tekno-ekonomik analizi, [32]'de gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, PV/DG/BESS içeren şebekeden bağımsız HRES'in, 200 kWh/gün enerji talebini karşıladığını göstermiştir. [33]'te en optimum çözümün bulunmasına yönelik HRES tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, şebekeden bağımsız sistemler için önerilen 3 senaryo arasından PV/DG/BESS'in en optimum çözüm olduğunu göstermiştir. [34]'te farklı senaryolar dikkate alınarak en ekonomik HRES'in bulunması amaçlanmıştır. Sonuçlar, yalnızca PV ve yalnızca WT'ye kıyasla PV/WT hibrit sisteminin en optimum çözüm olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, [35]'te konut ve tarım sektörü için şebekeden bağımsız PV/Biyokütle HRES tasarlamışlardır. Sonuçlar, batarya sistemlerini de içeren 10 kW'lık PV, 12 kW'lık

dönüştürücü ve 8 kW'lık biyokütleden oluşan HRES'in tarım ve konut bölgelerinin sırasıyla 137.49 kWh/gün ve 30.88 kWh/gün yük talebini karşıladığını ortaya koymuştur. [36]'da Güney Afrika'da kırsal alan için enerji talebini karşılamaya yönelik düşük maliyetli HRES çözümleri araştırılmıştır. Analizden elde edilen sonuçlar, hibrit bir PV/hidro sisteminin, enerji tüketiminin yoğun olduğu zaman dilimlerinde şebekeden bağımsız sistemler için yük talebini karşıladığını göstermiştir. Yazarlar, [37]'de Pakistan'daki yerel yük talebini karşılamak için bağımsız HRES'in tekno-ekonomik bir incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, 9 senaryo dikkate alındığında PV/WT/BESS'in en uygun ve en optimum çözüm olduğunu göstermiştir. [38]'de enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik HRES'in etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, PV/WT/BESS kombinasyonun en optimum çözüm olduğunu göstermiştir. Yazarlar [39]'da HRES'in gerçek potansiyelinin araştırılması için bir çalışma yürütmüşlerdir. Farklı şehirlerde yapılan analiz sonuçlarına göre, 3-7 kW'lık bir PV dizisinden oluşan HRES'in, güneş radyasyonuna bağlı olarak enerji ihtiyacını karşıladığı görülmüştür. Şebekeye bağlı HRES'in teknik ve ekonomik değerlendirmeleri [40]'da gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, PV/WT sisteminden oluşan kombinasyonun sırasıyla 337 \$ ve 0,002 \$/kWh ile en az NPC ve LCOE değerlerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Şebekeye bağlı bir PV sisteminin tekno-ekonomik fizibilitesi [41]'de gerçekleştirilmiştir. PV sistemlerinin hem elektrik faturalarını düşürmede hem de sera gazı emisyonlarını azaltmada etkili olduğu görülmüştür. HRES'in boyutlandırılmasına yönelik bir çalışma [42]'de gerçekleştirilmiştir. Analizden elde edilen sonuçlar, 38 BESS ile 21,1 kW'lık PV, 5 kW'lık WT'den oluşan HRES'in enerji ihtiyacını karşıladığını göstermiştir. PV/WT/biyogaz/BESS içeren şebekeden bağımsız HRES'in etkileri [43]'te incelenmiştir. Batarya sistemlerini içeren WT/biyogaz sisteminin ekonomik anlamda en iyi konfigürasyon olduğu bulunmuştur. Farklı deniz seviyesi konumlarına göre en verimli hibrit modelinin bulunması için fizibilite çalışması [44]'te gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, deniz seviyesi için PV/BESS'ten oluşan HRES'in en optimum çözüm olduğu bulunmuştur. [45]'te HRES'in meskenlerin enerji faturalarını azaltabileceğine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Hibrit sistemlerin enerji faturalarını azaltarak hanehalkına maliyet anlamında fayda sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Evsel elektrik ihtiyacını karşılamak üzere [46]'da tekno-ekonomik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, şebekeden bağımsız HRES'e kıyasla şebekeye bağlı HRES'in meskenler için en uygun sistem olduğunu ortaya koymuştur. Enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik

fizibilite ve duyarlılık analizleri [47]'de gerçekleştirilmiştir. Optimum çözümün yük talebi, hava koşulları ve farklı bölgeler gibi önemli parametrelerden etkilendiği görülmüştür. Üç katlı bir binanın enerji ihtiyacını karşılamak üzere [48]'de fizibilite çalışması HOMER Pro kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlara göre amortisman süresinin 13 yıl olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bir PV/DG/BESS hibrit enerji sisteminin fizibilite çalışması, [49]'da gerçekleştirilmiştir. PV/WT/DG/BESS'e dayanan şebekeden bağımsız HRES'in analizi, Nijerya'nın farklı bölgelerinde [50]'de gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, bölgeye göre en ekonomik hibrit sistemin PV/WT/DG/BESS veya PV/WT/BESS olduğunu göstermiştir. Yazarlar [51]'de, en düşük LCOE ve NPC'yi dikkate alarak optimal çözümü bulmak için şebekeden bağımsız HRES'in bir fizibilite analizini gerçekleştirmiştir. En optimum çözümün PV/DG/BESS konfigürasyonu olduğu görülmüştür. Üç senaryo dikkate alınarak PV/BESS'ten oluşan şebekeden bağımsız bir HRES'in simülasyonu ve optimizasyonu, [52]'de gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, şebekeden bağımsız PV sisteminin tüm talep yükünü karşıladığını göstermiştir. Meskenlere yönelik gerçekleştirilen çalışmalar Çizelge 1.1'de özetlenmiştir. Literatürdeki meskenlere yönelik çalışmalar göz önüne alındığında çalışmaların büyük bir bölümünde hazır HOMER yük verisi kullanıldığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında yük verileri akıllı prizler kullanılarak ölçülmüş ve gerçek veri kullanılmıştır. Bununla birlikte literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmında incelenen bölgeye yönelik ya şebekeden bağımsız ya da şebekeye bağlı HRES'in etkileri incelenmiştir. Bu tez kapsamında hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız toplam 21 il üzerinde benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. HOMER Pro aracılığı ile bu tez çalışmasında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin de literatürdeki birçok çalışmada gerçekleştirilmediği görülmektedir.

1.3 Yenilik, Katkılar ve Tezin Organizasyonu

Literatürdeki özetlenen çalışmalar, teze yönelik güçlü bir temel sağlamaktadır. Ancak, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız meskenlere yönelik HRES'in tekno-ekonomik karşılaştırmalı bir analizi, Türkiye için literatürde uygun bir şekilde ele alınmamıştır. Bu çalışma, farklı iklim koşulları altında Türkiye'nin 21 ilinde şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES'in ekonomik, teknik ve çevresel performansına odaklanmaktadır. Bu çalışma, literatürde çok ihtiyaç duyulan bir araştırma boşluğunu doldurmaktadır. Ayrıca, bu çalışma 4 kişilik bir ailenin gerçekçi bir evsel yük profilini

sunmaktadır. Literatürdeki çoğu çalışmada konut bölgeleri için gerçek zamanlı veriler bulunmamasına rağmen, bu çalışmada gerçek veri paketleri kullanılmıştır. Bu sayede tekno-ekonomik analizler daha hassas bir şekilde gerçekleştirilmiş olup sonuçların hassaslığı arttırılmıştır. Ayrıca, literatürde meskenlere yönelik hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız 20'den fazla lokasyon için daha önce karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmemiştir. Buna ek olarak literatürde HOMER Pro kullanılarak meskenlere yönelik gerçekleştirilen bütün çalışmalar tez kapsamında özetlenerek araştırmacılara ve mühendislere rehberlik etmesi amaçlanmıştır. Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri kapsamında araştırmanın temel motivasyonları aşağıda belirtilmiştir.

- Türkiye'nin 21 farklı ilinde yenilenebilir enerji potansiyellerini belirlemek,
- HRES'e yönelik literatürdeki gerçekleştirilen tüm çalışmaları gözden geçirmek,
- Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı en optimum HRES konfigürasyonunu belirlemek,
- Çalışma kapsamında belirlenen illeri NPC, CO₂ emisyonu ve RF açısından karşılaştırmak,
- Duyarlılık analizleri kapsamında değişken parametrelerin etkilerini incelemek.

HRES analizlere ek olarak akıllı binalara ve aydınlatma sistemlerine yönelik literatüre katkı sağlayacak çalışmalar da tez kapsamında gerçekleştirilmiştir. Literatürde Türkiye'de akıllı ev sistemlerinin benimsenmesini etkileyen faktörlerin analizi üzerine ayrıntılı bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Oluşturulan Teknoloji Kabul Modeli kapsamında akıllı ev sistemlerinin benimsenmesi etkileyen değişkenler ve değişkenlerin etki değerleri bulunarak kısıtlı olan akademik literatüre katkıda bulunulmuştur.

Akıllı ev sistemlerinde akıllı LED lambaların kullanımının artmasına bağlı olarak aydınlatma sistemlerine yönelik çalışmalar da tez kapsamında incelenmiştir. Meskenlerde kullanılan halojen, CFL, LED ve akıllı LED lambalar; enerji verimliliği, harmonik ve termal açılardan birbirleriyle karşılaştırılarak literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

4 bölümden oluşan tez, aşağıdaki gibi organize edilmiştir.

- 1. Bölüm: Genel bilgilerin sunulması, tezin amacı ve kapsamının detaylı olarak ele alınması, literatür araştırmasına yer verilmesi ve tezin literatüre sağladığı katkıların sunulması, literatürdeki çalışmaların araştırılarak teze katkı sağlayacak ve literatürdeki boşluğu dolduracak yenilikler hakkında bilgi verilmesi,
- 2. Bölüm: Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerine yönelik şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin benzeşim analizleri ve sonuçlarına yer verilmesi, gerçekleştirilen bölgelerin ve şehirlerin teknik, ekonomik ve çevresel açıdan birbirleriyle karşılaştırılması, ekonomik ve çevresel açıdan duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilerek değişken parametrelere karşı sistem hassasiyetinin gözlemlenmesi,
- 3. Bölüm: Akıllı ev sistemlerine yönelik Teknoloji Kabul Modelinin geliştirilmesi ve çok değişkenli regresyon analizinin gerçekleştirilmesi, aydınlatma sistemlerinde farklı türdeki lambaların termal ve harmonik analizine yer verilmesi ve IoT tabanlı akıllı aydınlatma sistemlerinin enerji verimliliği yönünden birbirleriyle karşılaştırılması,
- 4. Bölüm: Sonuçlar ve önerilerin sunulması.

Çizelge 1.1 : Literatürde meskenlere yönelik gerçekleştirilmiş çalışmalar.

Referanslar	Yayın Yılı	Ülke	Sistem	Sistem Konfigürasyonu	Yük Talebi	Farklı Bölge	Detaylı Yük Profili	Duyarlılık Analizi
[18]	2020	Türkiye	PV/WT/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	320 kWh/d	Hayır	Hayır	Evet
[19]	2020	Nijerya	PV/WT/BESS	Şebekeden Bağımsız	5,58 kWh/d	Hayır	Hayır	Hayır
[20]	2017	Türkiye	Grid/PV/BESS Grid/WT/BESS Grid/PV/WT/BESS	Şebekeye Bağlı	11,3 kWh/d	Hayır	Hayır	Hayır
[21]	2020	Türkiye	Grid/PV	Şebekeye Bağlı	11,27 kWh/d	Evet	Hayır	Evet
[22]	2021	Etiyopya	Grid/PV PV/BESS	Şebekeye Bağlı Şebekeden Bağımsız	324 kWh/d	Hayır	Hayır	Evet
[23]	2017	Hindistan	Grid/PV/BESS	Şebekeye Bağlı	5,7 kWh/d 11 kWh/d 22 kWh/d ortalama 74,48 kWh/d	Hayır	Hayır	Hayır
[24]	2019	Suudi Arabistan	Grid/PV	Şebekeye Bağlı	10 kWh/d	Hayır	Hayır	Evet
[25]	2017	Türkiye	PV/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	51,84 kWh/d	Hayır	Evet	Hayır
[26]	2017	İran	PV/WT/BESS	Şebekeden Bağımsız	886 kWh/d	Hayır	Evet	Evet
[27]	2018	Yemen	DG-only WT/DG/BESS PV/DG/BESS PV/WT/BESS PV/WT/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	8,765 kWh 13,750 kWh 7,887 kWh 18,7 kWh/d	Evet	Hayır	Evet
[28]	2018	ABD	Grid/PV/BESS	Şebekeye Bağlı	3,902 kWh/yr	Evet	Evet	Evet
[29]	2016	Fas	PV/WT/BESS	Şebekeden Bağımsız	ortalama 11 kWh/d	Hayır	Hayır	Hayır
[30]	2018	Birleşik Krallık	PV/WT	Şebekeden Bağımsız	200 kWh/d	Hayır	Hayır	Hayır
[31]	2015	Venezuela	PV/WT/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	14,364 kWh/d	Hayır	Hayır	Evet
[32]	2013	İran	PV/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	11,26 kwh/d	Evet	Hayır	Evet
[33]	2017	Kamboçya	DG-only PV/DG PV/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	30,882 kWh/d	Hayır	Evet	Evet
[34]	2022	Malezya	Grid/PV/DG/BESS Grid/WT/PV/DG/BESS	Şebekeye Bağlı	16 kWh/d	Hayır	Hayır	Hayır
[35]	2017	Pakistan	PV/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız				
[36]	2009	Güney Afrika	PV/micro hydro/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız				

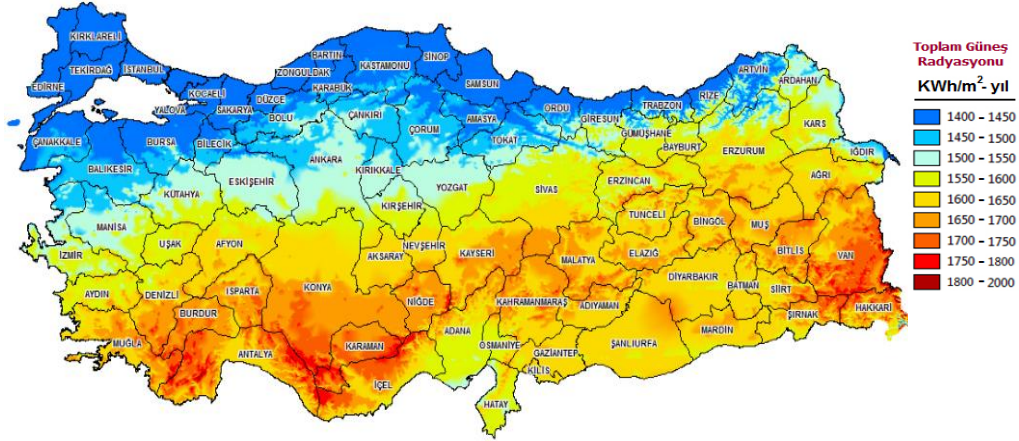
Çizelge 1.1 (devam): Literatürde meskenlere yönelik gerçekleştirilmiş çalışmalar.

Referanslar	Yayın Yılı	Ülke	Sistem	Sistem Konfigürasyonu	Yük Talebi	Farklı Bölge	Detaylı Yük Profili	Duyarlılık Analizi
[37]	2019	Pakistan	PV/WT/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	7,19 kWh/d	Hayır	Evet	Hayır
[38]	2019	Pakistan	WT/DG/BESS WT/BESS DG DG-/BESS WT/DG	Şebekeden Bağımsız	11,25 kWh/d	Hayır	Hayır	Hayır
[39]	2020	Çin	Grid/PV/BESS	Şebekeye Bağlı	6,67 kWh - 13,33 kWh/d	Evet	Hayır	Hayır
[40]	2023	Cibuti	Grid/PV/WT	Şebekeye Bağlı	43 kWh/d	Hayır	Evet	Evet
[41]	2012	Avustralya	Grid/PV/BESS	Şebekeye Bağlı	23 kWh/d	Evet	Hayır	Evet
[42]	2020	Pakistan	PV/WT/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	35,94 kWh/d	Hayır	Evet	Evet
[43]	2020	Birleşik Krallık	Grid/Biogaz/PV/WT/BESS	Şebekeye Bağlı	4,6 kWh/d	Hayır	Evet	Evet
[44]	2020	Filipinler	PV/WT/BESS	Şebekeden Bağımsız	11kWh/d	Hayır	Hayır	Hayır
[45]	2020	Bangladeş	Grid/PV	Şebekeye Bağlı	14.887 kWh/d	Hayır	Hayır	Hayır
[46]	2021	Türkiye	PV/DG/BESS Grid/PV	Şebekeye Bağlı Şebekeden Bağımsız	4,13 kWh/d	Hayır	Hayır	Hayır
[47]	2019	Bangladeş	Grid/WT/PV/BESS WT/PV/BESS	Şebekeye Bağlı Şebekeden Bağımsız	2.687,54 kWh/d 1.521,37 kWh/d	Evet	Evet	Evet
[48]	2022	Türkiye	Grid/PV/BESS	Şebekeye Bağlı	18 kWh/d	Hayır	Hayır	Hayır
[49]	2019	Irak	PV/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	145 kWh/d	Hayır	Hayır	Evet
[50]	2018	Nijerya	PV/WT/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	7,23 kWh/d	Evet	Evet	Hayır
[51]	2022	Namibya	PV/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	2,71 kWh/d	Hayır	Evet	Evet
[52]	2021	Libya	PV/BESS PV/DG/BESS	Şebekeden Bağımsız	9,6 kWh/d	Hayır	Evet	Hayır

2. HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ

2.1 Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye’de güneş enerjisi; potansiyelinin yüksek olması, kullanım kolaylığı ve çevre dostu özellikleri sebebiyle diğer birçok yenilenebilir enerji kaynaklarından daha hızlı bir büyüme potansiyeline sahiptir. Ancak fotovoltaik (Photovoltaic, PV) kurulum maliyetlerinin yüksek olabilmesi, düşük verime ve kapasite faktörüne sahip olması sebebiyle birtakım teknolojik ve ekonomik zorlukları da bulunmaktadır. Bu engellerin çözülmesiyle birlikte Türkiye’de PV panellerinden elektrik üretiminin yakın gelecekte artacağı öngörülmektedir. Türkiye 785.350 km²’lik bir yüzölçümüne sahip olup 26°-45° doğu meridyenleri ile 36°-42° kuzey paralelleri arasında konumlanmıştır [53]. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) tarafından oluşturulan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Türkiye’nin mevcut coğrafi konumu güneş enerjisinden elektrik üretimi için oldukça uygun konumdadır. Güneşten üretilen enerji potansiyeli Türkiye’de yaklaşık 382 milyar kWh’dir. GEPA’ya göre, Türkiye’nin coğrafi konumuna bağlı olarak günlük toplam radyasyon yoğunluğu ve güneşlenme süresi sırasıyla 4,17 kWh/m² ve 7,58 saatken, ortalama yıllık toplam radyasyon yoğunluğu ve yıllık toplam güneşlenme süresi sırasıyla 1521,7 kWh/m² ve 2766,5 saattir [54]. Türkiye’deki güneş enerjisi potansiyelinin kWh/m²/yıl olarak toplam yıllık potansiyeli Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve Karadeniz bölgeleri için sırasıyla 1460, 1390, 1365, 1314, 1304, 1168 ve 1120’dir [54]. Dünya Bankası tarafından yayınlanan Küresel Güneş Atlası’na göre, yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgeler 30° kuzey ve 30° güney enlemleri arasında bulunmaktadır. Türkiye, konumu gereği bu bölgelere kıyasla güneş radyasyonu potansiyeli açısından daha dezavantajlı olsa da, Çin ve birçok Avrupa ülkesine göre daha yüksek güneş radyasyonuna sahip olduğu için metre kare başına daha yüksek güneş enerjisi üretim potansiyeline sahiptir [55]–[57]. Türkiye’deki toplam kurulu PV kapasitesi Aralık 2021 itibarıyla 8 GW’a ulaşmıştır.



Şekil 2.1 : Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası.

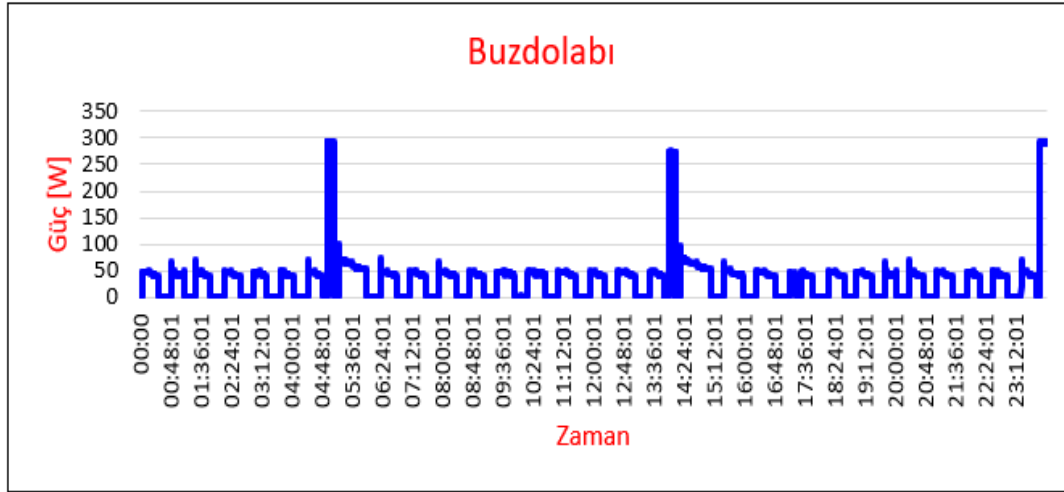
2.2 Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve alternatif enerji kaynakları arasında YEK'lerin payının arttırılması Türkiye'nin enerji stratejileri bakımından önemlidir. Rüzgâr enerjisi de fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltan başka bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından oluşturulan Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) Şekil 2.2'de gösterilmiştir. 2016 yılında, toplam rüzgâr enerjisi kurulu gücü 5.71 MW iken Haziran 2022 sonunda toplam kurulu rüzgâr gücü kapasitesi 10.976 MW'a çıkmıştır. Rüzgâr enerjisi potansiyeli 2016-2022 yılları arasında yaklaşık olarak iki katına çıkmıştır. Bununla birlikte, toplam kurulu gücün kaynaklara göre dağılımına bakıldığında rüzgâr enerjisinin payının 2016 yılında %7,33 olduğu, 2022'de ise %10,81'e yükseldiği görülmüştür [58]. Rüzgar enerjisi potansiyelinin arttığı Türkiye'de, 2025 yılına kadar yaklaşık 20.000 MW'lık rüzgar gücü potansiyeli hedeflenmekte ve ihtiyaç duyulan elektriğin %7'sinin rüzgar enerjisi kaynağından karşılanması öngörülmektedir [59], [60]. Türkiye'de ve dünyanın farklı ülkelerinde rüzgâr enerjisi santrallerinin dağılımında bölgeler arasında dengesizlik olduğu ve rüzgâr gücü yoğunluğunun bazı alanlarda daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. İklim koşulları, rüzgâr hızı özellikleri ve bir arazinin morfolojik yapısı; rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulum yerlerinin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Örneğin Şekil 2.2 incelendiğinde rüzgâr hızının Ege ve Marmara bölgelerinde daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir.

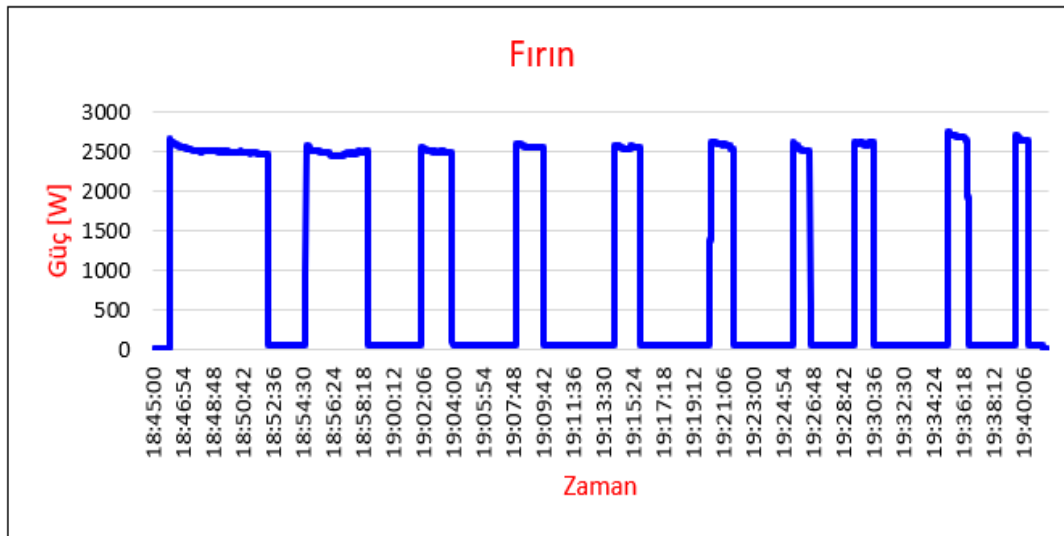
Ege ve Marmara kıyılarında rüzgâr türbinlerinin kurulumu için rüzgâr hızının yeterli olduğu açıkça görülmektedir. 2021 yılı itibariyle kurulu rüzgâr enerjisi gücünün dağılımı Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz, İç Anadolu, Akdeniz, Marmara ve Ege bölgelerinde sırasıyla %0,16, %1, %3,80, %9,90, %12,04, %35,36 ve %37,73 olduğu görülmüştür [59] . Enerji talebinin hızlı nüfus artışı ve kentleşme nedeniyle 2023 yılına kadar yılda %7 artacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının günden güne artacağı tahmin edilmektedir [59].

Şekil 2.2 : Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli atlası.

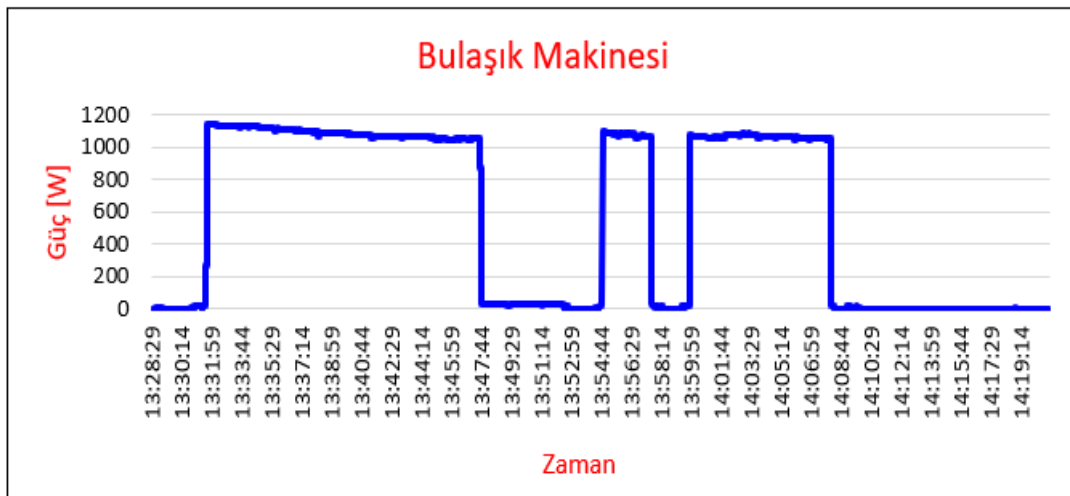
2.3.1 Konut yük profili



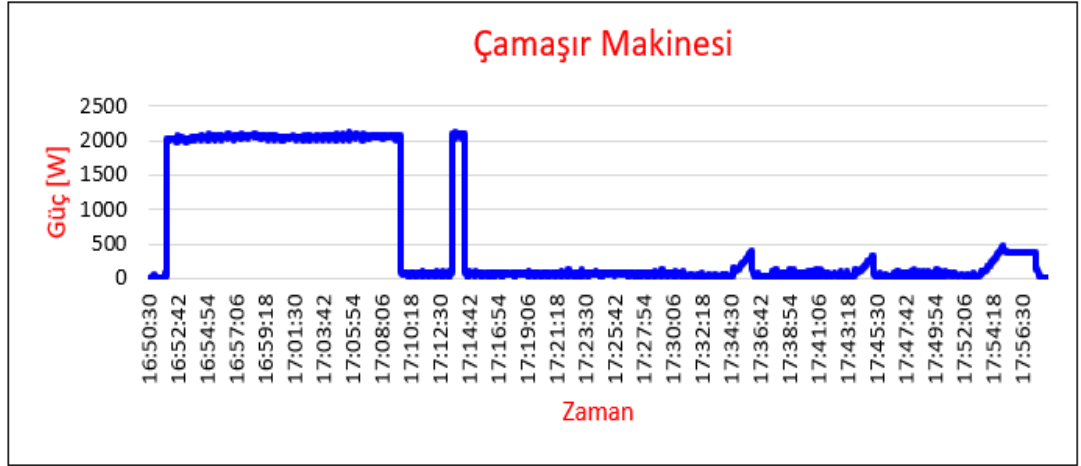
Şekil 2.3 : Buzdolabı güç tüketimi.



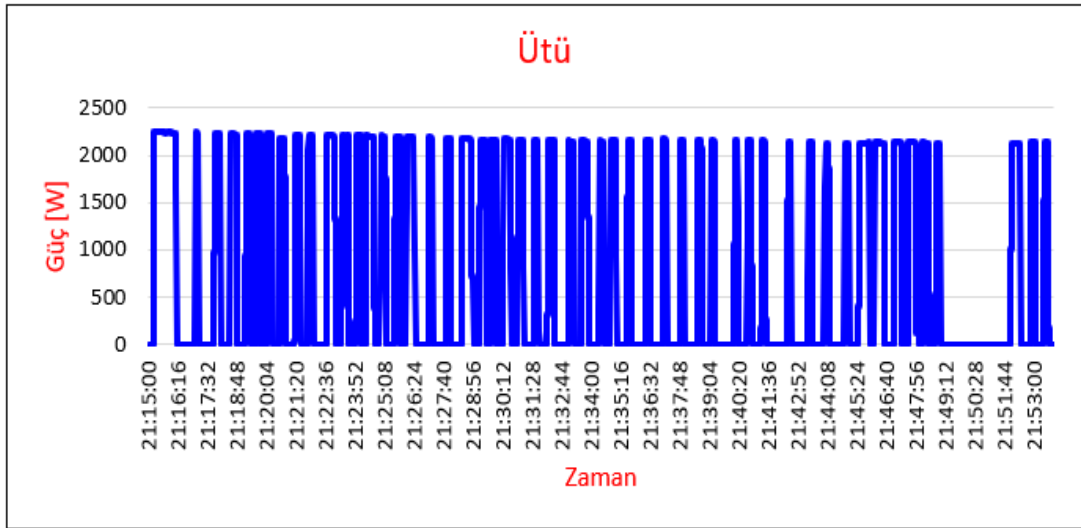
Şekil 2.4 : Fırın güç tüketimi.



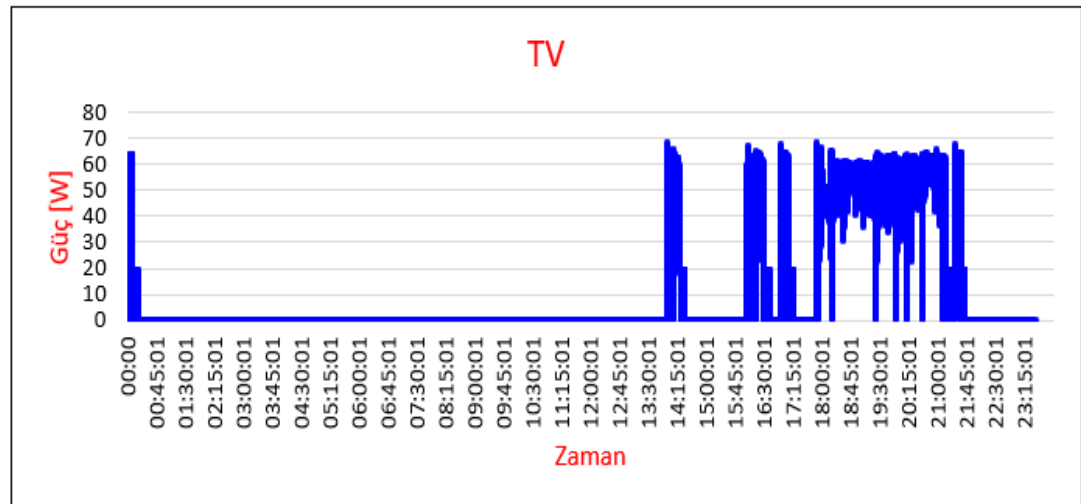
Şekil 2.5 : Bulaşık makinesi güç tüketimi.



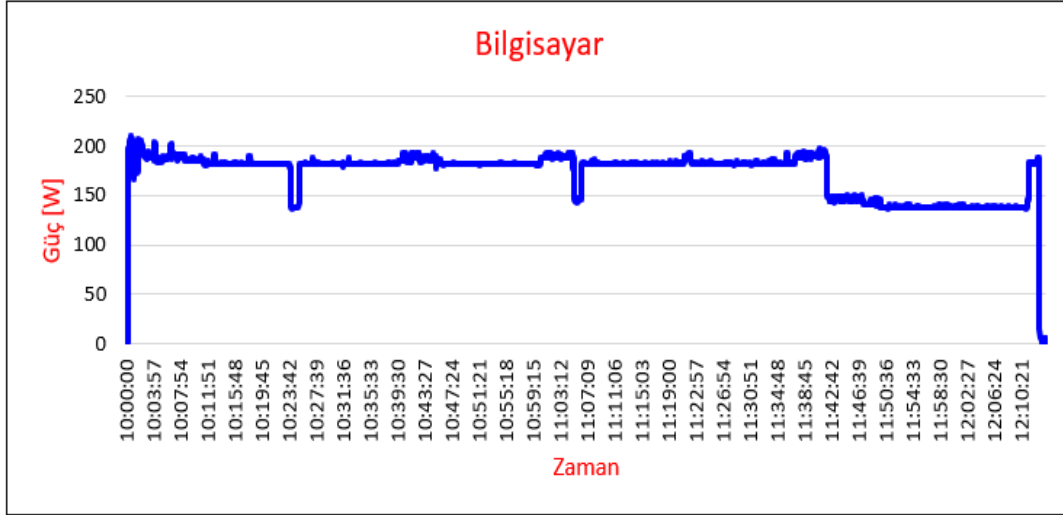
Şekil 2.6 : Çamaşır makinesi güç tüketimi.



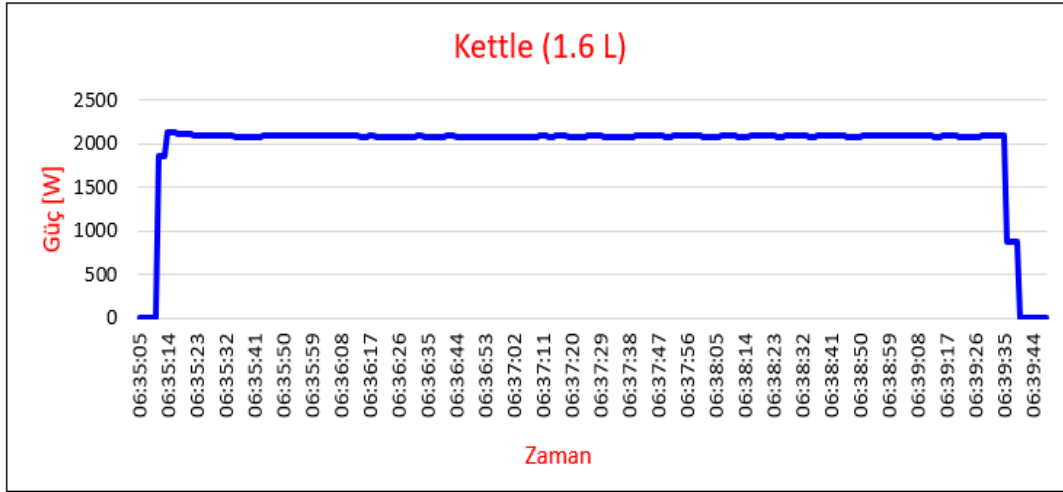
Şekil 2.7 : Ütü güç tüketimi.



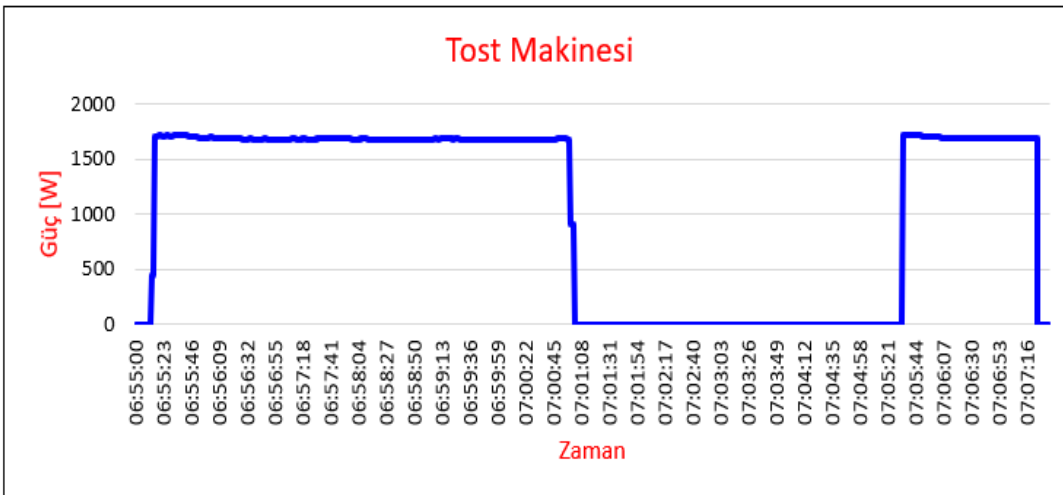
Şekil 2.8 : TV güç tüketimi.



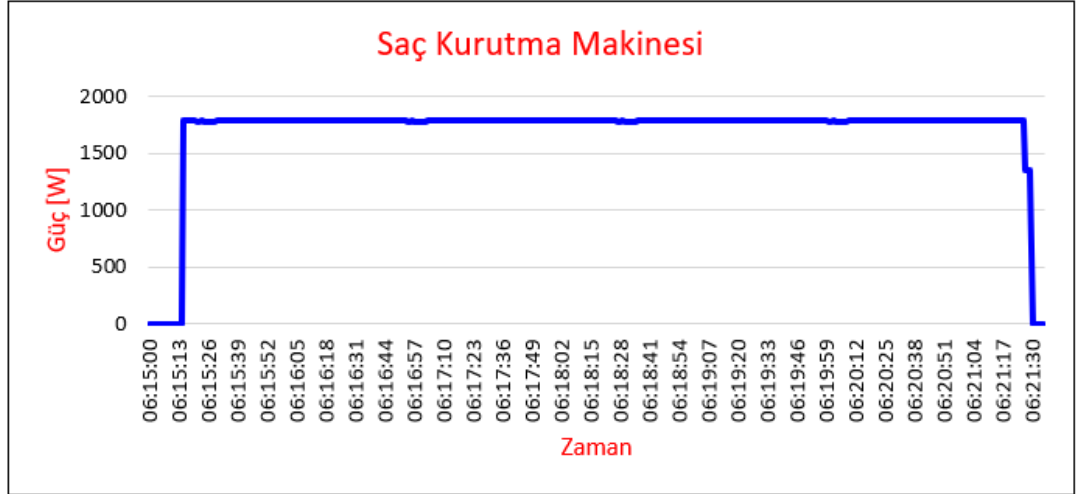
Şekil 2.9 : Bilgisayar güç tüketimi.



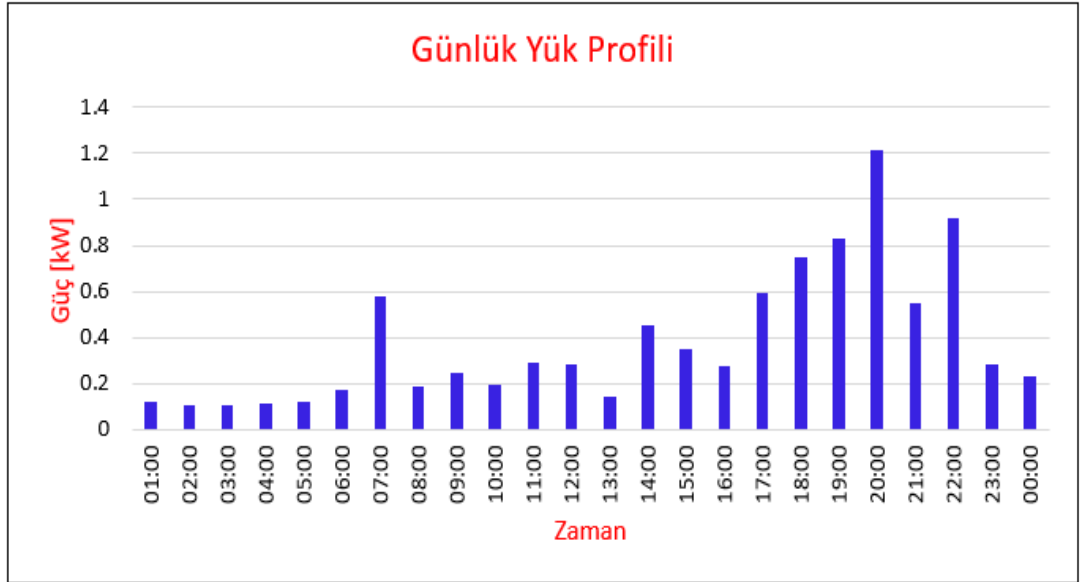
Şekil 2.10 : Kettle güç tüketimi.



Şekil 2.11 : Tost makinesi güç tüketimi.



Şekil 2.12 : Saç kurutma makinesi güç tüketimi.



Şekil 2.13 : Günlük yük profili.

Şekil 2.13 incelendiğinde puant yük talebinin 19:00-20:00 arasında meydana geldiği görülmektedir. Günlük yük profiline göre güç tüketiminin akşam saatlerinde yoğunlaştığı, sabahın erken saatlerinde ise oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu durum meskende oturan aile bireylerinin günlük tüketim alışkanlıklarıyla yakından ilgilidir. Aile bireylerinin okul/iş sebebiyle evde bulunmadığı durumlarda güç tüketiminin azaldığı görülürken 17:00 sonrası işten/okuldan dönmelerine bağlı olarak güç tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir. Türkiye'deki Elektrik Tesisleri Yönetmeliğine göre, konut yük profili oluşturulurken eşzamanlılık katsayıları da dikkate alınmalıdır [61]. Bu nedenle, HOMER Pro yazılımında daha gerçekçi yük verileri oluşturabilmek

için, day-to-day ve timestep değişkenlik parametreleri sırasıyla %15 ve %20 alınmıştır [62]. Bununla birlikte elektrikli cihazların tüketim grafikleri için [63]'ten yararlanılmıştır. Bu bilgiler ışığında, dört kişilik bir aile için ortalama günlük elektrik tüketimi ve puant talebi sırasıyla 13,26 kWh ve 6,20 kW olarak bulunmuştur.

Şekil 2.3'te gün boyunca sürekli olarak çalışan bir buzdolabının güç tüketimi gösterilmiştir. Buzdolabının ortalama olarak günlük 778,055 W güç tükettiği görülmüştür.

Şekil 2.4, 180 °C'de çalıştırılan bir fırının güç tüketimini göstermektedir. Fırının 18:45-19:41 arasında 56 dakika çalıştırılması, 938,39 W güç tüketimine neden olmuştur.

Şekil 2.5 ve Şekil 2.6, sırasıyla bulaşık makinesi ve çamaşır makinesinin güç tüketimini göstermektedir. Çamaşır makinesi 16:50-17:58 ve 20:45-21:45 saatleri arasında çalıştırılırken, bulaşık makinesi 13:28-14:20 ve 19:00-20:16 saatleri arasında çalıştırılmıştır. 65°C'de çalıştırılan bulaşık makinesi ve 40 °C'de çalıştırılan çamaşır makinesi toplamda sırasıyla 812,80 W ve 995,73 W güç tüketimine sebep olmuştur.

Ütünün 21:15-21:53 arasında çalıştırılması 492,27 W'lık bir güç tüketimine sebep olmuştur (Şekil 2.7).

Şekil 2.8 stand-by modu dahil olmak üzere 24 saat boyunca çalıştırılan bir TV'nin ortalama 266,89 W güç tüketimini göstermektedir.

Bilgisayar günde üç kez 10:00-12:13, 15:07-19:35 ve 20:30-22:53 saatleri arasında çalıştırıldığında, toplam güç tüketimi 1536,88 W olarak ölçülmüştür (Şekil 2.9).

1,6 L'lik suyun kaynatılması için 06:35-06:39 saatleri arasında çalıştırılan su ısıtıcısı 154,49 W'lık güç tüketimine neden olmuştur (Şekil 2.10).

Tost makinesi sabah 06:55-07:07 ve 08:55-09:08 saatleri arasında çalıştırıldığında toplam 429,21 W güç tüketimine sebep olmuştur (Şekil 2.11).

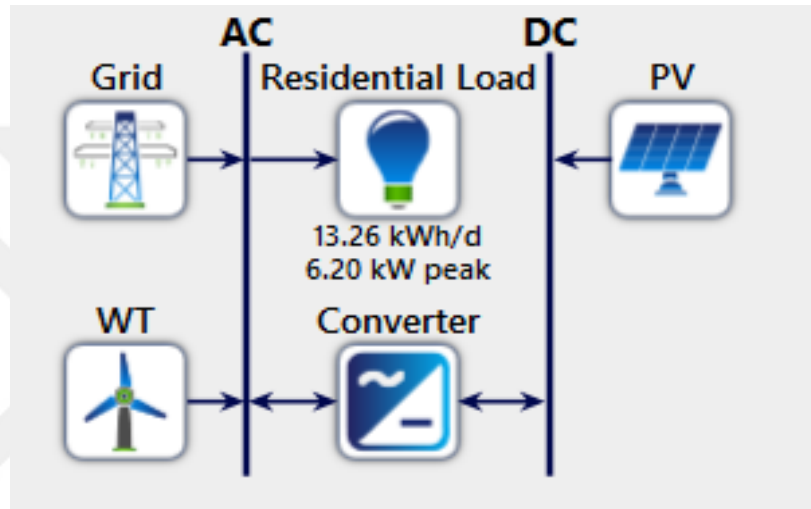
Orta hızda çalışan bir saç kurutma makinesi 06:15-06:21 saatleri arasında çalıştırıldığında 211,76 W güç tüketmiştir. (Şekil 2.12).

Günlük yük profili oluşturulurken, 24 saat çalıştırılan kombi ve derin dondurucu ile 17:30-00:00 saatleri arasında kullanılan 6 W değerindeki 10 lambanın da tüketimleri göz önünde bulundurulmuştur. Kombi, dondurucu ve lambalar sırasıyla 712,34 W, 499,21 W ve 390 W ortalama güç tüketimine sebep olmuşlardır.

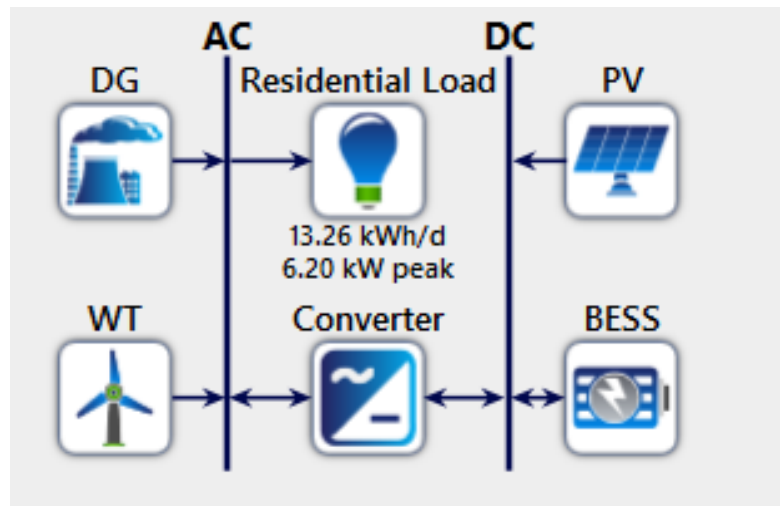
2.3.2 Teknik ve maliyet verileri

Bu bölümde şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES bileşenlerine yer verilmiştir.

Şebeke bağlantılı HRES'te şebeke ile birlikte PV, WT ve çevirici olarak 4 önemli sistem bileşeni yer alırken şebekeden bağımsız HRES için DG, PV, WT, çevirici ve BESS olmak üzere 5 önemli sistem bileşeni yer almaktadır. HOMER Pro yazılımında oluşturulan şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız sistem konfigürasyonları sırasıyla Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14 : Şebeke bağlantılı HRES.



Şekil 2.15 : Şebekeden bağımsız HRES.

Önerilen HRES içerisindeki bileşenlerin maliyetleri ve teknik parametreleri, ikili görüşmeler ve fiyat teklifi yoluyla elde edilmiştir. Sistemde kullanılan tüm bileşenler Türkiye pazarında mevcuttur. HOMER Pro yazılımındaki sonuçların kesin, tutarlı ve

doğru olması için bileşenlerin maliyetleri ve teknik parametreler oldukça önemlidir. Bu sayede HOMER Pro yazılımı, enerji üretim kapasitesini göz önünde bulundurarak sistem bileşenleri için en uygun boyutlandırmayı sağlayacaktır [49].

PV, WT, DG, çevirici ve BESS'in teknik ve ekonomik verileri sırasıyla Çizelge 2.1, Çizelge 2.2, Çizelge 2.2, Çizelge 2.3, Çizelge 2.4, ve Çizelge 2.5'te gösterilmiştir. Bileşenlerin ekonomik parametrelerine ek olarak, önerilen sistem için faiz oranı, enflasyon, reel faiz oranı ve proje ömrü ile ilgili verilerin girdi olarak HOMER Pro yazılımına girilmesi gerekmektedir. Proje ömrü 25 yıl olarak belirlenmiştir.

Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası'nın son 10 yıllık verilerine bakıldığında faiz oranı %8, enflasyon oranı ise %10'dur. Reel faiz oranı -%1,82 [64] olarak bulunmuştur. Bununla birlikte yenilenebilir enerji oranını arttırmak ve sera gazı emisyonlarının azaltılması için şebeke bağlantılı HRES için şebeke kullanımına yönelik 4000 kW sınır getirilmiştir [65].

Çizelge 2.1 : Fotovoltaik panel sistem bileşenleri.

Parametre	Özellikler
Model	LG
Güç	350 W
Maksimum Modül Sayısı	15
Panel Tipi	Flat plate (Düz Plak)
Sistem Boyutları	1700mm x 1016mm x 40mm
Verimlilik	%18,1
Yatırım Maliyeti	574,52 \$/kW
Değiştirme Maliyeti	574,52 \$/kW
Bakım Onarım Maliyeti	10 \$/kW/yıl
Yaşam Ömrü	25 yıl

Çizelge 2.2 : Rüzgar türbini sistem bileşenleri.

Parametre	Özellikler
Üretici	İstabreeze
Nominal Güç	1,8 kW
Kule Yüksekliği	12 m
Yatırım Maliyeti/Birim	1.904,16 \$
Değiştirme Maliyeti	1.600,00 \$
Bakım Onarım Maliyeti	300 \$/kW/yıl
Yaşam Ömrü	20 yıl

Çizelge 2.3 : Dizel jeneratör sistem bileşenleri.

Parametre	Özellikler
Üretici	Aksa
Sistem Boyutları	680mm x 455mm x 545mm
Yatırım Maliyeti	362,10 \$
Değiştirme Maliyeti	362,10 \$
Bakım Onarım Maliyeti	0,03 \$/op. saat
Yakıt Fiyatı	1,42-1,45 \$/L
Yaşam Ömrü	15.000,00 saat

Çizelge 2.4 : Dönüştürücü sistem bileşenleri.

Parametre	Özellikler
Üretici	Huawei
Kapasite	3 kW, 4kW
Sistem Boyutları	435mm x 470mm x 176mm
Yatırım Maliyeti	3kW için 1.248,51 \$ 4kW için 1.375,55 \$
Değiştirme Maliyeti	3kW için 1.148,51 \$ 4kW için 1.375,55 \$
Bakım Onarım Maliyeti	20 \$/yıl
Verimlilik	%90
Yaşam Ömrü	10 yıl

Çizelge 2.5 : Batarya sistem bileşenleri.

Parametre	Özellikler
Üretici	Aspilsan Pençe
Nominal Gerilim	24 V
Batarya Kapasitesi	100 ah
Nominal Kapasite	2,5 kWh
Batarya Türü	Li-ion
Sistem Boyutları	30cm x 50cm x 40cm
Yatırım Maliyeti	565,85 \$
Değiştirme Maliyeti	565,85 \$
Bakım Onarım Maliyeti	8 \$/yr
Yaşam Ömrü	2500 cycle

2.3.3 İklim verileri ve seçilen iller

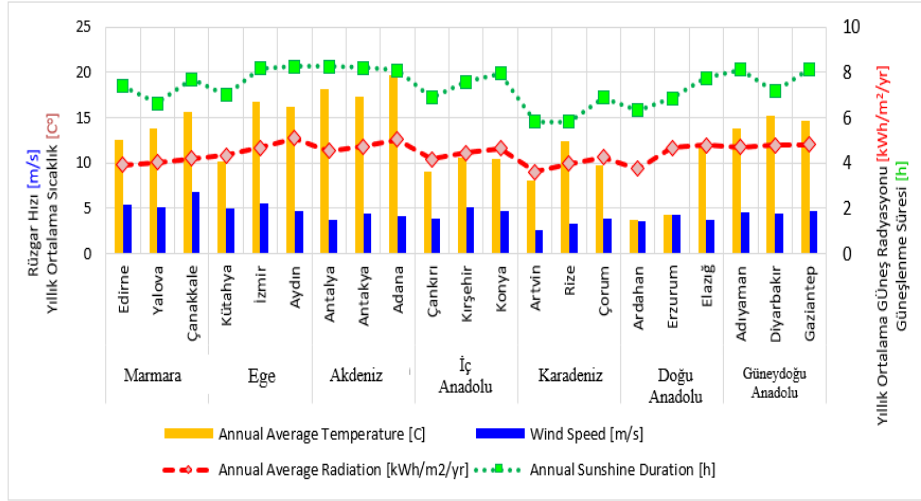
Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli, rüzgar enerjisinden elektrik üretimi potansiyelinden daha yüksektir. Bu sebeple analizi gerçekleştirilecek illerin bulunması için Türkiye'nin 7 bölgesindeki en yüksek, ortanca ve en düşük güneş ışıınımı dikkate alınmış ve toplam 21 il seçilerek HOMER Pro yazılımında analizler gerçekleştirilmiştir.

Ancak Türkiye'nin Ege ve Marmara bölgeleri dikkate alındığında rüzgar potansiyelinin yüksek olması ve yeterli rüzgar kurulu gücüne sahip olması nedeniyle HRES analizlerine PV panellere ek olarak rüzgar türbinleri de dahil edilmiştir. En düşük, ortanca ve en yüksek güneş ışıınımına göre seçilen illerin coğrafi koordinatları ve bulundukları bölgenin özellikleri Çizelge 2.6’da gösterilmiştir.

Ayrıca 21 ilin güneş radyasyonu, rüzgar hızı, güneşlenme süresi ve sıcaklık verileri karşılaştırmalı olarak Şekil 2.16’da gösterilmiştir. Şekil 2.16’ya göre güneş ışıınımının kWh/m²/gün cinsinden 3,6 ile 5,1 arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 2.6 : HRES kapsamında seçilen iller, illerin koordinatları ve coğrafi özellikleri.

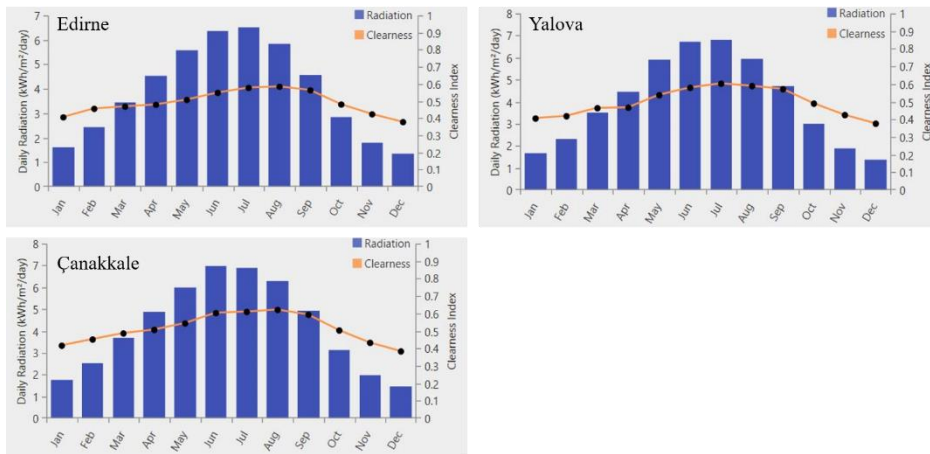
Bölge	İl	Güneş Işınımı Durumu	Güneş Işınımı [kwh/m ² /gün]	Bulutluluk İndeksi	Sıcaklık [°C]	Rüzgar Hızı [m/s]	Enlem	Boylam	Yükseklik	Bölge Özellikleri
Marmara	Edirne	En Düşük	3,9	0,49	12,61	5,43	41° 40.6'N	26° 33.3'E	42 m	Karadeniz ve Akdeniz arasında geçiş özelliğine sahiptir
	Yalova	Ortanca	4,02	0,49	13,87	5,06	40° 39.3'N	29° 17.1'E	7 m	
	Çanakkale	En Yüksek	4,2	0,51	15,65	6,83	40° 8.8'N	26° 24.5'E	12 m	
Ege	Kütahya	En Düşük	4,33	0,53	10,19	5,01	39° 25.2'N	29° 59.1'E	950 m	Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı
	İzmir	Ortanca	4,68	0,56	16,69	5,5	38° 25.4'N	27° 8.6'E	10 m	
	Aydın	En Yüksek	5,1	0,62	16,26	4,68	37° 50.3'N	27° 50.7'E	64 m	
Akdeniz	Antalya	En Düşük	4,54	0,54	18,23	3,73	36° 53.8'N	30° 42.8'E	39 m	Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı
	Antakya	Ortanca	4,72	0,56	17,35	4,37	36° 12.1'N	36° 9.7'E	85 m	
	Adana	En Yüksek	5,04	0,6	19,74	4,18	36° 59.5'N	35° 19.8'E	23 m	
İç Anadolu	Çankırı	En Düşük	4,16	0,52	9,04	3,85	40° 36.0'N	33° 37.0'E	723 m	Kışlar soğuk,yazlar biraz sıcak
	Kırşehir	Ortanca	4,45	0,54	10,62	5,12	39° 8.8'N	34° 9.6'E	978 m	
	Konya	En Yüksek	4,64	0,56	10,48	4,76	37° 52.5'N	32° 29.6'E	1016 m	
Karadeniz	Artvin	En Düşük	3,6	0,45	8,12	2,56	41° 10.9'N	41° 49.2'E	520 m	Her mevsim yağışlı
	Rize	Ortanca	3,98	0,5	12,42	3,29	41° 1.5'N	40° 31.1'E	10 m	
	Çorum	En Yüksek	4,26	0,53	9,75	3,9	40° 33.0'N	34° 57.2'E	801 m	
Doğu Anadolu	Ardahan	En Düşük	3,74	0,47	3,79	3,64	41° 6.8'N	42° 8.2'E	1870 m	Yazlar kısa ve serin, kışlar uzun ve soğuk
	Erzurum	Ortanca	4,66	0,57	4,22	4,24	39° 54.3'N	41° 15.9'E	1890 m	
	Elazığ	En Yüksek	4,79	0,58	11,7	3,68	38° 40.5'N	39° 13.4'E	1067 m	
Güneydoğu Anadolu	Adıyaman	En Düşük	4,7	0,57	13,77	4,63	37° 45.8'N	38° 16.6'E	669 m	Yazlar çok sıcak, kışlar nadiren soğuk
	Diyarbakır	Ortanca	4,77	0,58	15,26	4,37	37° 55.5'N	40° 12.7'E	670 m	
	Gaziantep	En Yüksek	4,82	0,57	14,67	4,71	37° 4.0'N	37° 22.7'E	843 m	



Şekil 2.16 : 21 ilin iklimsel verileri.

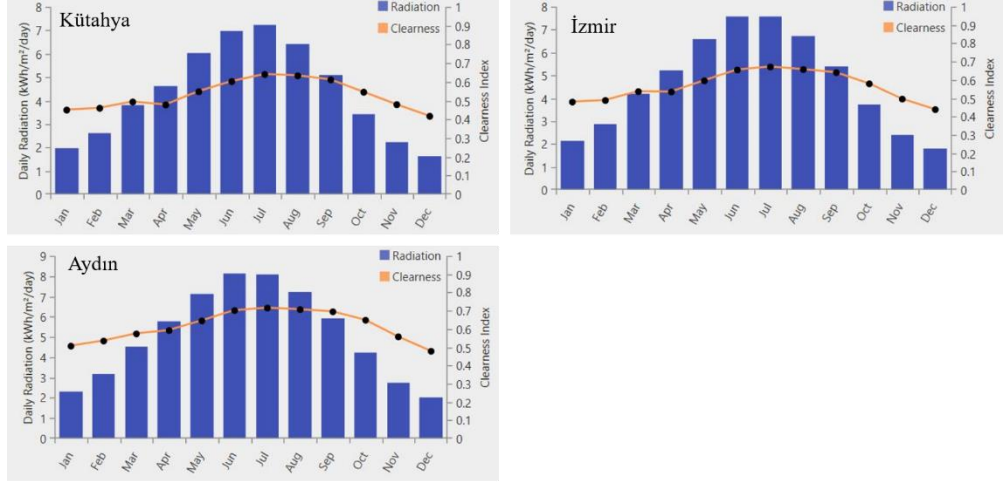
21 il arasından güneş ışıınının en az olduğu il Karadeniz bölgesindeki Artvin, güneş ışıınının en fazla olduğu il ise Ege bölgesindeki Aydın ilidir. Ayrıca rüzgar hızı m/s cinsinden 2,56 ile 6,83 arasında değişmektedir. Listelenen iller arasında rüzgar hızının en düşük olduğu il Karadeniz bölgesindeki Artvin ili iken, rüzgar hızının en yüksek olduğu ilin Marmara bölgesindeki Çanakkale ili olduğu görülmektedir. Bununla birlikte sıcaklık değerlerinin de ülke genelinde oldukça değişken olduğu ve 3,79 °C ile 19,74 °C arasında değiştiği görülmektedir.

İllere göre dünya yüzeyine vuran ve atmosferden iletilen güneş radrasyonunun oranı (bulutluluk indeksi, clearness index) ile güneş ışıını (daily radiation) değerlerinin aylara göre dağılımı Şekil 2.17’de gösterilmiştir.

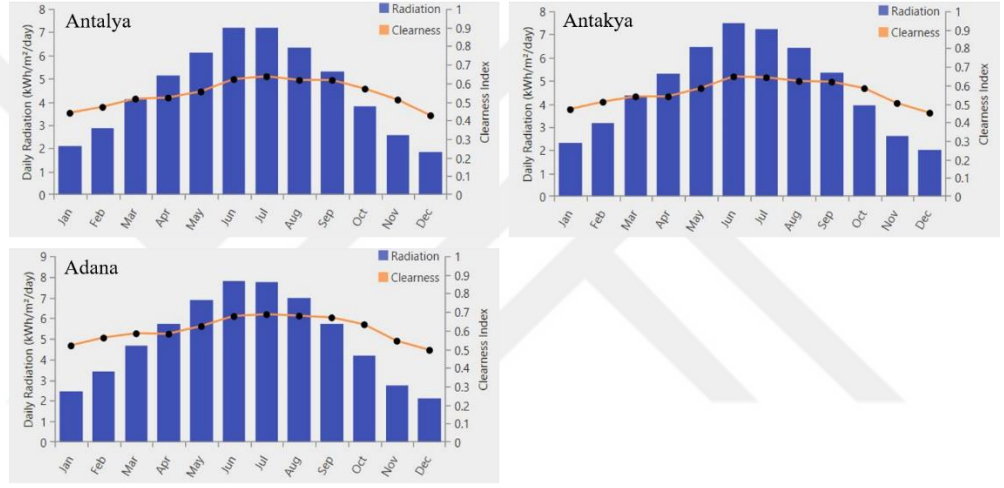


(a)

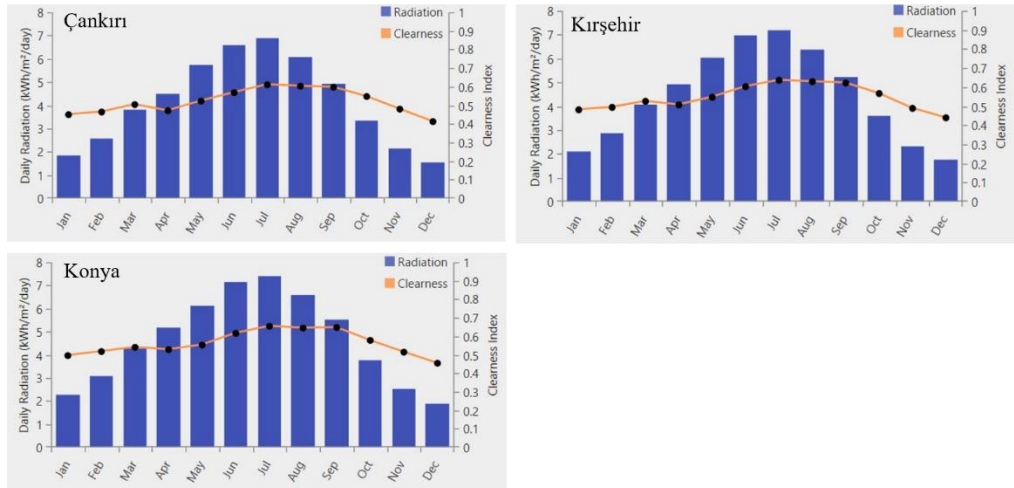
Şekil 2.17 : Aylara göre bulutluluk indeksi ve güneş ışıını dağılımı:
(a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.



(b)

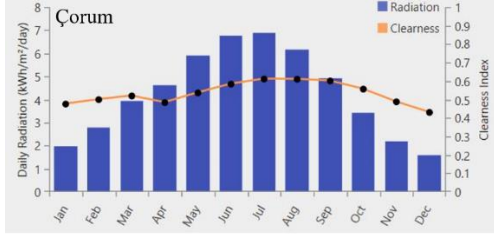
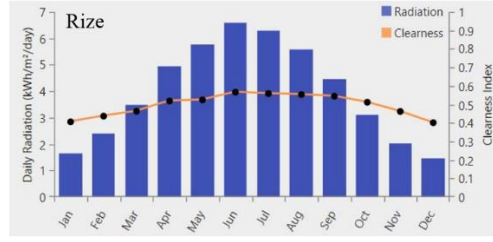
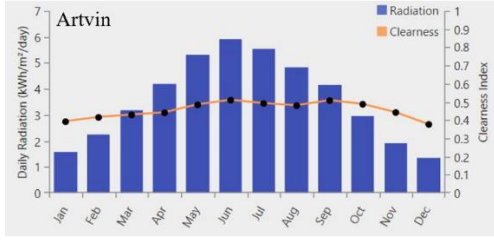


(c)

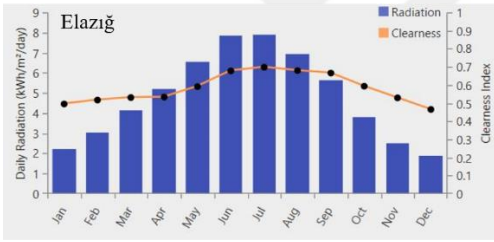
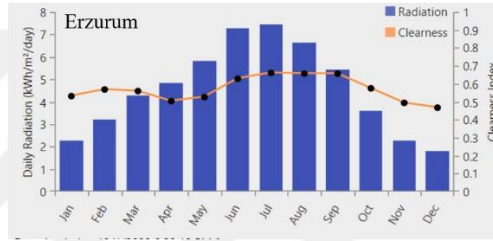
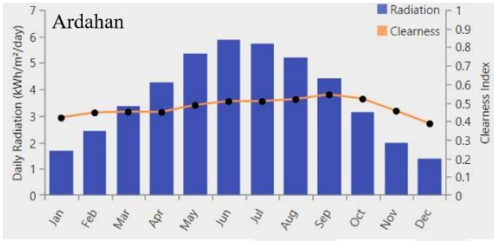


(d)

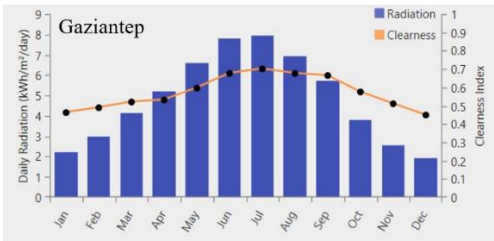
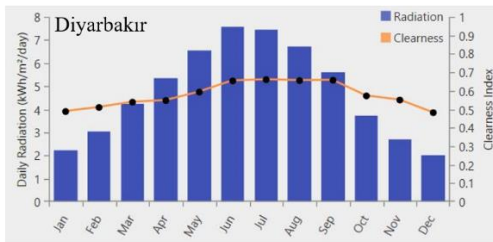
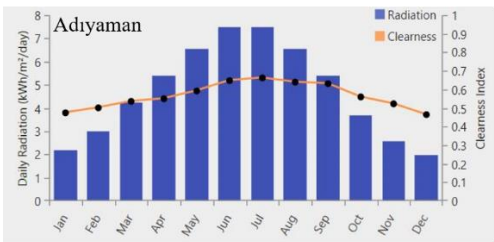
Şekil 2.17 (devam): Aylara göre bulutluluk indeksi ve güneş ışıınımı dağılımı: (a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.



(e)



(f)



(g)

Şekil 2.17 (devam): Aylara göre bulutluluk indeksi ve güneş ışınlamı dağılımı: (a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.

Homer Pro veri girişi için şebekeden bağımsız HRES için kullanılan DG'ye yönelik 23.10.2022 tarihindeki illere göre yakıt bedeli aşağıda izelge 2.7'de gösterilmiştir.

Yakıt bedeli illere göre değişkenlik gösterdiğinden sonuçların hassasiyeti açısından Homer Pro versi sistemine sabit bir değer girilmemiştir. İllere göre yakıt bedelleri TL/LT cinsinden gösterilmiştir ve Homer Pro içerisine değerler dolar cinsinden girilmiştir.

Çizelge 2.7 : İllere yönelik dizel fiyatları.

İller	Dizel Fiyat [TL/LT]	\$
Edirne	26,53 ₺	\$1.43
Yalova	26,44 ₺	\$1.42
anakkale	26,58 ₺	\$1.43
Kütahya	26,63 ₺	\$1.43
İzmir	26,46 ₺	\$1.42
Aydın	26,52 ₺	\$1.43
Antalya	26,6 ₺	\$1.43
Antakya	26,61 ₺	\$1.43
Adana	26,64 ₺	\$1.43
ankırı	26,52 ₺	\$1.43
Kırşehir	26,51 ₺	\$1.43
Konya	26,68 ₺	\$1.44
Artvin	26,68 ₺	\$1.44
Rize	26,63 ₺	\$1.43
orum	26,61 ₺	\$1.43
Ardahan	26,73 ₺	\$1.44
Erzurum	26,71 ₺	\$1.44
Elazığ	26,88 ₺	\$1.45
Adıyaman	26,76 ₺	\$1.44
Diyarbakır	26,93 ₺	\$1.45
Gaziantep	26,72 ₺	\$1.44

2.4 HRES'e Yönelik Temel Hesaplamalar

Net Bugünkü Değer (Net Present Cost, NPC) ve Enerji Maliyeti (Cost of Energy, COE), birçok çalışmada optimum çözümü bulmak için temel parametreler olarak kullanılmıştır [66], [67], [68]. Bu parametrelerin yanı sıra, yenilenebilir enerji oranı (Renewable Fraction, RF) ve CO₂ emisyon miktarı da bu çalışmada göz önünde bulundurulmuştur.

NPC, proje ömrü boyunca sistemin kurulması ve işletilmesine ilişkin tüm maliyetlerin bugünkü değerinden proje ömrü boyunca elde edilen tüm gelirlerin bugünkü değerinin çıkarılması ile bulunmaktadır. NPC aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$NPC = \frac{C_{an,total}}{CRF(i, P_L)} \quad (2.1)$$

NPC net bugünkü değeri (\$), $C_{an,total}$ toplam yıllık maliyeti (\$/yıl), i yıllık reel iskonto oranını, P_L proje ömrünü (yıl) ve CRF ise sermaye geri kazanım faktörünü göstermektedir.

COE, sistem tarafından üretilen 1 kWh birim enerjinin fiyatını göstermektedir ve aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$COE = \frac{C_{an,total}}{E_{served}} \quad (2.2)$$

COE birim enerji maliyetini (\$/kWh), $C_{an,total}$ toplam yıllık maliyeti (\$/yıl) ve E_{served} ise yıllık enerji ihtiyacını (kWh/yr) göstermektedir.

RF, üretilen toplam enerji içerisindeki yenilenebilir enerji oranını ifade etmektedir ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$RF = 1 - \frac{E_{nonren}}{E_{served}} \quad (2.3)$$

RF yenilenebilir enerji oranını (%), E_{nonren} ise yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmadan üretilen enerji miktarını (kWh/yr) göstermektedir.

Reel faiz oranı ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

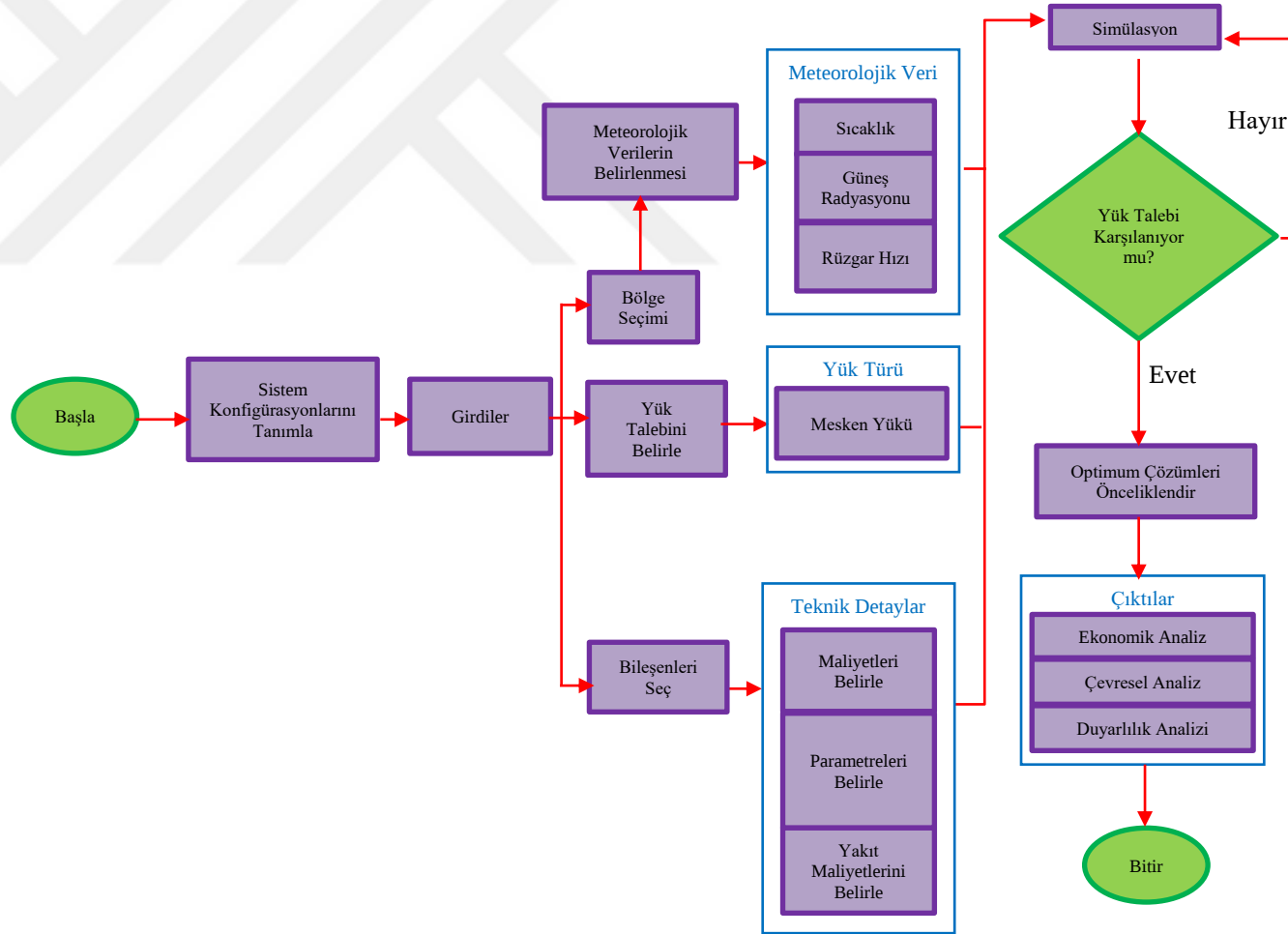
$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (2.4)$$

i reel (gerçek) faiz oranını (%), i' nominal faiz oranını, f ise yıllık enflasyon oranını göstermektedir.

2.5 HRES'e Yönelik Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada, konut yükünü karşılamak için şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES tasarlanmıştır. HRES'in uygulanacağı Türkiye'nin farklı coğrafi özelliklere sahip 7 bölgesinden üçer il belirlenerek toplam 21 il seçilmiştir. Her bir ildeki sistem bileşenlerinin büyüklüğü dikkate alınarak en optimum çözümün bulunması amaçlanmıştır. Ayrıca her bir ilin optimum çözümleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Her il için en uygun optimum çözümün bulunmasında coğrafi özelliklerin ne kadar etkili olduğu incelenmiştir.

Buna ek olarak duyarlılık analizleri de gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizi sürecinde HOMER Pro yazılımı, model girdilerindeki belirsizliğin veya değişikliklerin etkilerini ölçmek için bir dizi optimizasyon gerçekleştirmektedir. NPC, COE, RF ve CO₂ emisyonundaki değişimler duyarlılık analizi ile incelenmiştir. Simülasyonlar için gerçekleştirilen akış diyagramı aşağıda Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Şekil 2.18'e göre öncelikle sistem girdilerinin hassas bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. HRES yapılacak olan bölgenin belirlenmesinden sonra bölgeye ait sıcaklık, güneş radyasyonu ve rüzgar hızının sisteme girdi olarak verilmesi gerekmektedir. Bunu izleyen süreçte yük türünün belirlenerek yük talebinin Homer Pro içerisinde tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışma meskenlere yönelik yapıldığı için yük türü olarak mesken seçilmiştir. İlgili seçimlerin yapılması ile birlikte sonuçların hassasiyetini büyük ölçüde etkileyen sistem bileşenlerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında fotovoltaiik panel, rüzgar türbini, dizel jeneratör, batarya sistemleri, çevirici ve şebeke sistem bileşenleri olarak seçilmiştir. İlgili sistem bileşenlerinin satın alma maliyetlerinin belirlenerek sisteme girdi olarak verilmesi gerekmektedir. Fotovoltaiik panel, rüzgar türbini, dizel jeneratör, batarya sistemleri ve çeviriciye ait piyasa araştırması yapılarak kapasite oranlarına göre sermaye maliyeti (Capital Cost), yenileme maliyeti (Replacement Cost) ve bakım-onarım maliyetleri (Operation & Maintenance) sisteme girdi olarak verilir. Bununla birlikte bölgelere göre yakıt maliyeti değişeceği için tasarımı yapılacak olan bölgeye özgü yakıt maliyetleri de araştırılarak sisteme tanıtılması gerekmektedir. Girdiler tanımlandıktan sonra benzetim çalışması gerçekleştirilir. Yük talebini karşılaması durumunda ekonomik analiz, maliyet analizi ve duyarlılık analizleri gerçekleştirilir. Yük talebini karşılamaması durumunda benzetim çalışması adımına geri dönlür.



Şekil 2.18 : HRES akış diyagramı.

Bu çalışmada izin verilen çatıüstü PV panelinin maksimum kurulu gücü 5 kW olarak belirlenmiştir. 180 m²'lik bir meskenin çatı alanı dikkate alınarak sonuçların tutarlı ve uygulanabilir olması için HOMER Pro yazılımında üst sınır 5 kW olarak seçilmiştir. Literatürde 5 kW'lık çatıüstü PV panellerin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur [21], [69]–[71]. Şebeke bağlantılı HRES'e yönelik yenilenebilir enerji kullanımını arttırmak ve CO₂ emisyonunu azaltmak için HOMER Pro yazılımında şebeke kullanımı 4000 kW ile sınırlandırılmıştır [65].

Mesken yükü talebini karşılamak için her ilin optimum sistem konfigürasyonunun değerlendirilmesinde NPC, COE, RF ve CO₂ göz önünde bulundurulmuştur. Her bir il için optimize edilmiş HRES'in tekno-ekonomik, çevresel ve emisyon değerleri Çizelge 2.8'de gösterilmektedir. Çizelge 2.8, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES'e yönelik her bir il için NPC, COE, RF ve CO₂ emisyonlarını göstermektedir. Buna ek olarak en uygun NPC değerine yönelik sistem bileşenlerinin büyüklüklerini de içermektedir. Tez çalışması kapsamında HRES'e yönelik simülasyon sonuçları aşağıdaki gibidir.

- Birçok ilde şebekeye bağlı HRES için en optimum sistem konfigürasyonunun Grid/PV/WT olduğu görülmüştür.
- Akdeniz Bölgesi'ndeki Antalya, Karadeniz Bölgesi'ndeki Artvin ve Rize, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki Elazığ ilinde rüzgar hızı diğer illere göre oldukça düşük olduğundan, şebekeye bağlı HRES sistemlerinin optimum çözümünde HOMER Pro yazılımı tarafından rüzgar türbinleri çıktı olarak önerilmemiştir.
- Çizelge 2.6'ya göre rüzgar hızı 3,8 m/s'nin altında olan illerde rüzgar türbinleri, şebekeye bağlı HRES optimizasyonunda HOMER Pro yazılımı tarafından dahil edilmemiştir. Bu illere rüzgar türbini dahil edilmediği için NPC, COE ve CO₂ diğer illerle kıyaslandığında daha yüksek değerlere sahiptir.
- Şebekeden bağımsız HRES göz önüne alındığında, tüm iller için en optimum çözümün PV/WT/DG/BESS olduğu görülmüştür. Şebekeden bağımsız sistemlerde şebeke desteği olmadığı için rüzgar hızının düşük olduğu illerde bile talep yükünün karşılanabilmesi için HOMER Pro yazılımı tarafından rüzgar türbinleri sisteme dahil edilmiştir.
- NPC, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES için sırasıyla 2.504,00 \$ – 8.951,00 \$ ve 23.372,00 \$ – 40.858,00 \$ arasında değişmektedir. Bu dalgalanma,

illerin coğrafi konumlarına bağlı olarak rüzgar hızı ve güneş ışınlımı ile yakından ilgilidir.

- Şebekeden bağımsız HRES'e yönelik 21 il için bölgelere göre yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmadığı temel sistem (Base System) ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı ve önerilen sisteme (Proposed System) ait NPC değerleri Şekil 2.19'da gösterilmiştir.

	Architecture								Cost			
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Edirne												
Base system								6.90			\$290,051	\$2,498
Proposed system						4.90	1	6.90	11	4.00	\$26,107	\$14,818

	Architecture								Cost			
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Yalova												
Base system								6.90			\$288,515	\$2,498
Proposed system						3.10	2	6.90	10	4.00	\$27,234	\$15,122

	Architecture								Cost			
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Çanakkale												
Base system								6.90			\$290,051	\$2,498
Proposed system						3.76	1	6.90	9	4.00	\$23,372	\$13,029

(a)

	Architecture									Cost		
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Kütahya												
Base system								6.90			\$290,051	\$2,498
Proposed system						4.70	1	6.90	11	4.00	\$26,535	\$14,700

	Architecture									Cost		
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
İzmir												
Base system								6.90			\$288,515	\$2,498
Proposed system						4.05	1	6.90	11	4.00	\$25,135	\$14,332

	Architecture									Cost		
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Aydın												
Base system								6.90			\$290,051	\$2,498
Proposed system						4.80	1	6.90	11	4.00	\$26,001	\$14,761

(b)

Şekil 2.19 : Bölgeler bazında şebekeden bağımsız HRES'e ait NPC değerleri: (a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.

Antalya											
Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
					6.90					\$290,051	\$2,498
					5.00	1	6.90	13	4.00	\$29,237	\$16,004

Antakya											
Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
					6.90					\$290,051	\$2,498
					4.89	1	6.90	12	4.00	\$28,214	\$15,380

Adana											
Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
					6.90					\$290,051	\$2,498
					4.32	1	6.90	13	4.00	\$27,348	\$15,616

(c)

Çankırı

Base system

Proposed system

Architecture							Cost			
				PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
						6.90			\$290,051	\$2,498
				4.96	2	6.90	11	4.00	\$31,287	\$16,755

Kırşehir

Base system

Proposed system

Architecture							Cost			
				PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
						6.90			\$290,051	\$2,498
				4.76	1	6.90	11	4.00	\$26,521	\$14,736

Konya

Base system

Proposed system

Architecture							Cost			
				PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
						6.90			\$291,586	\$2,498
				4.23	1	6.90	12	4.00	\$26,757	\$14,998

(d)

Artvin

Base system

Proposed system

Architecture							Cost				
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
							6.90			\$291,586	\$2,498
					5.00	2	6.90	16	4.00	\$40,858	\$19,606

Rize

Base system

Proposed system

Architecture							Cost				
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
							6.90			\$290,051	\$2,498
					4.99	2	6.90	13	4.00	\$33,571	\$17,906

Çorum

Base system

Proposed system

Architecture							Cost				
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
							6.90			\$290,051	\$2,498
					4.94	2	6.90	11	4.00	\$30,659	\$16,744

(e)

Şekil 2.19 (devam): Bölgeler bazında şebekeden bağımsız HRES'e ait NPC değerleri: (a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.

Ardahan	Architecture						Cost	
	PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)		NPC (\$)	CAPEX (\$)
Base system			6.90				\$291,586	\$2,498
Proposed system	4.82	2	6.90	12	4.00		\$33,098	\$17,242

Erzurum	Architecture						Cost	
	PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)		NPC (\$)	CAPEX (\$)
Base system			6.90				\$291,586	\$2,498
Proposed system	4.77	1	6.90	13	4.00		\$28,651	\$15,874

Elazığ	Architecture						Cost	
	PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)		NPC (\$)	CAPEX (\$)
Base system			6.90				\$293,122	\$2,498
Proposed system	4.83	1	6.90	14	4.00		\$31,466	\$16,476

(f)

Adıyaman	Architecture						Cost	
	PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)		NPC (\$)	CAPEX (\$)
Base system			6.90				\$291,586	\$2,498
Proposed system	4.05	1	6.90	12	4.00		\$28,022	\$14,896

Diyarbakır	Architecture						Cost	
	PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)		NPC (\$)	CAPEX (\$)
Base system			6.90				\$293,122	\$2,498
Proposed system	4.74	1	6.90	13	4.00		\$28,803	\$15,860

Gaziantep	Architecture						Cost	
	PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Converter (kW)		NPC (\$)	CAPEX (\$)
Base system			6.90				\$291,586	\$2,498
Proposed system	4.84	1	6.90	12	4.00		\$28,366	\$15,349

(g)

Şekil 2.19 (devam): Bölgeler bazında şebekeden bağımsız HRES'e ait NPC değerleri: (a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.

- Ekonomik açıdan karşılaştırıldığında şebekeden bağımsız HRES için 21 il arasında en düşük NPC'ye 23.372,00 \$ ile Çanakkale sahipken, en yüksek NPC'ye 40.858,00 \$ ile Artvin sahiptir.
- Şebekeye bağlı HRES göz önünde bulundurulduğunda, sadece PV panellerin kullanıldığı sistemdeki CO₂ oranı, PV ve WT sistemlerinin birlikte kullanıldığı sisteme göre daha yüksektir.

- 21 il karşılaştırıldığında şebekeden bağımsız HRES için her bir bölgedeki en düşük NPC'nin Çanakkale (Marmara), ardından sırasıyla İzmir (Ege), Kırşehir (İç Anadolu), Adana (Akdeniz), Adıyaman (Güneydoğu Anadolu), Erzurum (Doğu Anadolu), ve Çorum (Karadeniz) olduğu görülmüştür.

21 ilin tamamında sistem konfigürasyonunun PV/WT/DG/BESS olduğu görülmüştür. Bu konfigürasyonda yukarıdaki illere yönelik NPC değerlerinin sırasıyla 23.372,00 \$, 25.135,00 \$, 26.521,00 \$, 27.348,00 \$, 28.022,00 \$, 28.651,00 \$ ve 30.659,00 \$ olduğu görülmüştür.

- En düşük NPC değerine sahip ilin Marmara Bölgesi'ndeki Çanakkale olduğu açıkça görülmektedir. Benzer şekilde her bir bölgedeki en yüksek NPC değerine sahip ilin Artvin (Karadeniz Bölgesi), ardından Ardahan (Doğu Anadolu), Çankırı (İç Anadolu), Antalya (Akdeniz), Diyarbakır (Güneydoğu Anadolu), Yalova (Marmara) ve Kütahya (Ege) olduğu görülmüştür. NPC değerleri ise yukarıdaki iller göz önüne alındığında sırasıyla 40.858,00 \$, 33.098,00 \$, 31.287,00 \$, 29.237,00 \$, 28.803,00 \$, 27.234,00 \$ ve 26.535,00 \$ olarak bulunmuştur.

- Ege ve Marmara Bölgesi'ndeki iller, yenilenebilir enerji potansiyeli bakımından diğer bölgelere göre ekonomik anlamda daha optimum sonuçlar vermektedir. Sonuçlar bölgenin coğrafi özellikleri, rüzgar hızı ve güneş radyasyonu ile yakından ilişkilidir. Özellikle rüzgar hızı Ege ve Marmara Bölgesi'nde 4,68 ile 6,83 m/s arasında değişirken Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde 2,56 ile 4,24 m/s arasında değişmektedir. Sonuçlar aynı zamanda güneş radyasyonu ile birlikte rüzgar hızının ekonomik açıdan değerlendirildiğinde ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

- Şebekeye bağlı HRES'e yönelik 21 il için bölgelere göre yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmadığı temel sistem (Base System) ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı ve önerilen sisteme (Proposed System) ait NPC değerleri Şekil 2.20'de gösterilmiştir.

Edirne

Base system

Proposed system

Architecture												Cost	
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
										4,000		\$10,369	\$0.00
						5.00	1			4,000	3.00	\$4,805	\$6,025

Yalova

Base system

Proposed system

Architecture												Cost	
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
										4,000		\$10,369	\$0.00
						5.00	1			4,000	3.00	\$5,399	\$6,025

Çanakkale

Base system

Proposed system

Architecture												Cost	
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
										4,000		\$10,369	\$0.00
						5.00	1			4,000	3.00	\$2,504	\$6,025

		Architecture											Cost		
								PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Yalova															
Base system												4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system							5.00	1				4,000	3.00	\$5,399	\$6,025

		Architecture										Cost	
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Çanakkale													
Base system										4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system						5.00	1			4,000	3.00	\$2,504	\$6,025

(a)

Kütahya	Architecture												Cost	
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)	
										4,000		\$10,369	\$0.00	
							5.00	1			4,000	4.00	\$4,688	\$6,152

	Architecture												Cost	
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)	
İzmir														
Base system										4,000		\$10,369	\$0.00	
Proposed system						5.00	1			4,000	3.00	\$3,303	\$6,025	

Aydın	Architecture												Cost	
						PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)		Converter (kW)		NPC (\$)	CAPEX (\$)
Base system												4,000	\$10,369	\$0.00
Proposed system						5.00	1				4,000	4.00	\$3,932	\$6,152

(b)

	Architecture												Cost			
						PV (kW)		WT	DG (kW)	BESS (#)		Grid (kW)		Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Antalya																
Base system												4,000			\$10,369	\$0.00
Proposed system						5.00						4,000	3.00		\$7,323	\$4,121

		Architecture										Cost			
								PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)			NPC (\$)	CAPEX (\$)
Antakya															
Base system												4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system								5.00	1			4,000	3.00	\$5,725	\$6,025

Architecture														Cost	
							PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)			NPC (\$)	CAPEX (\$)	
Adana															
Base system											4,000		\$10,369	\$0.00	
Proposed system							5.00	1			4,000	4.00	\$3,932	\$6,152	

(c)

Şekil 2.20 : Bölgeler bazında şebekeye bağlı HRES'e ait NPC değerleri: (a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.

	Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Çankırı												
Base system									4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system					5.00	1			4,000	4.00	\$7,530	\$6,152

	Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Kırşehir												
Base system									4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system					5.00	1			4,000	4.00	\$4,222	\$6,152

	Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Konya												
Base system									4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system					5.00	1			4,000	4.00	\$4,511	\$6,152

(d)

	Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Artvin												
Base system									4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system					5.00				4,000	3.00	\$8,951	\$4,121

	Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Rize												
Base system									4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system					5.00				4,000	3.00	\$8,251	\$4,121

	Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Çorum												
Base system									4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system					5.00	1			4,000	4.00	\$7,172	\$6,152

(e)

	Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Ardahan												
Base system									4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system					5.00				4,000	3.00	\$8,473	\$4,121

	Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Erzurum												
Base system									4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system					5.00	1			4,000	4.00	\$5,432	\$6,152

	Architecture										Cost	
					PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)
Elazığ												
Base system									4,000		\$10,369	\$0.00
Proposed system					5.00				4,000	4.00	\$6,539	\$4,248

(f)

Şekil 2.20 (devam): Bölgeler bazında şebekeye bağlı HRES'e ait NPC değerleri: (a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.

	Architecture										Cost	
	PV (kW)	WT	DG (kW)	BESS (#)	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (\$)	CAPEX (\$)				
Adıyaman												
Base system					4,000		\$10,369	\$0.00				
Proposed system	5.00	1			4,000	4.00	\$5,034	\$6,152				
Diyarbakır												
Base system					4,000		\$10,369	\$0.00				
Proposed system	5.00	1			4,000	4.00	\$5,454	\$6,152				
Gaziantep												
Base system					4,000		\$10,369	\$0.00				
Proposed system	5.00	1			4,000	4.00	\$4,763	\$6,152				

(g)

Şekil 2.20 (devam): Bölgeler bazında şebekeye bağlı HRES'e ait NPC değerleri: (a)Marmara. (b)Ege. (c)Akdeniz. (d)İç Anadolu. (e)Karadeniz. (f)Doğu Anadolu. (g)Güneydoğu Anadolu Bölgesi.

• Şebekeye bağlı HRES'e bakıldığında her bir bölgedeki en düşük NPC değerine sahip ilin ilk olarak Çanakkale (Marmara) ardından İzmir (Ege), Kırşehir (İç Anadolu), Gaziantep (Güney Doğu Anadolu), Erzurum (Doğu Anadolu), Adana (Akdeniz) ve Çorum (Karadeniz) olduğu görülmüştür.

NPC değerleri yukarıdaki iller göz önüne alındığında sırasıyla 2.504,00 \$, 3.303,00 \$, 4.222,00 \$, 4.763,00 \$, 5.432,00 \$, 5.472,00 \$ ve 7.172,00 \$ olarak bulunmuştur. Her bir bölgedeki şebekeye bağlı HRES çözümünde en yüksek NPC değerine sahip ilin ilk olarak Artvin (Karadeniz), ardından Ardahan (Doğu Anadolu), Çankırı (İç Anadolu), Antalya (Akdeniz), Diyarbakır (Güney Doğu Anadolu), Edirne (Marmara) ve Kütahya (Ege) olduğu görülmüştür. NPC değerleri yukarıdaki iller göz önüne alındığında sırasıyla 8.951,00 \$, 8.473,00 \$, 7.530,00 \$, 7.323,00 \$, 5.454,00 \$, 4.805,00 \$, 4.688,00 \$ olarak bulunmuştur.

Simülasyondan elde edilen sonuçlara göre, rüzgar hızının düşük olması nedeniyle WT kurulumunun yapılamadığı Artvin ve Ardahan illerinde NPC değerlerinin oldukça arttığı gözlemlenmiştir.

• Yatırımcı açısından bu illerde rüzgar türbini kurulmamasına rağmen PV kurulumu ile elektrik faturalarının önemli oranda azaltılabileceği görülmüştür. Türkiye'de özellikle Ege ve Marmara bölgelerinde doğudan batıya rüzgar hızının artmasına bağlı

olarak güneş panellerinin kurulumuna ek olarak rüzgar türbinlerinin kurulumu ile hem elektrik faturaları hem de sera gazı emisyonları azaltılabilmektedir.

- Şebekeden bağımsız sistemler için CO₂ emisyon değerlerinin 182 ile 503 kg/yıl arasında olduğu görülmüştür.
- Çevresel açıdan sonuçlar incelendiğinde, şebekeden bağımsız PV/WT/DG/BESS konfigürasyonunda en düşük CO₂ emisyonlarının Yalova (Marmara)'da meydana geldiği bunu, Adana (Akdeniz), İzmir (Ege), Çorum (Karadeniz), Konya (İç Anadolu), Erzurum (Doğu Anadolu) ve Diyarbakır (Güney Doğu Anadolu) ilinin izlediği görülmüştür.

CO₂ seviyesi yukarıdaki iller göz önüne alındığında sırasıyla 182 kg/yıl, 198 kg/yıl, 201 kg/yıl, 220 kg/yıl, 224 kg/yıl, 246 kg/yıl, 254 kg/yıl olarak bulunmuştur. En az emisyon değerinin Yalova'da gerçekleştiği görülmüştür. Her bir bölgedeki en yüksek CO₂ emisyon değerleri göz önüne alındığında, en yüksek CO₂ seviyesi ilk olarak Artvin'de (Karadeniz) ardından Elazığ (Doğu Anadolu), Adıyaman (Güneydoğu Anadolu), Antakya (Akdeniz), Çankırı (İç Anadolu), Kütahya (Ege) ve Çanakkale'de (Marmara) olduğu görülmüştür.

CO₂ emisyonları ise yukarıdaki iller için sırasıyla 503 kg/yıl, 341 kg/yıl, 303 kg/yıl, 272 kg/yıl, 254 kg/yıl, 244 kg/yıl ve 228 kg/yıl olarak bulunmuştur. PV ve WT sistemlerinin sera gazı emisyonunu azaltma noktasında önemli parametreler olduğu sonucuna varılmıştır. Ek olarak, DG'nin daha fazla kullanılması sonucunda CO₂ emisyon miktarının arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

- Şebekeye bağlı HRES sistemleri için CO₂ emisyonlarının 1.041 ile 2.122 kg/yıl arasında değiştiği görülmüştür.
- Her bölge için en düşük CO₂ emisyonları karşılaştırıldığında en düşük CO₂ emisyonunun ilk olarak Çanakkale'de ardından (Marmara), sırasıyla İzmir (Ege), Kırşehir (İç Anadolu), Adıyaman (Güney Doğu Anadolu), Adana (Akdeniz), Erzurum (Doğu Anadolu) ve Çorum'da (Karadeniz) meydana geldiği görülmüştür.

Yukarıdaki illerde sırasıyla 1.041 kg/yıl, 1.165 kg/yıl, 1.258 kg/yıl, 1.367 kg/yıl, 1.411 kg/yıl, 1.432 kg/yıl ve 1.512 kg/yıl CO₂ emisyonu gerçekleşmiştir. Her bölgedeki en yüksek CO₂ emisyonu göz önüne alındığında en yüksek CO₂ emisyonunun ilk olarak Artvin'de (Karadeniz), ardından Ardahan (Doğu Anadolu), Antalya (Akdeniz), Çankırı (İç Anadolu), Diyarbakır (Güney Doğu Anadolu), Yalova (Marmara) ve

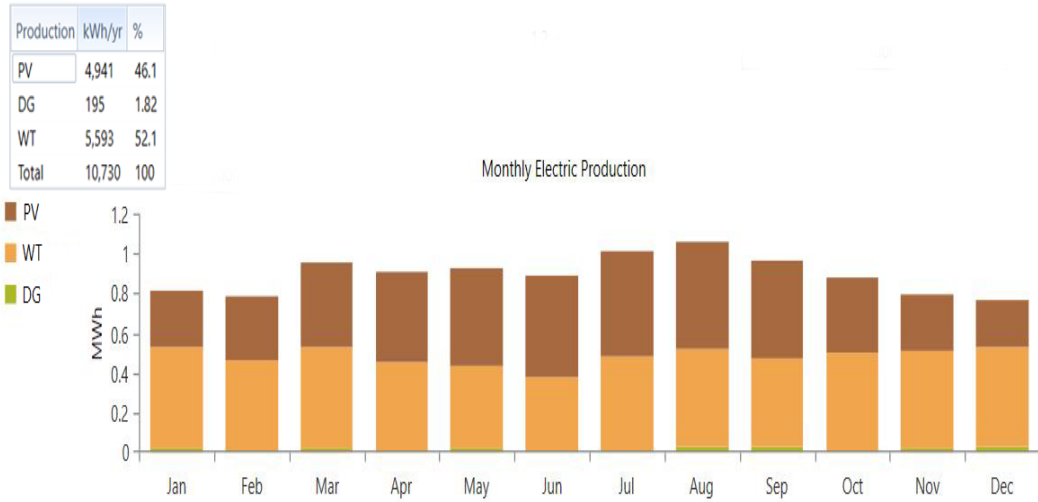
Kütahya’da (Ege) meydana geldiği görülmüştür. Yukarıdaki illere yönelik sırasıyla 2.122 kg/yıl, 2.104 kg/yıl, 2.026 kg/yıl, 1.518 kg/yıl, 1.422 kg/yıl, 1.300 kg/yıl ve 1.268 kg/yıl CO₂ üretimi gerçekleşmiştir.

- Şebekeden bağımsız HRES ile karşılaştırıldığında şebekeye bağlı HRES’te daha yüksek CO₂ emisyonu gerçekleşmiştir.
- CO₂ emisyonları gibi yenilenebilir enerjiyi kullanma oranı da, analiz edilen illerin konumuna, coğrafi özelliklerine, rüzgar hızına ve güneş radyasyonuna bağlıdır. Şebekeye bağlı HRES ile karşılaştırıldığında şebekeden bağımsız HRES’te RF değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. CO₂ emisyonları haricinde emisyonu gerçekleşen farklı zararlı gazlar ve partiküller de bulunmaktadır. Çalışma kapsamında illere göre şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı HRES sonucunda emisyonu gerçekleşen zararlı gazlar ve partikül değerleri Çizelge 2.9’da gösterilmiştir.
- Yenilenebilir enerjiyi kullanma oranı ise, şebekeden bağımsız HRES için %91,20 ile %96,80 arasında değişirken, şebekeye bağlı HRES için %60,70 ile %87,40 arasında değişmektedir.
- Marmara Bölgesi’ndeki Çanakkale ili, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemler için 21 il arasında en düşük NPC’ye sahiptir.
- Çanakkale iline yönelik şebekeden bağımsız HRES; 3,76 kW’lık PV, 1,8 kW’lık WT, 6,90 kW’lık DG, 4 kW’lık çevirici ve 22,6 kWh Li-ion batarya bileşenlerinden oluşmaktadır. Çanakkale iline yönelik şebekeye bağlı HRES ise, 5 kW’lık PV, 1,8 kW’lık WT ve 3 kW çeviriciden oluşmaktadır.
- Karadeniz Bölgesi’ndeki Artvin ili, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES için 21 il arasında en yüksek NPC’ye sahiptir. Artvin iline yönelik şebekeden bağımsız HRES; 5,0 kW’lık PV, 3,60 kW’lık WT, 6,90 kW’lık DG, 4 kW’lık çevirici ve 40,2 kWh BESS kombinasyonuna sahiptir. Artvin’deki şebekeye bağlı HRES ise, 5 kW’lık bir PV dizisi ve 3 kW’lık bir çevirici içermektedir.
- Şebekeden bağımsız HRES tasarımında HOMER Pro yazılımı içerisinde DG seçimine yönelik “auto-size genset” fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon puant yükün karşılanması için DG gücünü otomatik olarak ayarlamaktadır.

Tez çalışması kapsamında yük talebi tüm iller için aynı kabul edilmiştir. İllere özgü yük talebinde bir değişiklik olmadığı için Çizelge 2.8 içerisinde gösterilen DG gücü tüm durumlar için aynıdır [18], [35], [72].

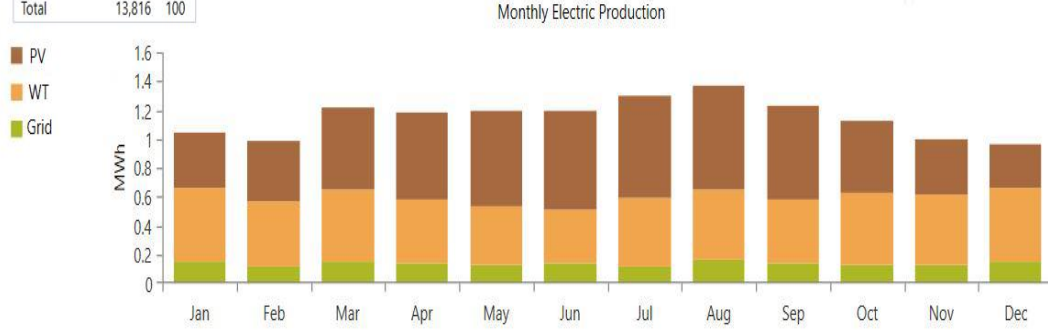
- Çanakkale'deki şebekeden bağımsız HRES tasarımında üretilen enerjinin %98,2'si PV panellerinden ve rüzgar türbinlerinden karşılanmaktadır. Üretilen enerjinin geriye kalanı ise DG tarafından sağlanmaktadır (Şekil 2.21). Şebekeye bağlı HRES tasarımı için üretilen enerjinin %88,1'i rüzgar türbini ve PV panellerinden karşılanmaktayken geri kalanı elektrik şebekesi tarafından karşılanmaktadır (Şekil 2.22).

- Artvin'de ise şebekeden bağımsız HRES tasarımı için üretilen enerjinin %94,70'i PV ve WT tarafından karşılanmaktadır. Buna ek olarak üretilen enerjinin geri kalanının DG tarafından karşılandığı Şekil 2.23'ten görülmektedir. Artvin ilindeki şebekeye bağlı HRES tasarımı göz önüne alındığında PV paneller tarafından üretilen enerji %63,80 oranında iken üretilen enerjinin geri kalanı ise şebekeden karşılanmaktadır (Şekil 2.24).



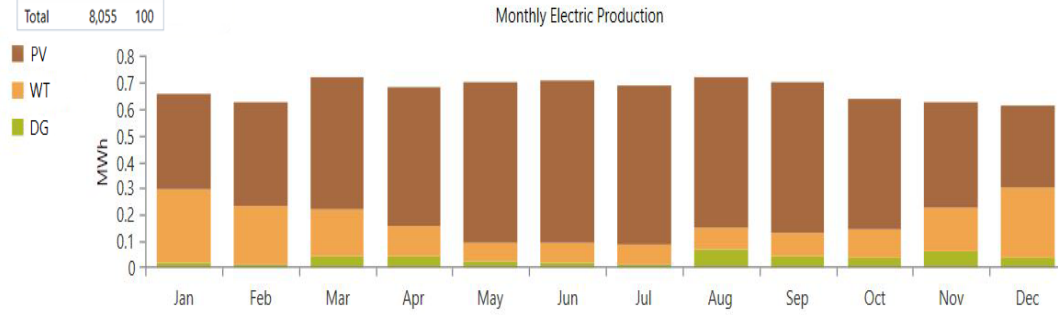
Şekil 2.21 : Çanakkale ili şebekeden bağımsız HRES için aylık enerji üretimi.

Production	kWh/yr	%
PV	6,576	47.6
WT	5,593	40.5
Grid Purchases	1,646	11.9
Total	13,816	100



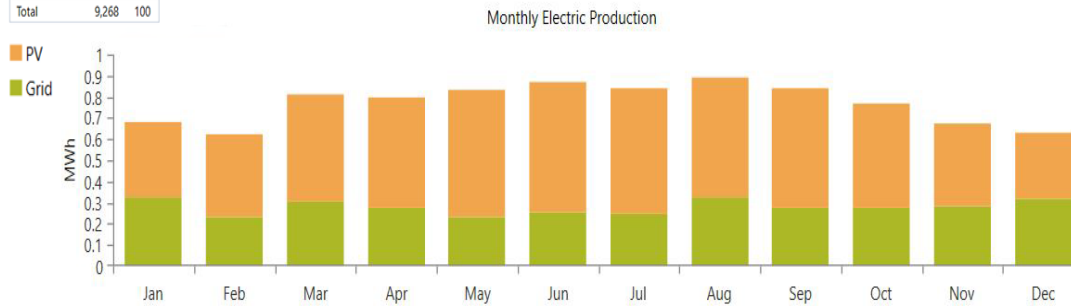
Şekil 2.22 : Çanakkale ili şebekeye bağlı HRES için aylık enerji üretimi.

Production	kWh/yr	%
PV	5,906	73.3
DG	427	5.30
WT	1,722	21.4
Total	8,055	100



Şekil 2.23 : Artvin ili şebekeden bağımsız HRES için aylık enerji üretimi.

Production	kWh/yr	%
PV	5,911	63.8
Grid Purchases	3,357	36.2
Total	9,268	100



Şekil 2.24 : Artvin ili şebekeye bağlı HRES için aylık elektrik üretimi.

Çizelge 2.8 : Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES optimizasyon sonuçları.

İller	Şebekeden Bağımsız HRES								Şebekeye Bağlı HRES						
	PV (kW)	WT (kW)	DG (kW)	BESS (kWh)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	RF (%)	CO ₂ (kg/yıl)	PV (kW)	WT (kW)	Dönüştürücü (kW)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	RF (%)	CO ₂ (kg/yıl)
Edirne	4,9	1,8	6,9	27,6	26.107,00	0,221	96,3	210	5	1,8	3	4.805,00	0,02	84,1	1.252
Yalova	3,1	3,6	6,9	25,1	27.234,00	0,231	96,8	182	5	1,8	3	5.399,00	0,023	82,8	1.300
Çanakkale	3,76	1,8	6,9	22,6	23.372,00	0,198	96	228	5	1,8	3	2.504,00	0,01	87,4	1.041
Kütahya	4,7	1,8	6,9	27,4	26.535,00	0,225	95,7	244	5	1,8	4	4.688,00	0,019	83,8	1.268
İzmir	4,05	1,8	6,9	27,6	25.135,00	0,213	96,5	201	5	1,8	3	3.303,00	0,013	85,6	1.165
Aydın	4,8	1,8	6,9	27,6	26.001,00	0,22	96,3	209	5	1,8	4	3.932,00	0,015	84,2	1.184
Antalya	5	1,8	6,9	32,7	29.237,00	0,248	95,3	267	5	-	3	7.323,00	0,039	66,4	2.026
Antakya	4,89	1,8	6,9	30,1	28.214,00	0,239	95,2	272	5	1,8	3	5.725,00	0,024	80,9	1.452
Adana	4,32	1,8	6,9	31,7	27.348,00	0,232	96,5	198	5	1,8	4	5.472,00	0,022	81,4	1.411
Çankırı	4,96	3,6	6,9	27,6	31.287,00	0,265	95,5	254	5	1,8	4	7.530,00	0,034	78	1.518
Kırşehir	4,76	1,8	6,9	27,6	26.521,00	0,225	95,7	241	5	1,8	4	4.222,00	0,017	84	1.258
Konya	4,23	1,8	6,9	30,1	26.757,00	0,227	96	224	5	1,8	4	4.511,00	0,018	83,5	1.272
Artvin	5	3,6	6,9	40,2	40.858,00	0,346	91,2	503	5	-	3	8.951,00	0,051	60,7	2.122
Rize	4,99	3,6	6,9	32,7	33.571,00	0,284	95,3	267	5	-	3	8.251,00	0,046	63	2.089
Çorum	4,94	3,6	6,9	27,6	30.659,00	0,26	96,1	220	5	1,8	4	7.172,00	0,031	78,5	1.512
Ardahan	4,82	3,6	6,9	30,1	33.098,00	0,28	94,6	304	5	-	3	8.473,00	0,048	62,3	2.104
Erzurum	4,77	1,8	6,9	32,7	28.651,00	0,243	95,7	246	5	1,8	4	5.432,00	0,022	81,1	1.432
Elazığ	4,83	1,8	6,9	35,2	31.466,00	0,267	94	341	5	-	4	6.539,00	0,032	68,3	1.976
Adıyaman	4,05	1,8	6,9	30,1	28.022,00	0,237	94,7	303	5	1,8	4	5.034,00	0,02	82,3	1.370
Diyarbakır	4,74	1,8	6,9	32,7	28.803,00	0,244	95,5	254	5	1,8	4	5.454,00	0,022	81,3	1.422
Gaziantep	4,84	1,8	6,9	30,1	28.366,00	0,24	95	281	5	1,8	4	4.763,00	0,019	82,6	1.367

Çizelge 2.9 : Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES kapsamında çevreye salınan zararlı gazlar ve emisyon değerleri.

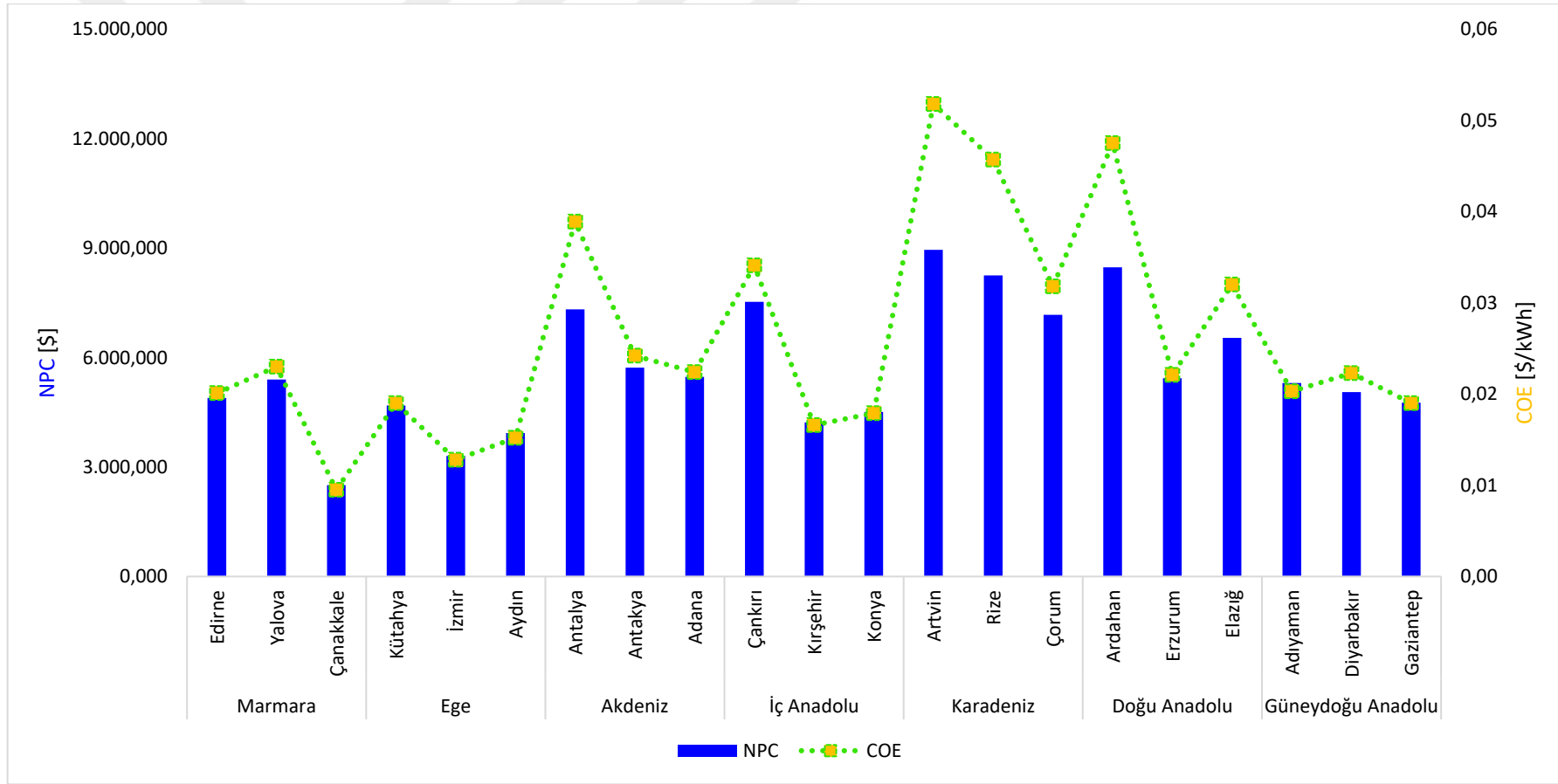
İller	Şebekeden Bağımsız HRES						Şebekeye Bağlı HRES					
	CO ₂ (kg/yıl)	CO (kg/yıl)	Yanmamış Hidrokarbon (kg/yıl)	Parçacıklı Madde (kg/yıl)	SO ₂ (kg/yıl)	NO (kg/yıl)	CO ₂ (kg/yıl)	CO (kg/yıl)	Yanmamış Hidrokarbon (kg/yıl)	Parçacıklı Madde (kg/yıl)	SO ₂ (kg/yıl)	NO (kg/yıl)
Edirne	210	1,32	0,0577	0,00801	0,514	1,24	1.252	0	0	0	5,43	2,65
Yalova	182	1,15	0,05	0,00695	0,446	1,08	1.300	0	0	0	5,64	2,76
Çanakkale	228	1,44	0,0628	0,00873	0,559	1,35	1.041	0	0	0	4,51	2,21
Kütahya	244	1,54	0,0672	0,00934	0,599	1,45	1.268	0	0	0	5,5	2,69
İzmir	201	1,27	0,0553	0,00767	0,492	1,19	1.165	0	0	0	5,05	2,47
Aydın	209	1,32	0,0574	0,00798	0,511	1,24	1.184	0	0	0	5,13	2,51
Antalya	267	1,68	0,0735	0,0102	0,655	1,58	2.026	0	0	0	8,78	4,3
Antakya	272	1,71	0,0748	0,0104	0,666	1,61	1.452	0	0	0	6,29	3,08
Adana	198	1,25	0,0544	0,00755	0,484	1,17	1.411	0	0	0	6,12	2,99
Çankırı	254	1,6	0,0698	0,0097	0,621	1,5	1.518	0	0	0	6,58	3,22
Kırşehir	241	1,52	0,0662	0,00919	0,589	1,42	1.258	0	0	0	5,45	2,67
Konya	224	1,41	0,0617	0,00856	0,549	1,33	1.272	0	0	0	5,51	2,7
Artvin	503	3,17	0,138	0,0192	1,23	2,98	2.122	0	0	0	9,2	4,5
Rize	267	1,68	0,0734	0,0102	0,653	1,58	2.089	0	0	0	9,06	4,43
Çorum	220	1,38	0,0604	0,00839	0,538	1,3	1.512	0	0	0	6,55	3,2
Ardahan	304	1,92	0,0838	0,0116	0,746	1,8	2.104	0	0	0	9,12	4,46
Erzurum	246	1,55	0,0676	0,00938	0,602	1,45	1.432	0	0	0	6,21	3,04
Elazığ	341	2,15	0,0939	0,013	0,836	2,02	1.976	0	0	0	8,57	4,19
Adıyaman	303	1,91	0,0833	0,0116	0,742	1,79	1.370	0	0	0	5,94	2,9
Diyarbakır	254	1,6	0,0699	0,00971	0,622	1,5	1.422	0	0	0	6,16	3,01
Gaziantep	281	1,77	0,0774	0,0107	0,689	1,67	1.367	0	0	0	5,93	2,9

- Şebekeye bağı ve şebekeden bağımsız HRES'e yönelik 21 ilin CO₂ ve RF yönünden birbirleriyle karşılaştırılması sırasıyla Şekil 2.25 ve Şekil 2.27'de gösterilmiştir.
- Bununla birlikte şebekeye bağı ve şebekeden bağımsız HRES'e yönelik 21 ilin NPC ve COE yönünden birbirleriyle karşılaştırılması ise sırasıyla Şekil 2.26 ve Şekil 2.28'de gösterilmiştir.

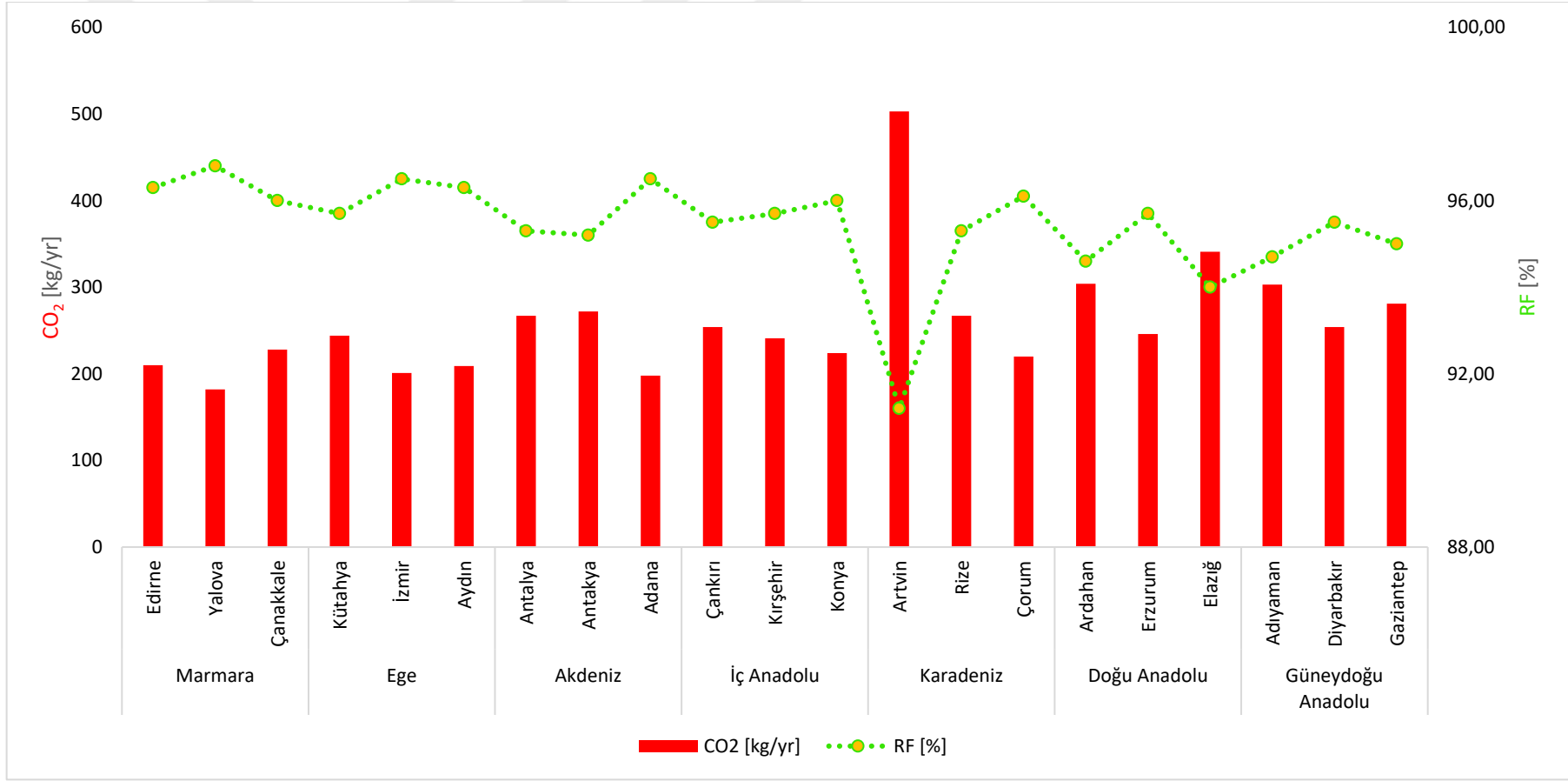




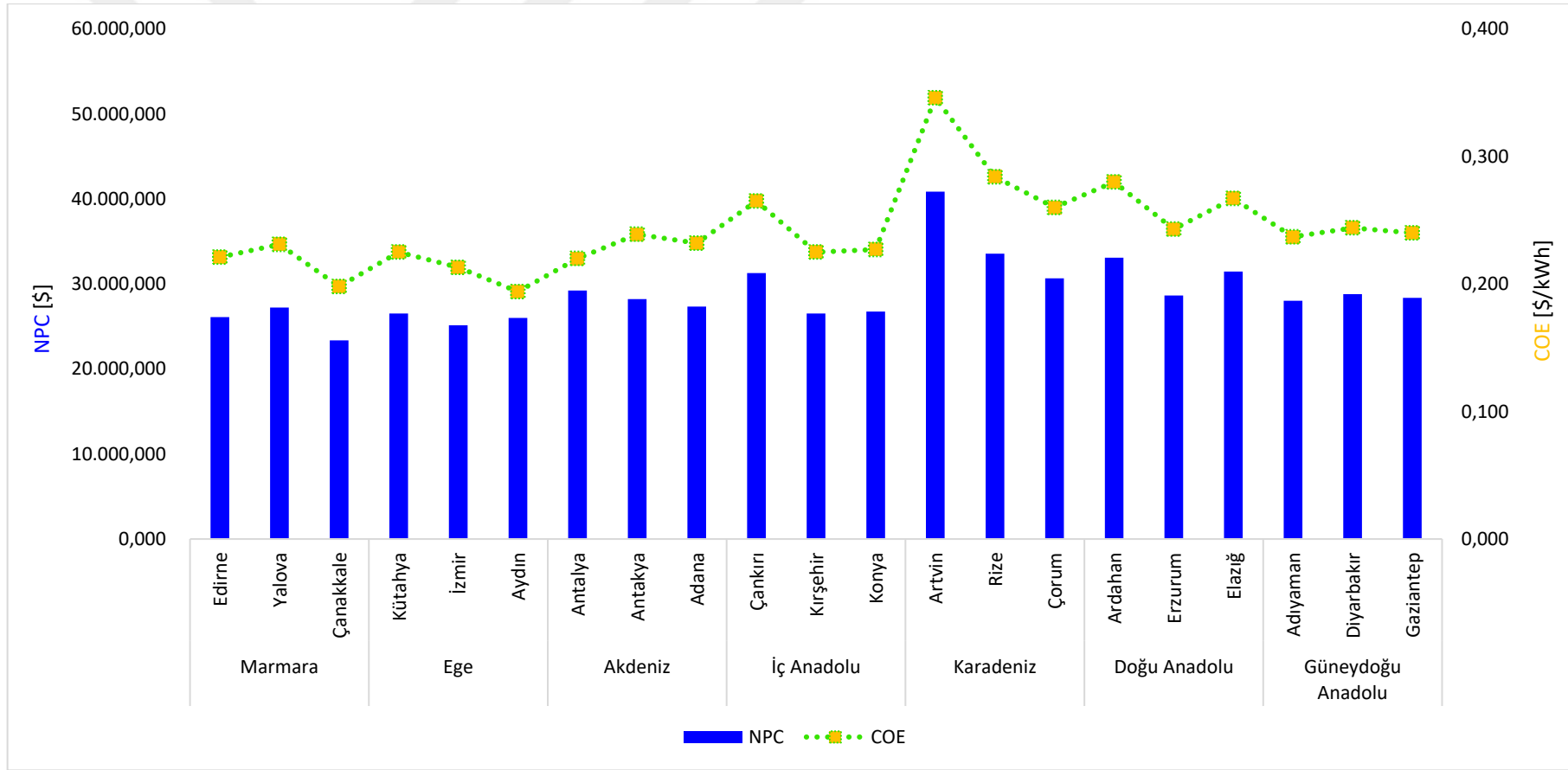
Şekil 2.25 : Şebekeye bağlı HRES'e yönelik 21 ilin CO₂ ve RF yönünden birbirleriyle karşılaştırılması.



Şekil 2.26 : Şebekeye bağlı HRES'e yönelik 21 ilin NPC ve COE yönünden birbirleriyle karşılaştırılması.



Şekil 2.27 : Şebekeden bağımsız HRES'e yönelik 21 ilin CO₂ ve RF yönünden birbirleriyle karşılaştırılması.



Şekil 2.28 : Şebekeden bağımsız HRES'e yönelik 21 ilin NPC ve COE yönünden birbirleriyle karşılaştırılması.

2.6 Duyarlılık Analizi

Bir önceki bölümde, şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı HRES için yük talebini karşılamaya yönelik optimize edilmiş sonuçlara yer verilmiştir. Optimize edilmiş sonuçlar değişken parametreler içermektedir. Bu nedenle duyarlılık analizi yapılarak değişken parametrelere göre belirsizliklerin ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Çizelge 2.8’de gösterilen ve her bölge için en düşük ile en yüksek NPC değerine sahip toplam 14 ilde duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için değişken parametreler ve senaryolar Çizelge 2.10’da gösterilmiştir. Duyarlılık analizi sonuçlarına ise Çizelge 2.11’de yer verilmiştir.

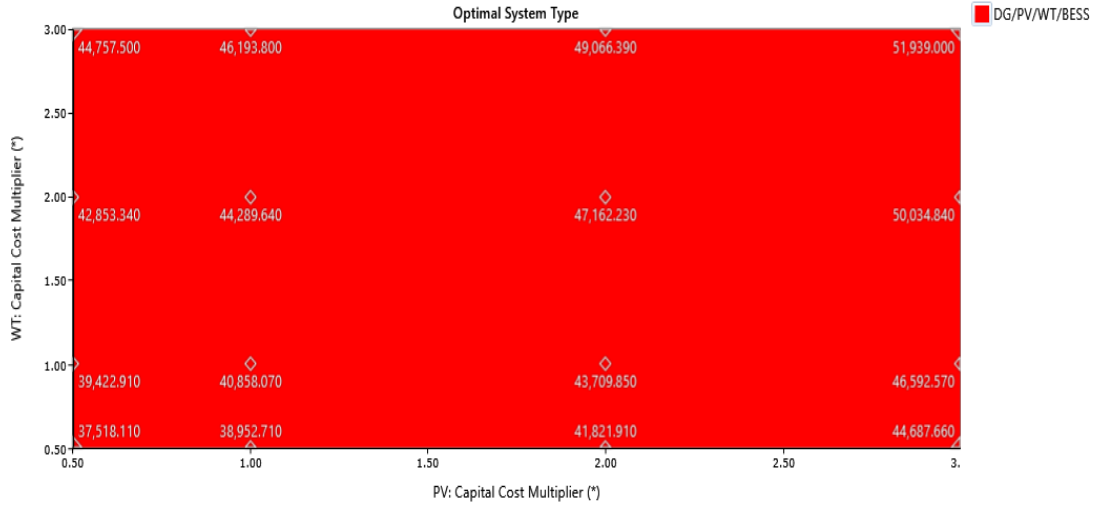
Çizelge 2.10 : Duyarlılık analizi kapsamında değişken parametreler ve oluşturulan senaryolar.

Değişken Parametreler	Birim	Senaryolar	Değerler
PV Yatırım Maliyeti Katsayısı	\$	A	0,5; 1; 2; 3
WT Yatırım Maliyeti Katsayısı	\$	A	0,5; 1; 2; 3
Güneş Işınımı	kWh/m ² /gün	B	-%10; % 0; +%10; +%20
Rüzgâr Hızı	m/s	B	-%10; %0; +%10; +%20

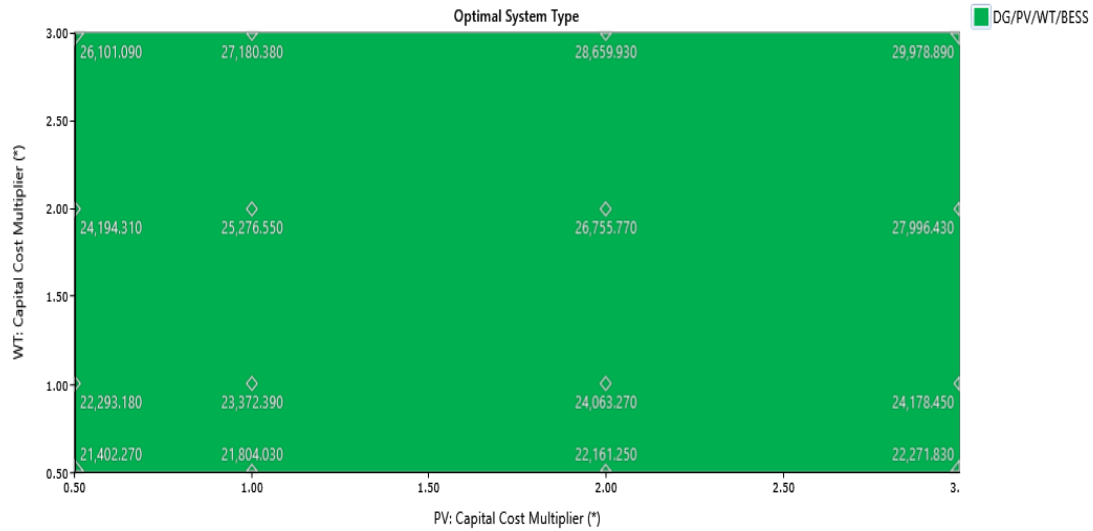
2.6.1 Ekonomik açıdan duyarlılık analizi (PV paneli ve rüzgar türbini maliyetlerinin %50 azaltılması, %200 ve %300 arttırılması)

Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES için PV panellerinin ve rüzgar türbininin değişen sermaye maliyetlerine göre etkileri bu bölümde gerçekleştirilmiştir. Yatırım maliyeti çarpanı 0,5 ile 3 arasında değişmektedir. A başlıklı senaryo, hem PV panelleri ve rüzgar türbini sermaye maliyetindeki düşüşü hem de PV panelleri ve rüzgar türbini sermaye maliyetindeki artışı göstermektedir. Çizelge 2.10’daki A başlıklı senaryo için gösterilen 0,5 değeri sermaye maliyetindeki düşüşü, 2 ve 3 değeri ise sermaye maliyetindeki artışı göstermektedir. Sermaye maliyet çarpanının 1’e eşit olduğu durum, PV panellerinin ve rüzgar türbininin sermaye maliyetinde bir değişim olmadığını göstermektedir. Şebekeden bağımsız HRES için 14 il içerisindeki en

yüksek ve en düşük NPC değerlerine sahip Artvin ve Çanakkale için duyarlılık analizi sonuçları Şekil 2.29 ve Şekil 2.30'da gösterilmiştir.



Şekil 2.29 : Artvin ili şebekeden bağımsız HRES için yatırım maliyetinin değişiminin NPC üzerine etkisi



Şekil 2.30 : Çanakkale ili şebekeden bağımsız HRES için yatırım maliyetinin değişiminin NPC üzerine etkisi.

Sermaye maliyeti çarpanının düşürülmesi veya artırılması her iki ilin sistem konfigürasyonunu değiştirmede Şekil 2.29 ve Şekil 2.30'da açıkça görülmektedir. Sonuçlara göre, PV/WT/DG/BESS kombinasyonu, Artvin ve Çanakkale için ekonomik olarak en optimum çözümdür.

Sermaye maliyeti çarpanının 0,5'ten 3'e doğru artırılması Artvin ili için NPC değerinin 37.518,110 '\$'dan 51.939,000 '\$'a yükselmesine sebep olurken, Çanakkale ili için NPC değerinin 21.402,270 '\$'dan 29.978,890 '\$'a yükselmesine sebep olmuştur. Sonuçlar,

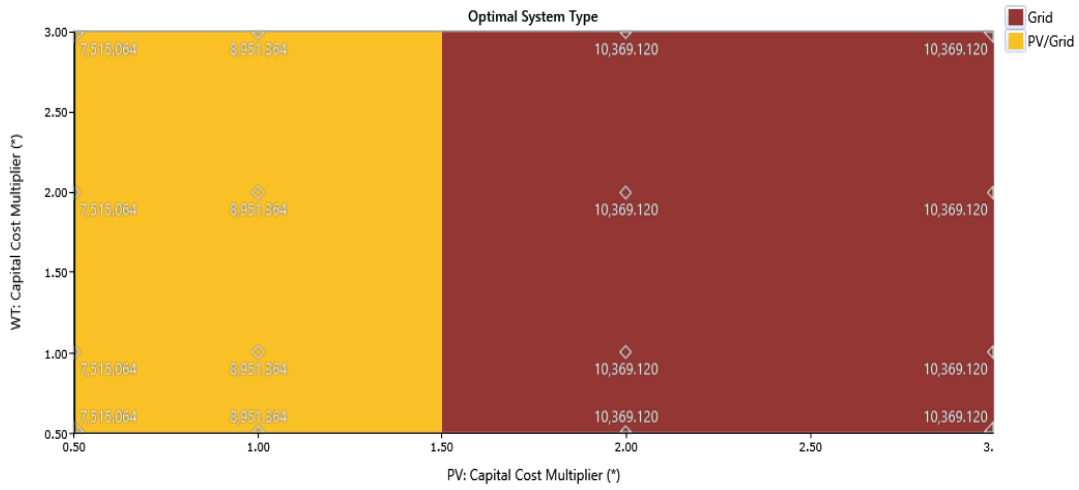
sermaye maliyeti çarpanının artmasına bağlı olarak NPC ve CO₂ değerlerinin Çanakkale ili için sırasıyla %40,07 ve %62,97 arttığını, RF değerinin ise %2,07 azaldığını göstermiştir. Benzer şekilde Artvin ili için NPC ve CO₂ emisyonu sırasıyla %38,44 ve %53,57 artarken, RF değerinin %5,18 azalmıştır. Çanakkale ili Artvin iline kıyasla NPC değeri göz önünde bulundurulduğunda parametre değişikliğinden daha fazla etkilenmiştir.

Şekil 2.31 ve Şekil 2.32, sırasıyla Artvin ve Çanakkale için şebekeye bağlı HRES'e ait sermaye maliyet çarpanının değişim sonuçlarını göstermektedir. PV ve WT yatırım maliyeti çarpanı 0,5 ile 3 arasında değiştirildiğinde, her iki ilin de sistem konfigürasyonunun değiştiği görülmektedir.

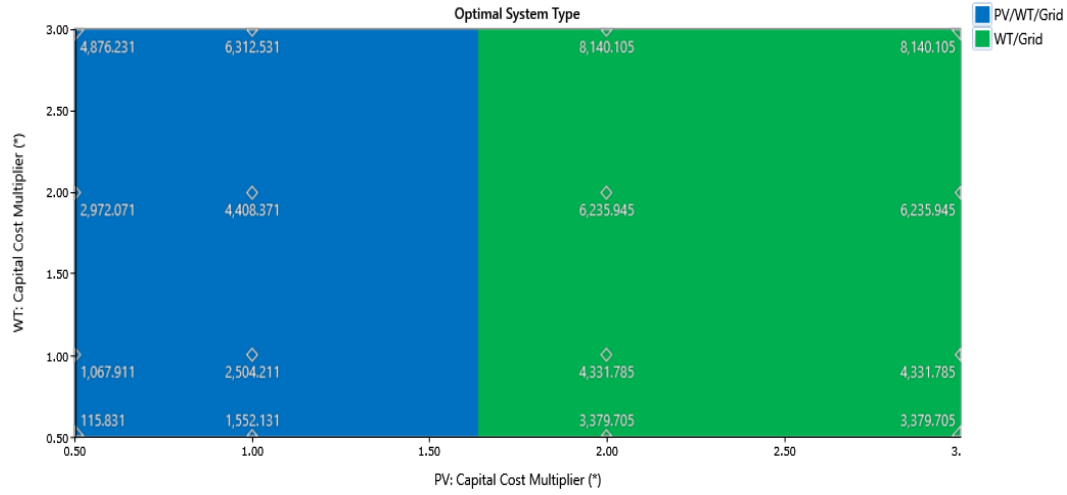
Duyarlılık analizlerinden elde edilen sonuçlara göre, Artvin ve Çanakkale için iki farklı sistem konfigürasyonu bulunmaktadır. Şekil 2.31 incelendiğinde PV'nin sermaye maliyet çarpanının 1.5 değerini aşması sonucunda, sistem konfigürasyonunun Grid/PV'den sadece Grid olarak değiştiği görülmektedir. Şekil 2.32 ise Çanakkale ili için, sermaye maliyet çarpanının 1,64'ün üzerine çıkmasıyla, optimum sistem konfigürasyonunun Grid/PV/WT'ten Grid/WT'ye değiştiğini göstermektedir.

Her iki il için de NPC değerini etkileyen önemli parametrenin PV kaynaklı sermaye maliyeti çarpanı olduğu görülmüştür. Çizelge 2.11'e göre, Artvin için sermaye maliyeti çarpanının 0,5'ten 3'e çıkarılması, NPC ve CO₂ emisyon değerlerinin sırasıyla %37,97 ve %44,18 artmasına RF değerinin ise %60,72'den %0'a düşmesine sebep olmuştur. Benzer şekilde sermaye maliyeti çarpanını 0,5'ten 3'e çıkarılması Çanakkale ili için CO₂ emisyonunun %42,52 artmasına ve RF değerinin %19,61 azalmasına sebep olmuştur. NPC değeri dikkate alındığında Çanakkale'nin parametre değişikliklerinden daha fazla etkilendiği, CO₂ ve RF göz önünde bulundurulduğunda ise Artvin ilinin daha fazla etkilendiği görülmektedir.

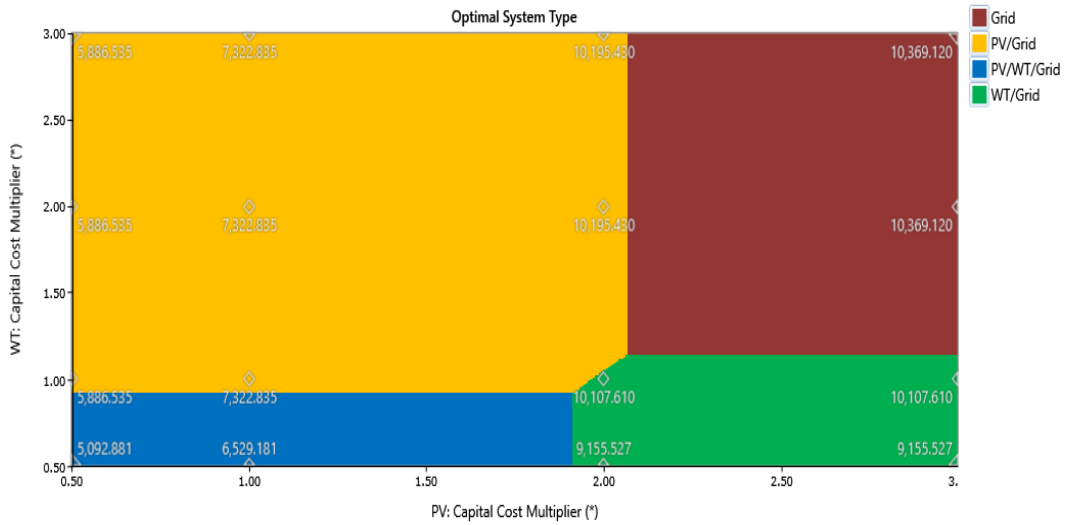
Çanakkale'den daha sıcak olan ve Artvin kadar yağış almayan Antalya için aynı duyarlılık parametreleri ile analiz yapıldığında Grid, Grid/PV, Grid/WT ve Grid/PV/WT olmak üzere 4 farklı sistem konfigürasyonunun olduğu Şekil 2.33'ten görülmektedir. Sistem konfigürasyonunda WT ve PV sermaye maliyeti çarpanının değişmesine ek olarak, analiz edilen ilin konumu da oldukça önemlidir.



Şekil 2.31 : Artvin ili şebekeye bağlı HRES için yatırım maliyetinin etkileri.



Şekil 2.32 : Çanakkale ili şebekeye bağlı HRES için yatırım maliyetinin etkileri.



Şekil 2.33 : Antalya ili şebekeye bağlı HRES için yatırım maliyetinin etkileri.

2.6.2 Çevresel açıdan duyarlılık analizi (güneş radyasyonu ve rüzgar hızının %10 azaltılması, %10 ve %20 arttırılması)

Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES için güneş radyasyonu (ışınımı) ve rüzgar hızı parametrelerinin değişiminin etkileri bu bölümde incelenmiştir.

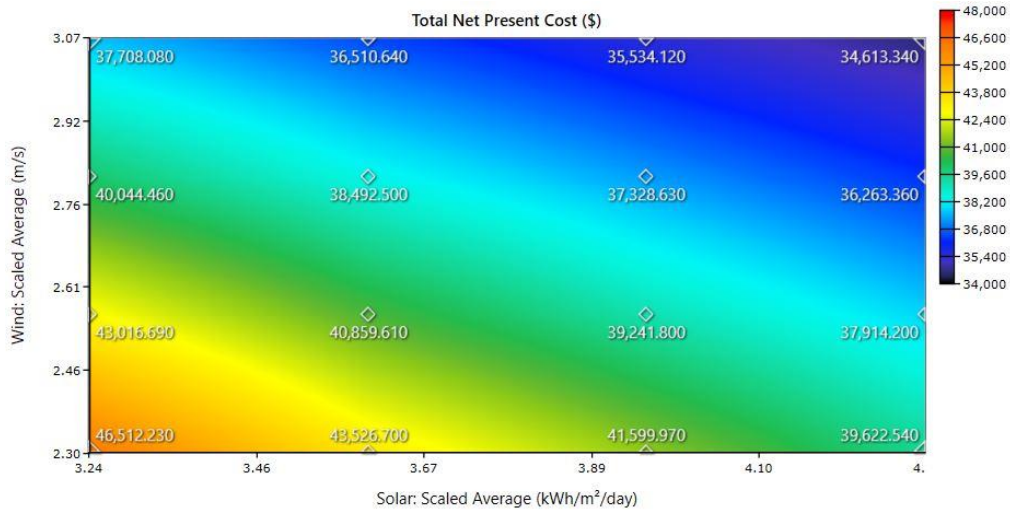
Çizelge 2.8 ve Çizelge 2.10'daki B başlıklı senaryo içerisinde ilgili parametre değişiklikleri -%10, %0, +%10 ve +%20 olarak gösterilmiştir. -%10 değeri rüzgar hızı ve güneş radyasyonundaki %10 azalışı gösterirken +%10 ve +%20 hem rüzgar hızında hem de güneş radyasyonunda sırasıyla % 10 artışı ve %20 artışı göstermektedir. Parametrelerin %0'a eşit olması güneş ışıınımı ve rüzgar hızında bir değişiklik olmadığını göstermektedir. Şebekeden bağımsız HRES için 14 ildeki sırasıyla en yüksek ve en düşük NPC değerlerine sahip Artvin ve Çanakkale duyarlılık analizi sonuçları Şekil 2.34 ve Şekil 2.35'te gösterilmiştir.

Bu bölümde sunulan tüm şekillerde NPC değerleri dikkate alınmıştır. Parametrelerin değişimine bağlı olarak güneş ışıınımı ve rüzgar hızı Artvin ili için sırasıyla 3,24 ile 4,32 kWh/m²/gün ve 2,304 ile 3,072 m/s arasında değişmekte iken Çanakkale için ise sırasıyla; 3,78 ile 5,04 kWh/m²/gün ile 6,14 ve 8,19 m/s arasında dalgalanmaktadır.

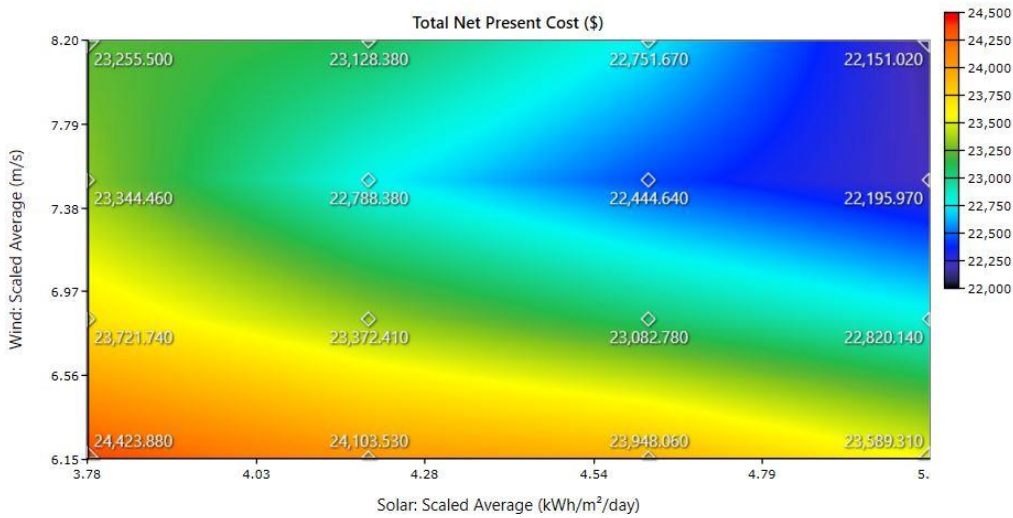
Güneş radyasyonu ve rüzgar hızı (-%10)'dan (+%20)'ye arttırıldığında, Şekil 2.34 ve Çizelge 2.11'e göre Artvin ili için NPC ve CO₂ emisyonlarının sırasıyla %25,58 ve %66,95 oranında azaldığı ve RF değerinin ise %11,28 oranında arttığı görülmüştür. Benzer şekilde Çanakkale'de güneş radyasyonu ve rüzgar hızı parametreleri aynı oranda değiştirildiğinde NPC değerinde %9,30 azalma, CO₂ değerinde %9,23 azalma ve RF değerinde ise %0,33 artış gözlemlenmiştir. Çanakkale'nin Artvin'e göre daha yüksek rüzgar ve güneş enerjisi potansiyeline sahip olması nedeniyle parametrelerdeki değişimlerden daha az etkilendiği açıkça görülmektedir.

Şebekeye bağlı HRES için Artvin ve Çanakkale iline yönelik duyarlılık analizi sonuçları sırasıyla Şekil 2.36 ve Şekil 2.37'de gösterilmiştir. Güneş radyasyonu ve rüzgar hızında (-%10)'dan (+%20)'ye bir artış olduğunda Artvin ve Çanakkale için RF değerlerinde sırasıyla %14,13 ve %3,71 artış olduğu ve bu 2 parametrenin değişiminden Artvin ilinin yenilenebilir enerjiyi kullanma oranı bakımından olumlu yönde daha çok etkilendiği görülmüştür. CO₂ emisyonu oranlarına bakıldığında ise Artvin ve Çanakkale için sırasıyla %2,94 ve %6,58 azalış olduğu görülmüş ve yenilenebilir enerjiyi kullanma oranının aksine Çanakkale ilinin CO₂ emisyonunun

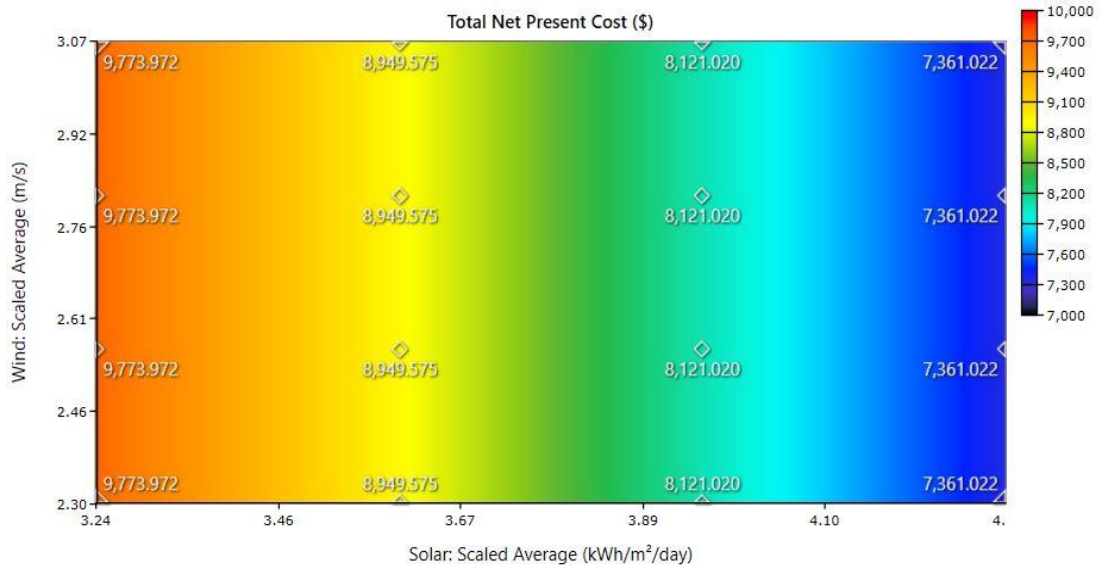
azalması açısından daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür. Benzer şekilde güneş radyasyonu ve rüzgar hızında (-%10)'dan (+%20)'ye bir artış gerçekleştiğinde NPC değerinin düşme oranının Çanakkale ilinde daha fazla olduğu görülmüş ve NPC değerinde Artvin iline göre yaklaşık olarak 3,59 kat daha fazla düşüş gerçekleşmiştir. Çizelge 2.10'daki senaryolar göz önüne alınarak hem şebekeden bağımsız hem de şebekeye bağlı HRES'e yönelik Artvin ve Çanakkale ilinin NPC, CO₂ ve RF değerlerindeki değişim Şekil 2.44'te gösterilmiştir. A başlıklı senaryodaki değişim PV ve WT üzerindeki yatırım maliyeti katsayısının 3'ten 0,5'e düşüşündeki değişim iken, B başlıklı senaryodaki değişim güneş ışınlımı ve rüzgar hızının -%10'dan +%20'ye artışıdaki değişimdir.



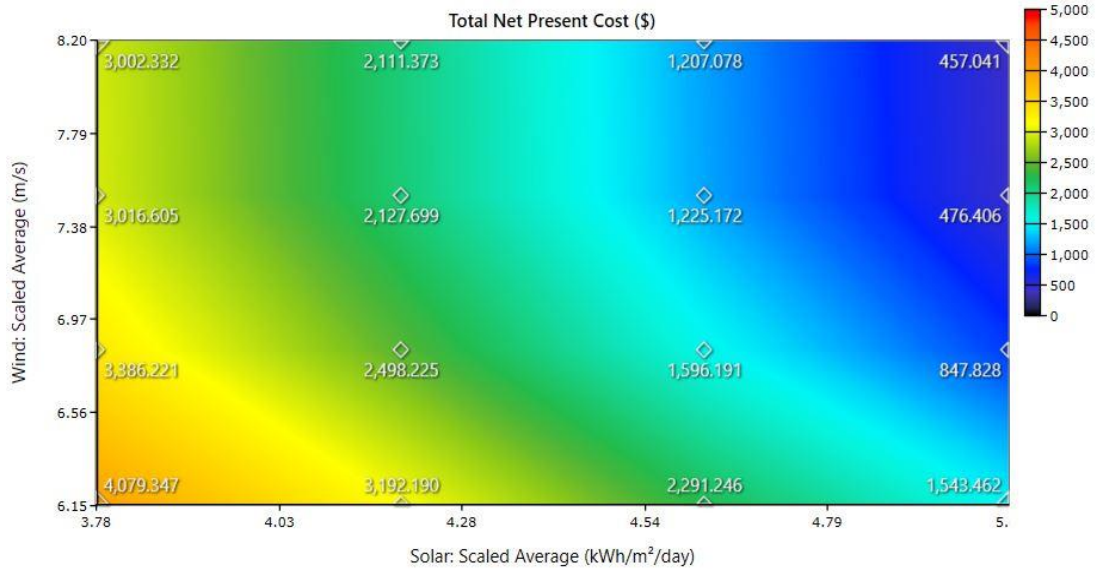
Şekil 2.34 : Artvin ili şebekeden bağımsız HRES için rüzgar hızı ve güneş ışınlımı değişiminin NPC üzerine etkisi.



Şekil 2.35 : Çanakkale ili şebekeden bağımsız HRES için rüzgar hızı ve güneş ışınlımı değişiminin NPC üzerine etkisi.

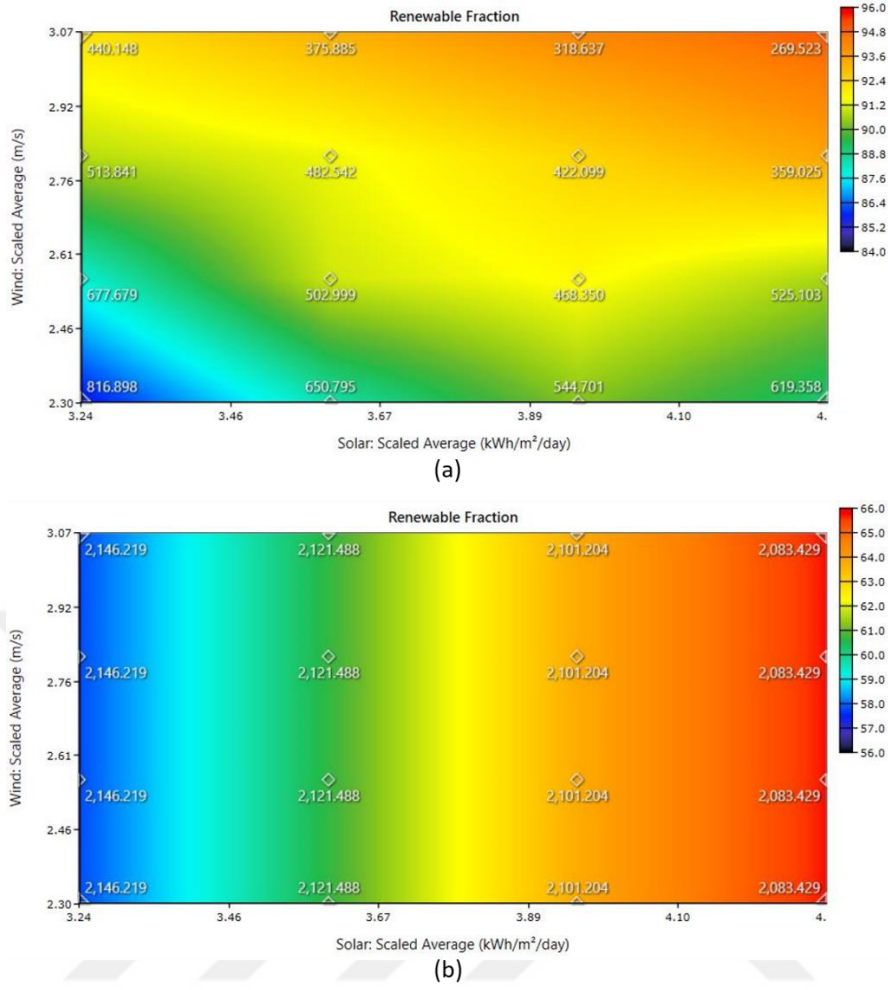


Şekil 2.36 : Artvin ili şebekeye bağlı HRES için rüzgar hızı ve güneş ışınlamı değişiminin NPC üzerine etkisi.



Şekil 2.37 : Çanakkale ili şebekeye bağlı HRES için rüzgar hızı ve güneş ışınlamı değişiminin NPC üzerine etkisi.

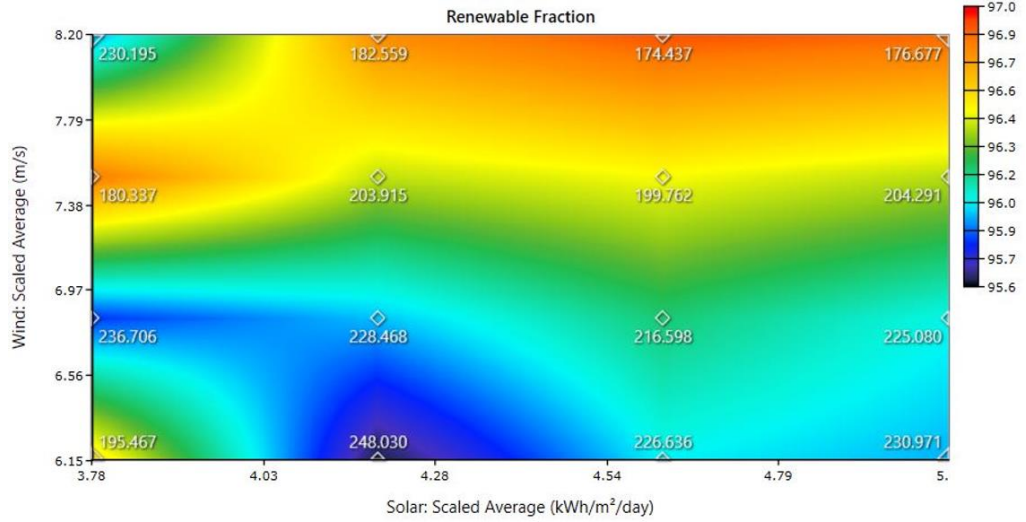
Artvin ve Çanakkale ili HRES için rüzgar hızı ve güneş radyasyonunun değişiminin CO₂ ve RF üzerine etkisi sırasıyla Şekil 2.38 ve Şekil 2.39 üzerinde gösterilmiştir. Şekil 2.38 ve Şekil 2.39 üzerinde gösterilen değerler karbon emisyonlarını gösterirken şekiller üzerindeki renk dağılımları yenilenebilir enerjinin kullanım yüzdesini göstermektedir. Renk dağılımları en sağda ve değerleri yüzde cinsinden gösterilen renk paleti üzerinden gerçekleştirilmiştir.



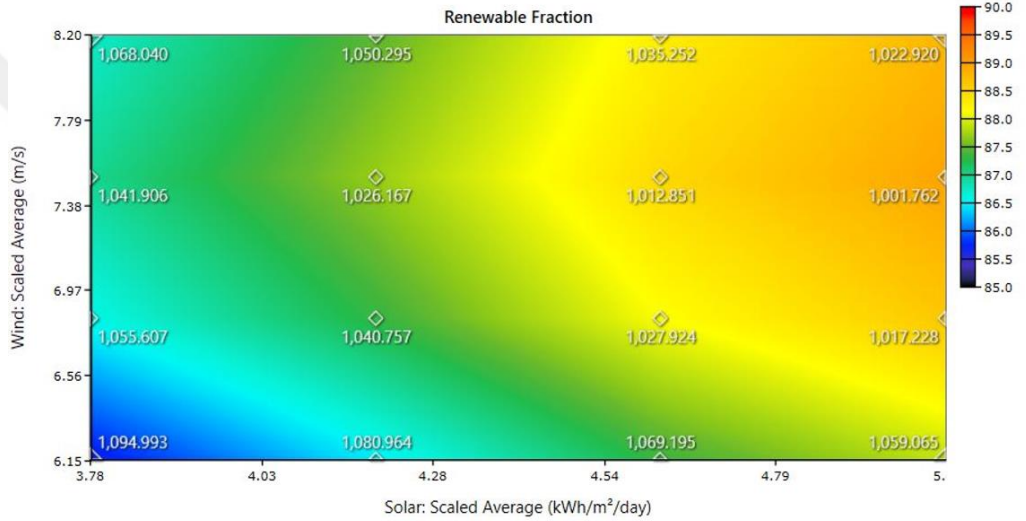
Şekil 2.38 : Artvin ili HRES için rüzgar hızı ve güneş ışıınımı değişiminin CO₂ ve RF üzerine etkisi: (a)şebekeden bağımsız. (b)şebekeye bağlı.

Şekil 2.38(a) incelendiğinde hem rüzgar hızının hem de güneş ışıınımının %10 azalması durumunda CO₂ emisyonunun arttığı ve RF değerinin düştüğü görülmüştür. Rüzgar hızı ile birlikte güneş ışıınımının birlikte %10 ve %20 oranında artması durumunda ise karbon emisyonunun azaldığı ve yenilenebilir enerjiden faydalanma oranının arttığı açıkça görülmektedir. Şekil 2.38(b) göz önüne alındığında rüzgar hızı değişiminin karbon emisyonu ve RF üzerinde bir etkisi olmadığı görülmektedir. Güneş ışıınımı değerinin artmasına bağlı olarak CO₂ emisyonunun azaldığı ve yenilenebilir enerjiden faydalanma oranının arttığı görülmüştür. Rüzgar hızı yönünden yetersiz bir bölge olan Artvin iline yönelik şebekeye bağlı HRES tasarımında rüzgar hızı değişiminin bir etkisi bulunmamaktadır.

Şekil 2.39(a) ve Şekil 2.39(b) incelendiğinde Artvin ilinin aksine rüzgar hızının artmasına bağlı olarak RF oranında artış ve karbondioksit emisyonlarında azalış gözlemlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.39 : Çanakkale ili HRES için rüzgar hızı ve güneş ışınlımı değişiminin CO₂ ve RF üzerine etkisi: (a)şebekeden bağımsız. (b)şebekeye bağlı.

Ayrıca benzetim sonuçlarına göre rüzgar hızının ve güneş ışınlımının %20 artması çevresel açıdan incelendiğinde en iyi sonucu vermediği Şekil 2.39(a) ve Şekil 2.39(b)'den anlaşılmaktadır.

2.6.3 Batarya maliyetlerinin %30, %40, %50 ve %60 azaltılması

Yapılan bir araştırmada batarya maliyetlerinin 2050 yılı itibari ile 70 kWh/\$ ile 90 kWh/\$ arasında olacağı öngörülmektedir [73].

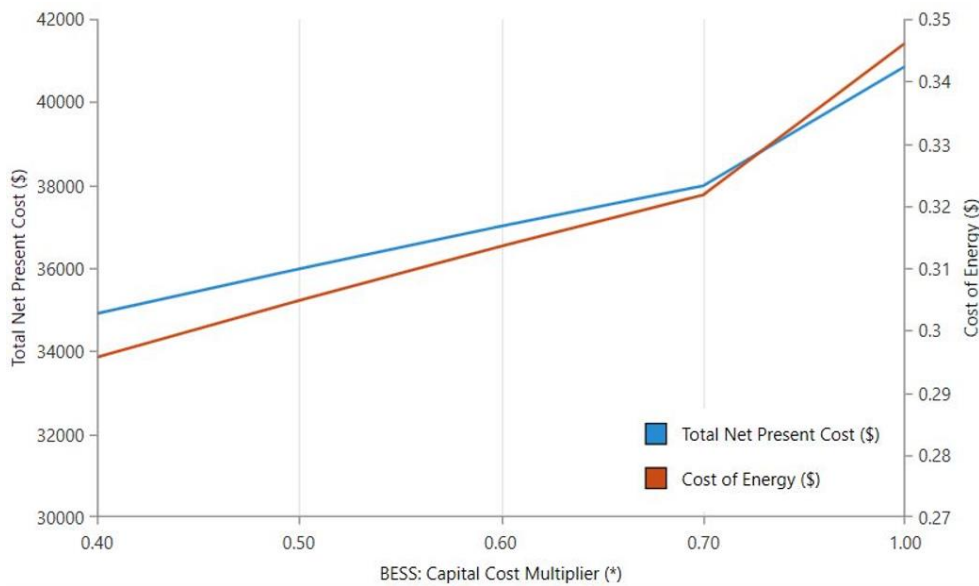
Her ne kadar günümüzde batarya maliyetleri pahalı olsa da gelişen batarya teknolojisi ve batarya kullanımının artmasına bağlı olarak batarya maliyetlerinin 2050 yılına kadar kademeli olarak düşeceği göz önünde bulundurularak bu bölümde batarya

maliyetlerindeki değişimin NPC ve COE üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda Artvin, Antalya ve Çanakkale illerindeki şebekeden bağımsız HRES’te kullanılan batarya sermaye maliyeti katsayısı 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 ve 1 olarak HOMER Pro yazılımına girilmiş ve etkileri duyarlılık analizi kapsamında değerlendirilmiştir. 1 katsayısı batarya maliyetinde herhangi bir değişim olmadığını göstermektedir. Seçilen katsayılar referansı verilen çalışmadaki kWh/\$ değeri baz alınarak HOMER Pro yazılımına girilmiştir.

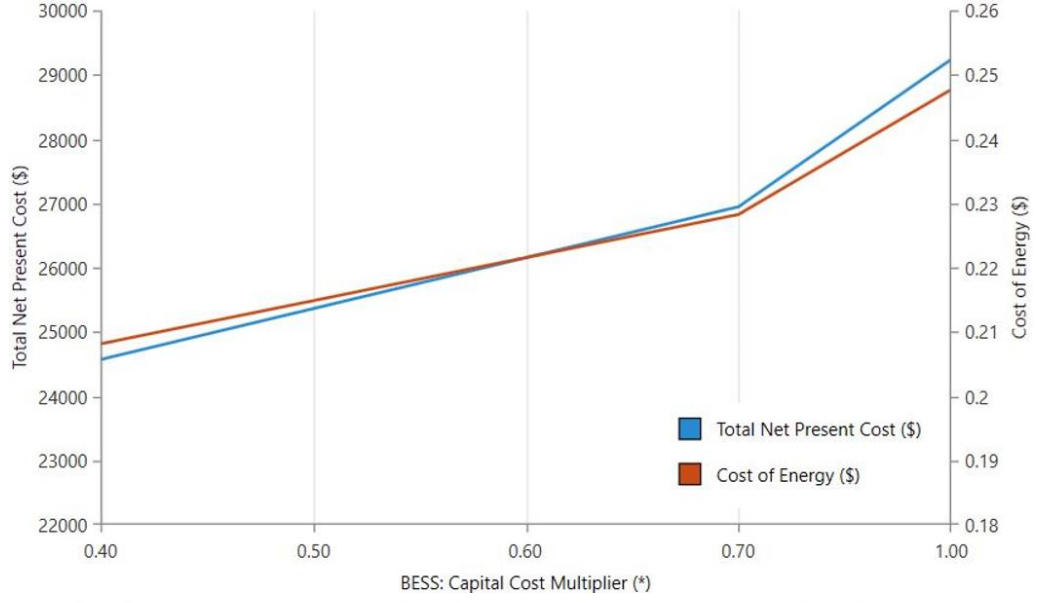
Seçilen 3 ile ait duyarlılık analizi sonuçları Artvin, Antalya ve Çanakkale için sırasıyla Şekil 2.40, Şekil 2.41 ve Şekil 2.42’da gösterilmiştir. Şekil 2.40, Şekil 2.41 ve Şekil 2.42 incelendiğinde diğer duyarlılık analizlerinde olduğu gibi Çanakkale ilinin en düşük NPC ve COE değerine sahip olduğu, Artvin ilinin ise en yüksek NPC ve COE değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çanakkale ilindeki HRES için batarya maliyetindeki azalış NPC ve COE üzerinde sırasıyla %15,09 ve %15,15’lik düşüş sağlamıştır. Batarya maliyetindeki azalış Antalya ili için NPC ve COE üzerinde sırasıyla %15,97 ve %16,13 düşüş sağlarken Artvin ili için ise sırasıyla %14,58 ve %14,45 düşüş sağlamıştır. En fazla yüzdesel olarak değişimin Antalya ilinde sağlandığı görülmüştür.

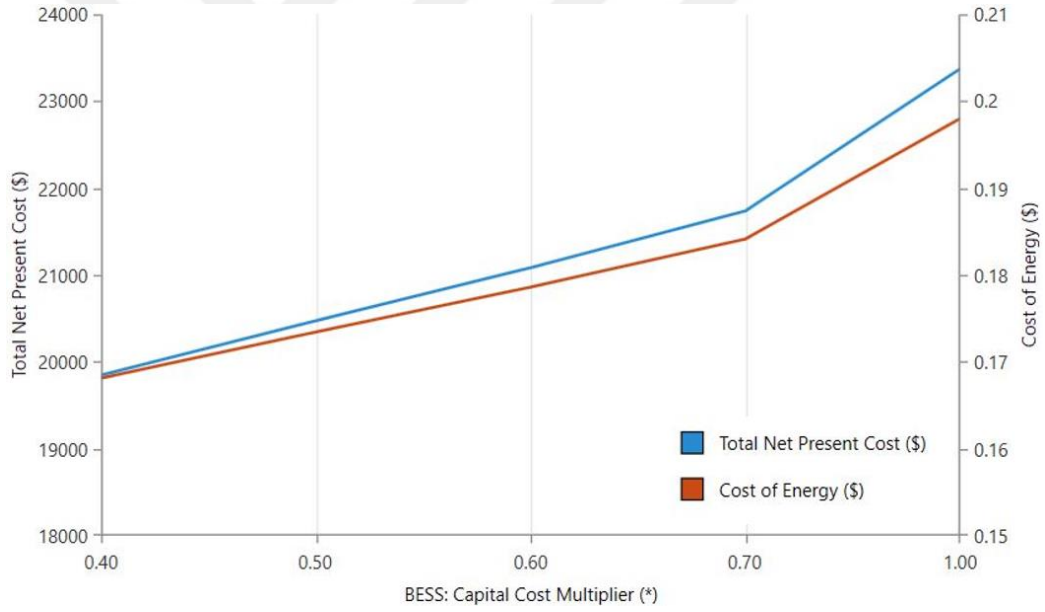
Batarya maliyetlerinin %30, %40, %50 ve %60 azaltılmasına bağlı olarak gerçekteşen CO₂ emisyonu ve RF değişimleri Artvin, Antalya ve Çanakkale için sırasıyla Şekil 2.43’te gösterilmiştir.



Şekil 2.40 : Artvin ili için batarya maliyetinin değişiminin NPC ve COE’ye etkisi.



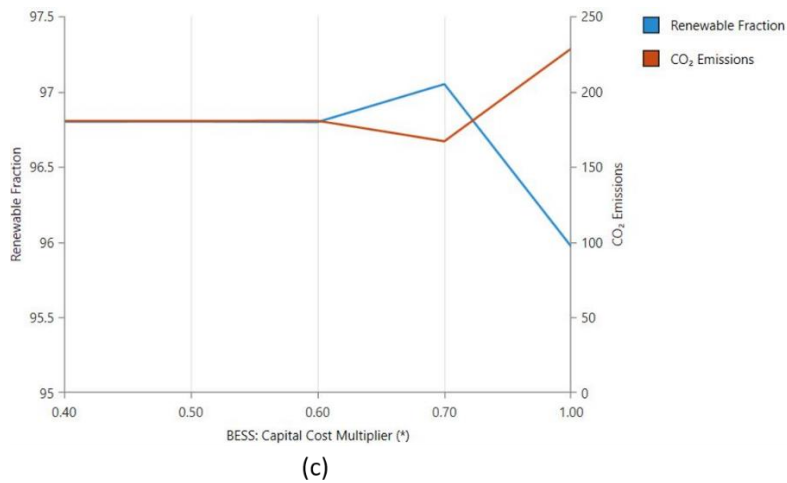
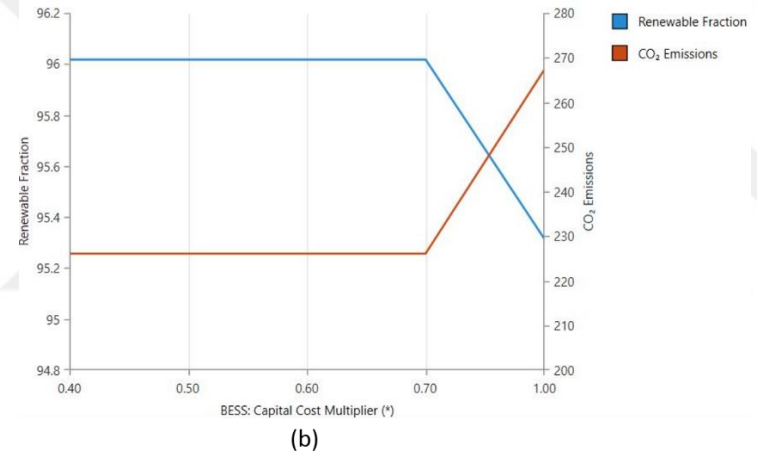
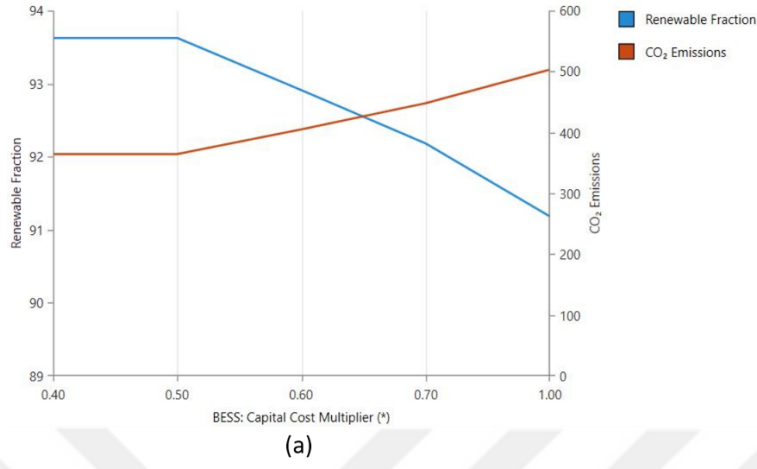
Şekil 2.41 : Antalya ili için batarya maliyetinin değişiminin NPC ve COE'ye etkisi.



Şekil 2.42 : Çanakkale ili için batarya maliyetinin değişiminin NPC ve COE'ye etkisi.

Şekil 2.43'e göre Artvin ilindeki HRES göz önünde bulundurulduğunda CO₂ emisyonlarının ve RF oranının Antalya ve Çanakkale ile karşılaştırıldığında değişimden daha çok etkilendiği açıkça görülmektedir. BESS maliyetlerindeki değişimin %50 ve altında olduğu durumda bu 2 parametre üzerinde bir değişim görülmezken, Antalya ve Çanakkale iline bakıldığında BESS maliyetlerinde sırasıyla %30 ve %40'ın altında bir düşüş olduğunda CO₂ ve RF üzerinde bir değişim görülmemektedir. Bununla birlikte BESS'e yönelik maliyet katsayısı 1'den 0,4'e

düşürüldüğünde Artvin, Antalya ve Çanakkale için sırasıyla CO₂ emisyonlarında %27,63; %15,36 ve %21,05 azalış gerçekleşirken RF değerlerinde sırasıyla %2,63; %0,73 ve %0,83 artış gerçekleşmiştir.



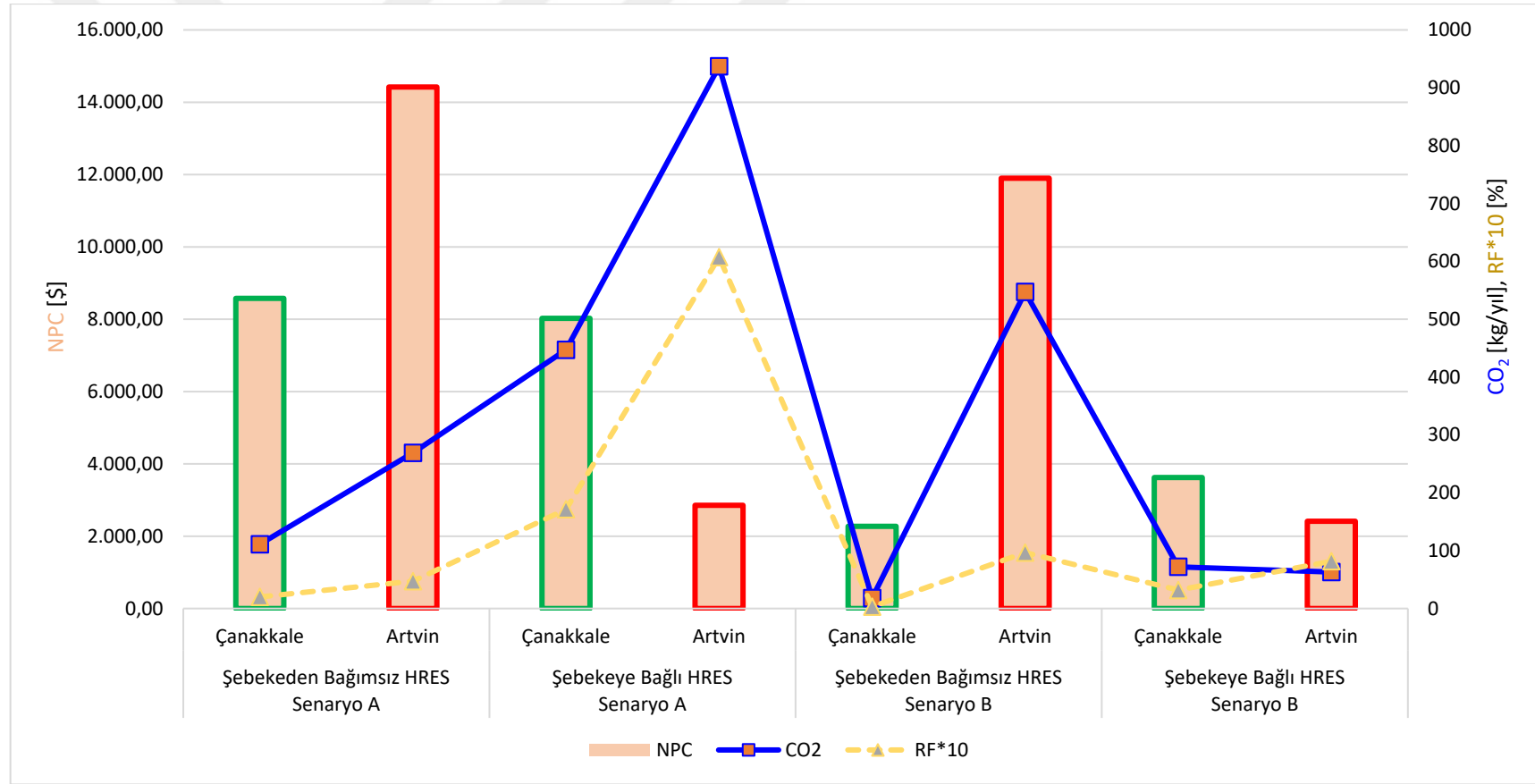
Şekil 2.43 : Batarya maliyeti değişiminin CO₂ ve RF üzerine etkisi (a)Artvin. (b)Antalya. (c)Çanakkale.

Çizelge 2.11 : Oluşturulan senaryolara göre duyarlılık analizi sonuçları.

İller	A	Şebekeden Bağımsız			Şebekeye Bağlı			B	Şebekeden Bağımsız			Şebekeye Bağlı		
		NPC (\$)	CO ₂ (kg/yr)	RF (%)	NPC (\$)	CO ₂ (kg/yr)	RF (%)		NPC (\$)	CO ₂ (kg/yr)	RF (%)	NPC (\$)	CO ₂ (kg/yr)	RF (%)
Yalova	0,5	24.392,64	156	97,21	3.010,3	1.258	82,82	-%10	29.036,99	249	95,55	7.328,21	1.359	79,57
	1	27.233,88	182	96,75	5.398,68	1.258	82,82	%0	27.233,94	182	96,75	5.393,59	1.258	82,83
	2	31.828,52	323	94,26	8.866,6	1.754	59,09	%10	25.524,96	228	95,94	3.577,53	1.173	85,48
Çanakkale	3	35.972,32	326	94,24	10.369,12	3.059	0	%20	24.122,48	164	97,09	2.142,75	1.115	87,04
	0,5	21.402,27	177	96,92	115,83	1.051	87,37	-%10	24.423,88	195	96,57	4.079,35	1.095	85,68
	1	23.372,39	228	95,97	2.504,21	1.041	87,37	%0	23.372,41	228	95,97	2.498,23	1.041	87,37
Kütahya	2	26.755,77	249	95,64	6.235,95	1.498	70,23	%10	22.444,64	200	96,49	1.225,17	1.013	85,55
	3	29.978,89	288	94,91	8.140,11	1.498	70,23	%20	22.151,02	177	96,89	457,04	1.023	88,86
	0,5	24.121,52	151	97,31	2.300,00	1.252	83,79	-%10	28.835,28	174	96,92	6.686,47	1.358	80,39
İzmir	1	26.534,86	244	95,67	4.688,39	1.252	83,79	%0	26.525,78	245	95,67	4.686,18	1.251	83,8
	2	30.947,73	260	95,4	8.978,16	1.762	58,56	%10	25.075,43	209	96,3	2.746,61	1.166	86,16
	3	34.847,96	279	95,04	10.369,12	3.059	0	%20	23.819,36	193	96,59	1.208,95	1.113	87,63
Antalya	0,5	22.909,51	174	96,93	915,01	1.165	85,57	-%10	27.097,56	262	95,39	5.318,78	1.265	82,83
	1	25.135,08	201	96,46	3.303,39	1.165	85,57	%0	25.133,19	200	96,46	3.299,79	1.165	85,58
	2	29.197,8	241	95,74	8.038,35	1.674	62,99	%10	23.703,61	191	96,62	1.453,84	1.088	87,71
Adana	3	33.008,29	271	95,19	9.942,51	1.674	62,99	%20	22.615,79	179	96,83	99,96	1.034	88,94
	0,5	26.849,78	267	95,31	5.092,88	1.501	77,9	-%10	32.045,63	312	94,51	8.269,73	2.008	63,67
	1	29.237,09	267	95,31	7.322,84	1.976	66,39	%0	29.241,09	267	95,31	7.330,75	1.977	66,37
Çankırı	2	34.012,73	267	95,32	10.195,43	1.976	66,39	%10	27.531,2	229	95,97	5.719,63	1.402	81,31
	3	38.559,23	251	95,59	10.369,12	3.059	0	%20	26.357,15	226	96,03	4.121,61	1.312	83,69
	0,5	25.136,13	189	96,69	3.083,27	1.422	81,38	-%10	29.146,74	260	95,44	7.300,67	2.006	66,19
	1	27.348,24	198	96,52	5.471,65	1.422	81,38	%0	27.358,13	198	96,53	5.477,8	1.423	81,37
	2	31.523,67	219	96,15	9.179,17	1.985	69,13	%10	25.875,31	213	96,26	3.471,06	1.324	84,13
	3	35.545,66	256	95,48	10.369,12	3.059	0	%20	24.613,18	209	96,36	1.795,28	1.243	86,09
	0,5	27.995,28	254	95,5	5.141,14	1.518	78	-%10	34.115,74	305	94,61	8.582,5	2.050	62,42
	1	31.287,37	254	95,5	7.529,52	1.518	78	%0	31.283,34	273	95,16	7.543,91	1.519	77,98
	2	36.059,72	407	92,81	10.369,12	3.059	0	%10	28.908,98	311	94,51	5.656,82	1.424	81,17
	3	40.662,67	413	92,72	10.369,12	3.059	0	%20	27.227,09	240	95,76	3.997,9	1.335	83,59

Çizelge 2.11 (devam): Oluşturulan senaryolara göre duyarlılık analizi sonuçları.

İller	A	Şebekeden Bağımsız			Şebekeye Bağlı			B	Şebekeden Bağımsız			Şebekeye Bağlı		
		NPC (\$)	CO ₂ (kg/yr)	RF (%)	NPC (\$)	CO ₂ (kg/yr)	RF (%)		NPC (\$)	CO ₂ (kg/yr)	RF (%)	NPC (\$)	CO ₂ (kg/yr)	RF (%)
Kırşehir	0,5	24.142,45	209	96,29	1.834,01	1.268	84,03	-%10	28.614,79	291	94,86	6.230,71	1.365	80,85
	1	26.521,21	241	95,74	4.222,39	1.268	84,03	%0	26.505,11	241	95,74	4.206,39	1.267	84,06
	2	30.794,48	283	94,99	8.764,82	1.739	59,65	%10	24.830,58	204	96,36	2.231,81	1.188	86,3
	3	34.579,73	288	94,9	10.369,12	3.059	0	%20	23.656,58	218	96,13	723,02	1.127	87,77
Artvin	0,5	37.518,11	503	91,18	7.515,06	2.122	60,72	-%10	46.512,24	817	85,61	9.773,97	2.146	57,82
	1	40.858,07	503	91,18	8.951,36	2.122	60,72	%0	40.859,61	503	91,18	8.949,58	2.121	60,73
	2	47.162,23	772	86,46	10.369,12	3.059	0	%10	37.328,63	422	92,6	8.121,02	2.101	63,96
	3	51.939,00	772	86,46	10.369,12	3.059	0	%20	34.613,34	270	95,27	7.361,02	2.083	65,99
Çorum	0,5	27.333,03	220	96,1	4.783,92	1.512	78,55	-%10	33.069,2	297	94,72	8.362,85	2.050	63,05
	1	30.658,89	220	96,1	7.172,31	1.512	78,55	%0	30.639,47	220	96,1	7.164,19	1.511	78,56
	2	35.331,39	349	93,82	10.288,48	2.026	66,35	%10	28.204,71	278	95,08	5.262,05	1.415	81,66
	3	39.868,86	417	92,63	10.369,12	3.059	0	%20	26.661,96	234	95,86	3.622,6	1.330	83,95
Ardahan	0,5	29.808,46	304	94,61	6.393,57	1.626	74,68	-%10	35.623,62	326	94,24	9.313,16	2.128	59,52
	1	33.098,48	304	94,61	8.473,15	2.104	62,28	%0	32.511,54	265	95,29	8.462,59	2.104	62,31
	2	38.947,9	433	92,33	10.369,12	3.059	0	%10	30.512,11	241	95,71	6.763,08	1.505	79,12
	3	43.717,4	433	92,33	10.369,12	3.059	0	%20	28.550,06	288	94,89	5.146,07	1.413	81,79
Erzurum	0,5	26.365,67	237	95,8	3.043,7	1.452	81,14	-%10	30.715,54	295	94,78	7.336,77	1.556	77,55
	1	28.650,94	246	95,66	5.432,08	1.452	81,14	%0	28.503,74	239	95,77	5.218,84	1.451	81,36
	2	33.164,87	247	95,29	9.336,16	2.033	68,4	%10	26.940,48	267	95,28	3.233,16	1.358	84,01
	3	37.299,99	314	94,45	10.369,12	3.059	0	%20	25.434,00	183	96,73	1.624,96	1.276	85,9
Diyarbakır	0,5	35.044,97	446	92,1	3.065,94	1.432	81,3	-%10	31.510,39	278	95,1	7.408,49	1.534	77,67
	1	38.632,81	563	90,08	5.454,32	1.432	81,3	%0	28.793,74	254	95,52	5.440,62	1.431	81,32
	2	44.179,57	607	89,22	9.625,15	2.030	67,81	%10	26.879,37	222	96,06	3.416,62	1.338	84,04
	3	45.979,93	435	92,29	10.369,12	3.059	0	%20	25.563,3	233	95,88	1.769,8	1.264	85,91
Gaziantep	0,5	25.838,48	190	96,63	2.374,53	1.367	82,6	-%10	30.814,05	417	92,65	6.764,52	1.465	79,2
	1	28.365,77	281	95,05	4.762,91	1.367	82,6	%0	28.366,84	281	95,05	4.764,25	1.367	82,6
	2	32.934,82	297	94,75	9.539,67	1.367	82,6	%10	26.567,66	257	95,47	2.779,4	1.285	85,02
	3	36.979,43	419	92,61	10.369,12	3.059	0	%20	25.148,47	199	96,5	1188,17	1.209	86,77



Şekil 2.44 : A ve B senaryolarındaki parametrelerin değişimine bağlı olarak NPC, CO₂ ve RF değerlerinin Artvin ve Çanakkale iline göre değişimi.

3. AKILLI EVLER VE IoT TABANLI TEKNOLOJİLER

Günümüzde akıllı evler içerisinde kullanılan nesnelerin interneti (Internet of Things, IoT) özellikli cihazların kullanımı gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. IoT, çeşitli hizmetlerin sunulması için cihazların belirli iletişim protokolleriyle birbirine bağlandığı ve veri akışının gerçekleştiği bir ifade olarak tanımlanmaktadır [74], [75]. Akıllı evlere yönelik literatürde farklı tanımlar bulunmaktadır; ama genelde bu tanımlar üç önemli özelliği barındırmaktadır [76]. İlki, akıllı evler; kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayan, bununla birlikte yazılım ve donanım teknolojilerini bir arada bulunduran sistemlerdir. İkincisi, kullanıcıların belirli haberleşme protokolleriyle cihazlarını uzaktan kontrol edebildiği ve bu sayede günlük aktivitelerin basitleştirildiği hizmetlerdir. Üçüncüsü ise kullanıcıların ihtiyaçlarının karşılandığı ve memnuniyetlerini arttırdığı hizmetlerin toplamı olarak ifade edilmektedir. Meskenlerde kullanılan IoT tabanlı cihazlara akıllı termostatlar, akıllı aydınlatma sistemleri, akıllı enerji sayaçları, akıllı kapı kilitleri, hareket sensörleri, giyilebilir teknolojiler, nem ve sıcaklık sensörleri örnek gösterilebilir. Akıllı nesneler; akıllı şehirler, akıllı binalar, enerji izleme ve yönetim sistemleri, akıllı tarım sistemleri, akıllı sağlık hizmetleri gibi sayısız yenilikçi ve kullanışlı IoT uygulaması ve hizmeti oluşturmak için birbirine bağlanmaktadır [77]. Akıllı evler, IoT çözümlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Akıllı evler belirli haberleşme protokolleriyle internet üzerinden uzaktan erişilip kontrol edilebilen akıllı ev cihazlarını, sensörlerini ve aktüatörleri birbirine bağlayarak ev sakinlerine konfor, güvenlik ve enerji verimliliği sağlayan önemli IoT uygulamalarından biridir [78], [79]. Akıllı evlerin sağladığı avantajlar nedeniyle gelecekte akıllı ev sistemlerinin ya da sistemler içerisinde kullanılan IoT tabanlı cihazların kullanımının bir zorunluluk haline geleceği öngörülmektedir [76]. Akıllı ev pazarının 2022 yılına kadar yıllık %29,5 oranında büyümesi hedeflenmektedir. Ayrıca tipik bir aile evinde 500'den fazla akıllı cihazın bulunacağı tahmin edilmektedir [80]. Buna ek olarak, IoT küresel pazarının 2025 yılına kadar 3,9-11,1 trilyon dolar arasından bir değere sahip olması ve 2021 yılında akıllı nesnelerin sayısının 212 milyar olması beklenmektedir [81], [82].

Her ne kadar akıllı ev sistemleri kullanıcılara birçok avantaj ve olanak sağlasa da bu sistemlerin benimsenmesi noktasında günümüzde birçok kısıt bulunmaktadır. Akıllı ev sistemlerinin kullanıcıların hayatını kolaylaştırdığı bilinmesine rağmen bu sistemlerin kitlesel bir pazara ulaşmadığı da bilinmektedir. [83].

IoT tabanlı akıllı ev sistemlerinin kabul edilme oranının düşük olmasının altında birçok sebep yatmaktadır. İlk olarak, akıllı ev sistemleri her geçen gün içerisinde barındırdığı ürün çeşitliliğini ve sayısını arttırmasına rağmen henüz tanınma seviyesindedir. Akıllı ev teknolojilerinin yayılma oranı zayıf kategorisinde olarak değerlendirilmektedir. Diğer sebep ise akıllı ev tanımının tam olarak ne olduğunun kullanıcılar tarafından net olarak algılanamamasıdır. Bu sebeple, insanları akıllı evleri benimsemeye teşvik etmek için kullanıcıların akıllı evlerin kabulünü etkileyen faktörleri tanıması oldukça önemlidir. Akıllı ev sistemlerinin benimsenmesi etkileyen faktörlerin incelenmesi konusunda literatürde çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca Türkiye’de bununla ilgili kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Literatürdeki boşluğa cevap vermeye çalışan bu araştırma, akıllı ev sistemlerinin benimsenmesini etkileyen faktörleri ve hangi faktörlerin önemli bir etkiye sahip olduğunu anlamayı amaçlamaktadır. Tezin bu bölümünde kullanıcıların akıllı evlere yönelik tutum ve niyetlerini etkileyen faktörleri incelemek için kavramsal bir model geliştirilmiştir. Modelin geliştirilme aşamasında literatürde de birçok çalışmada kullanılan Teknoloji Kabul/Benimseme Modeli (Technology Acceptance Model, TAM) modelinden faydalanılmıştır [84], [85].

3.1 Akıllı Evlere Yönelik Teknoloji Kabul Modeli

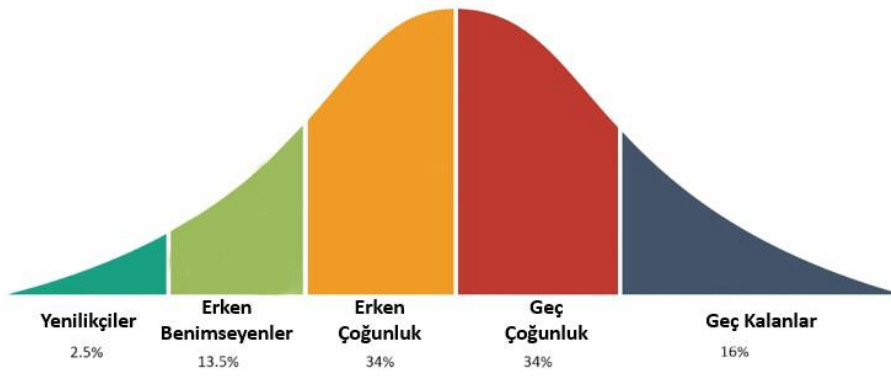
3.1.1 Akıllı ev teknolojilerine yönelik yeniliklerin benimcenme süreci

Tüm IoT uygulamaları arasında akıllı evlerin, yakın gelecekte yurtdışında çok daha büyük bir potansiyele ve büyük faydalara sahip olması beklenmektedir. Akıllı evler ve akıllı ev teknolojileri farklı ülkelerde hem ticari hem de akademik kuruluşlardan büyük ilgi görmektedir. Günümüzde Google, Amazon, Samsung, AT&T ve Comcast gibi şirketler akıllı evlere yönelik cihazlar üretmektedir. Akıllı evler, meskenlerin ya da meskenlerde yaşayan insanların emniyetlerini ve güvenliklerini sağlayan, ortamın izlenmesini kolaylaştırmak için birbirine bağlı sensörlerle ve internet üzerinden kontrol edilebilen cihazlarla donatılan fiziksel sistemlerdir [78], [86].

Literatürde yeni bir araştırma alanı olarak görülen akıllı evlerin benimsenmesini etkileyen faktörlere ilişkin gerçekleştirilen çalışmalar kısıtlı düzeydedir. [83]. Güney Kore’de gerçekleştirilen bir çalışmada akıllı ev sistemlerinin benimsenmesine ve kabul edilmesine yönelik bir model önerilmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde akıllı ev sistemlerinin benimsenmesinde gizlilik ve güvenlik riskinin en önemli yordayıcı parametreler olduğu ortaya çıkmıştır. [87]. Kore’de gerçekleştirilen diğer bir çalışmada akıllı ev sistemlerinin kabul edilme sürecindeki en önemli engellerden birinin kullanıcıların mahremiyeti konusundaki endişeler olduğu görülmüştür. Buna ek olarak kullanıcıların yaşam tarzlarına bağlı olarak IoT tabanlı akıllı ev sistemlerinin benimsenmesinde Ayrıca çalışma, yaşam tarzının akıllı ev teknolojilerinin tercih edilmesinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır [88]. İtalya, İngiltere ve Almanya’nın birlikte yer aldığı bir çalışmada akıllı evlerin benimsenmesini etkileyen faktörler araştırılmıştır. Sonuçlar, sistemi kullanan insanların hayat kalitelerinin artmasına ve kendilerine sağlayacağı avantajlara bağlı olarak akıllı ev sistemlerinin benimsenmesinin artacağını işaret etmiştir. Bununla birlikte gizlilik endişesi ve mahremiyet konusundaki endişeler de sistemlerin benimsenmesindeki engeller olduğu ortaya çıkmıştır. [89]. İngiltere’de meskenlerde kullanılan IoT tabanlı cihazların benimsenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçları; kullanım kolaylığının, algılanan kullanışlılığın, güvenliğin, ve gizliliğin akıllı sistemlerin benimsenmesinde önemli bileşenler olduğunu göstermiştir [90].

3.1.2 Temel davranış modelleri

Günümüzde teknolojik olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ürünler hızlı bir şekilde piyasaya sürülmekte ve hayatımıza nüfuz etmektedir. Teknolojinin bu kadar hızlı bir şekilde yayıldığı günümüz düzeninde bazı teknolojiler kendilerini duyurmadan piyasadan silinmek durumunda kalırken bazı teknolojiler ise çoğunluk tarafından benimsenmekte ve kabul edilmektedir. Bu sebeple, temel davranış modellerini ayrıntılı bir şekilde incelemeyen önce toplumda yer alan bireylerin bir yeniliği benimserken ne ölçüde farklılık gösterdiğini incelemek önemlidir. Yeni bir ürünün, sistemin ya da teknolojinin kullanıcılar/tüketiciler tarafından benimsenmesi noktasında beş kategoriden oluşan benimseyici kategorilerinin popülasyon üzerindeki gösterimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir [91].



Şekil 3.1 : Yeniliklerin yayılması ve benimseme süreci.

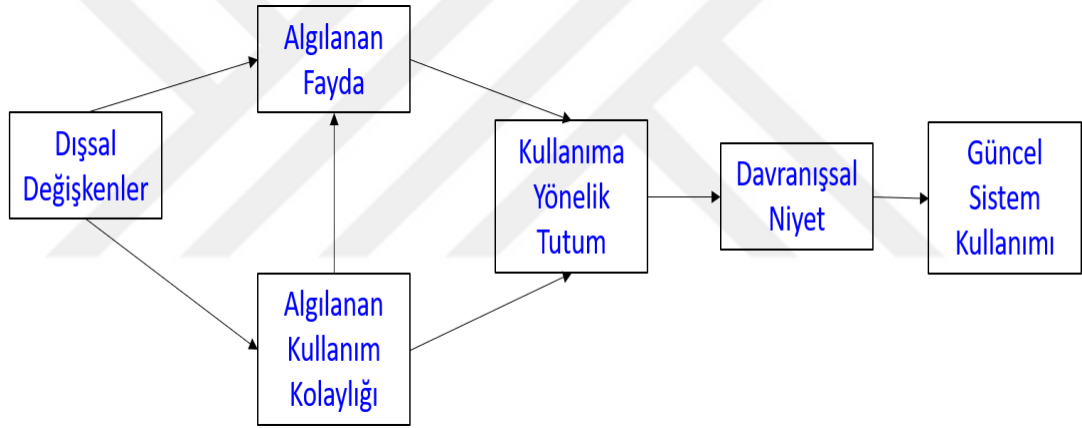
Şekil 3.1’deki kategorilere göre yenilikçiler bir toplumdaki herhangi bir yeniliği en başta kabul eden ve benimseyen bireylerdir. Bu kategoride yer alan bireyler toplumun yalnızca %2,5’ini oluşturmaktadırlar. Yenilikle alakalı belirsizlik durumları yüksek olsa bile ilgili yeniliği/ürünü denemek isterler. Öncüler olarak da bilinen erken benimseyenler toplumda ilgili yeniliği/ürünü yenilikçilerden hemen sonra benimseyen %13,5’lik kısımdır. Bu kategorideki bireyler için yeniliğe yönelik belirsizlikler ve riskler yenilikçi kategorisine göre daha düşüktür. Sorgulayıcılar olarak da bilinen erken çoğunluk ortalama benimsenme süresinden biraz önce benimseyen %34’lük kesimi oluştururlar. Şekil 3.1’e göre yenilikçilerden ve erken benimseyenlerden sonra gelirler. Bu kategorideki bireyler yenilikleri benimseme konusunda temkinli davranmaktadırlar. Kuşkucular olarak bilinen geç çoğunluk, yenilik toplumun çoğunluğu tarafından kabul gördükten sonra benimseme davranışı gösteren bireylerdir ve erken çoğunluk gibi toplumun %34’lük kısmını oluştururlar. Yeniliklere şüpheyile yaklaşmakta ve toplumun çoğunluğunun o yeniliği benimsemesini beklerler. Populasyonun gerisinde bir performans sergileyen, gelenekçiler olarak da bilinen geç kalanlar toplumun %16’sını oluştururlar. Yenilikleri benimseme süreçleri oldukça uzundur ve değişimlere karşı önyargılıdır. Genel olarak değişimi sevmeyen, bir yeniliği benimsemeyen veya çok geç benimsediklerinden dolayı toplumun diğer bireyleri tarafından eleştirilen bireylerdir.

Martin Fishbein ve Icek Ajzen tarafından 1977 senesinde geliştirilen literatürde, sebepli eylem teorisi, gerekçeli eylem teorisi, nedenli eylem teorisi ya da nedenli eylem kuramı (Theory of Reasoned Action) gibi çevirileri bulunan, insan davranışının karar sürecini açıklamak ve anlamak amacıyla bir model geliştirmişlerdir [92]. Nedenli eylem kuramı; tutumlar, niyetler ve davranışlar arasındaki ilişkileri daha iyi

anlayabilmek için geliştirilmiş bir kuramdır. Geliştiren kurama göre, bir bireyin belirli bir davranışı, bireyin davranışsal niyeti ile belirlenmektedir.

3.1.3 Teknoloji benimseme modeli

Teknoloji kabul modeli olarak da bilenen teknoloji benimseme modeli, 1989 yılında Fred Davis tarafından geliştirilen, (Technology Acceptance Model, TAM) birçok farklı alan üzerinde incelenen, pekçok araştırmacı tarafından uygulanıp kullanılan ve farklı bakış açılarının oluşmasına katkı sağlayan bir modeldir. Davis tarafından 1989 geliştirilen model Şekil 3.2’de gösterilmiştir [93]. TAM, bireylerin veya toplumların bir teknolojiyi nasıl kabul ettiğini açıklamaya yönelik modellemeyi amaçlamaktadır. Yeni tanıtılan bir sistemin, ürünün, hizmetin veya teknolojinin pazardaki başarısını tahmin etmenin en etkili yollarından biri Şekil 3.2’de gösterilen modeli uygulamaktır [94].



Şekil 3.2 : Teknoloji benimseme modeli.

Orijinal TAM dört yapıdan oluşmaktadır. Bunlar davranışsal niyet/kullanım niyeti (Behavioural Intention to Use), kullanıma yönelik tutum (Attitude Toward Using), algılanan fayda/algılanan kullanışlılık (Perceived Usefulness) ve algılanan kullanım kolaylığıdır (Perceived Ease of Use). Orijinal TAM’da, kullanıma yönelik tutum; algılanan fayda ve algılanan kullanım kolaylığından etkilenirken, davranışsal niyet ise kullanıma yönelik tutumdan etkilenmektedir. Buna ek olarak algılanan kullanım kolaylığı ile algılanan fayda arasında da önemli bir bağlantı bulunmaktadır [84].

Modeldeki parametreler detaylı olarak tanımlanırsa, dışsal değişkenlerin algılanan fayda ile algılanan kullanım kolaylığı derecesini etkilediği görülmektedir. Modele göre, dışsal değişkenlerin algılanan fayda ve algılanan kullanım kolaylığı ile birleşerek

bir bireyin eğilim ile başlayan yolculuğunun kullanıma dönüşmesinin etkisi anlatılmaktadır.

Davis ve Venkatesh, 2000 yılında Teknoloji Benimseme Modelini geliştirmişlerdir [95]. Geliştirilen bu modelde, ilk modele ek olarak öznel normalar, imaj ve gönüllülük olmaz üzere 3 adet sosyal sayılabilecek değişken eklenmiştir.

Bala ve Venkatesh mevcut TAM-2'yi geliştirip güncelleyerek TAM-3'ü oluşturmuşlardır. Venkatesh Birleşik Benimseme ve Kullanım Teorisini (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology, UTAUT) 2003 yılında ortaya çıkartmış ve 2012 yılında modeli güncelleyerek UTAUT 2 modelini ortaya koymuştur [96]. Bu modelde dikkat çeken nokta gönüllülük değişkeninin modelde yer almaması ve hazzal motivasyon, alışkanlık ve fiyat değer olmak üzere 3 yeni değişkenin modele eklenmesidir.

3.1.4 Kavramsal model bileşenleri ve oluşturulan hipotezler

Tezin bu bölümünde akıllı evleri kullanma niyetini incelemek ve araştırmak için TAM baz alınarak çalışma modeli geliştirilmiş ve hipotezler oluşturulmuştur.

3.1.4.1 Orijinal TAM yapıları

Akıllı evleri kullanma niyeti, kullanıcıların akıllı evleri kullanmaya hazır olduğunun bir ölçütü veya göstergesi olarak tanımlanmaktadır. Algılanan fayda, bireylerin bir teknolojiyi ya da sistemi kullanmalarının işlerine veya kendilerine sağlayacağı katkısı üzerine inanışlarının derecesini ifade ederken, algılanan kullanım kolaylığı, bireylerin bir teknolojiyi veya sistemi kullanmalarının bir çaba ya da efor gerektirmeyeceğine olan inanışlarının derecesini ifade etmektedir. Orijinal TAM modeline uygun olarak akıllı evlerin kabulü için önerilen hipotezler aşağıda gösterilmiştir.

H1. Akıllı evleri kullanmaya yönelik tutum, akıllı evleri kullanma niyeti üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

H2. Algılanan fayda (kullanışlılık), akıllı evleri kullanma niyeti üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

H3. Algılanan fayda (kullanışlılık), akıllı evlerin kullanımına yönelik tutum üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

H4. Algılanan kullanım kolaylığı, akıllı evlerin kullanımına yönelik tutum üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

H5. Algılanan kullanım kolaylığı, akıllı evlerin algılanan faydası üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

3.1.4.2 Hedonik değer

Hazcı değer olarak da bilenen hedonik değer, bireyin deneyimlediği durumlarla elde edilen ve yoğun bir şekilde hissedilen mutluluk, zevk alma, eğlence ve heyecan gibi durumların toplamını ifade eder [97].

Algılanan eğlence

TAM'ın motive edici faktörlerini araştırmak için algılanan eğlence oluşturulan model kapsamında potansiyel bir belirleyici olarak değerlendirilmiştir [98]. Atıf yapılan çalışmalarda, çalışmanın odak noktası olan akıllı ev sistemlerinin kullanıcılar tarafından ne kadar eğlenceli ve keyifli bulunduğunu belirlemek için kullanılmıştır. [99]. [100]. [101]. Bu değerlendirmelere dayanarak aşağıdaki hipotez çalışma kapsamında önerilmiştir.

H6. Algılanan eğlence, akıllı evlerin algılanan kullanım kolaylığı üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

Algılanan bağlanabilirlik

Algılanan bağlanabilirlik, bireylerin cihazlarına sorun yaşamadan bağlanabilme, erişebilme ve etkileşim kurabilme derecesini ifade eder [102], [103]. Algılanan bağlanabilirlik, kullanıcının herhangi bir kesinti yaşamadan herhangi bir yerde ve günün her saatinde bilgilere ve hizmetlere erişebilme yeteneğini ifade eder. Bu bileşene ait oluşturulan hipotez aşağıda gösterilmiştir.

H7. Algılanan bağlanabilirlik, akıllı evlerin algılanan kullanım kolaylığı üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

Test edebilirlik

Denenebilirlik olarak da ifade edilen test edebilirlik, temel olarak yeni bir teknoloji veya yeniliğin ne ölçüde denenebildiğini ifade eder [91]. Yeniliğin denenmesi, bireylere güven duygusu verir ve yenilikle ilgili riskleri ve belirsizlikleri azaltabilir [104]. Bu bileşene ait oluşturulan hipotez aşağıda gösterilmiştir.

H8. Test edebilirlik, akıllı evlerin algılanan kullanım kolaylığı üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

3.1.4.3 Rahatlatıcı değer

Algılanan kontrol

Algılanan kontrol, bireylerin veya kullanıcıların belirli bir hizmet veya sistemin davranışını ve kullanımını gerçekleştirebilme konusundaki becerilerini ve yeteneklerini ifade eder. [105]. İyi tasarlanmış arayüzler, kullanıcıların teknolojiyi kolayca anlamalarını ve kullanmalarını sağlamak amacıyla geliştirilir. Ancak kullanıcıların bu arayüzleri etkili bir şekilde kullanabilmeleri için belirli bir düzeyde kontrol becerilerine sahip olmaları gerekmektedir [106]. Yapılan tanımlar neticesinde oluşturulan hipotez aşağıdaki gibidir.

H9. Algılanan kontrol, akıllı evlerin algılanan faydası üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

3.1.4.4 Güvence değeri

Algılanan güvenilirlik

Algılanan sistem güvenilirliği, kullanıcıların akıllı ev sistemlerine güvendiklerini ve bu sistemlerin beklenen şekilde çalışacağına inandıklarını göstermektedir [107]. Algılanan sistem güvenilirliği, kullanıcıların sistemlerin kesintisiz çalışacağına, verilerin güvenli bir şekilde saklanacağına ve istenilen işlevlerin düzgün bir şekilde gerçekleştirileceğine olan inançlarını yansıtır [108], [109], [110]. Bu bağlamda oluşturulan hipotez aşağıdaki gibidir.

H10. Algılanan güvenilirlik, akıllı evlerin faydası üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

Algılanan güvenlik

Kullanıcı verilerinin güvenliği ve gizliliği, akıllı ev hizmetlerinde önemli bir parametredir. Algılanan güvenlik, kullanıcıların akıllı ev hizmetlerini kullanırken potansiyel tehditlere karşı korunma düzeyine yönelik bakış açılarını ifade eder [111]. Algılanan güvenlik düzeyi, kullanıcıların hizmetleri kullanma konusundaki güvenlerini etkiler. [112]. Bu sebeple önceki çalışmalardan da elde edilen bulgulara dayanarak aşağıdaki hipotez önerilmiştir.

H11. Algılanan güvenlik, akıllı evlerin faydası üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir

Uyumluluk

Akıllı evler, farklı üreticilerin cihazlarını içerdiği için, farklı cihazların birbiriyle ne ölçüde iletişim kurabileceği ve çalışabileceği önemli bir ölçüdür. Bu kavram, çeşitli cihazların birlikte çalışabilirlik yeteneğini ifade eder [91], [113]. Akıllı evler bağlamında uyumluluk, cihazların birbirleriyle uyumlu bir şekilde haberleşebilmesinin mümkün olmasıdır. [114], [115]. Elde edilen bulgulara göre oluşturulan hipotez aşağıda ifade edilmiştir.

H12. Algılanan uyumluluk, akıllı evlerin faydası üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

3.1.4.5 Ekonomik değer

Algılanan maliyet

Maliyet faktörü, yeni bir teknolojinin yayılma sürecinde karşılaşılan en önemli engellerden biridir [116], [117]. Algılanan maliyet, genellikle bir teknoloji veya sistem satın alınırken, bakımı ve onarımı sırasında ortaya çıkan maliyetlerle ilgili endişeleri ifade eder [118], [119]. Yapılan tanımlar neticesinde oluşturulan hipotez aşağıdaki gibidir.

H13. Algılanan maliyet, akıllı evleri kullanma niyeti üzerinde negatif bir etkiye sahiptir.

3.1.4.6 Yenilikçi değer

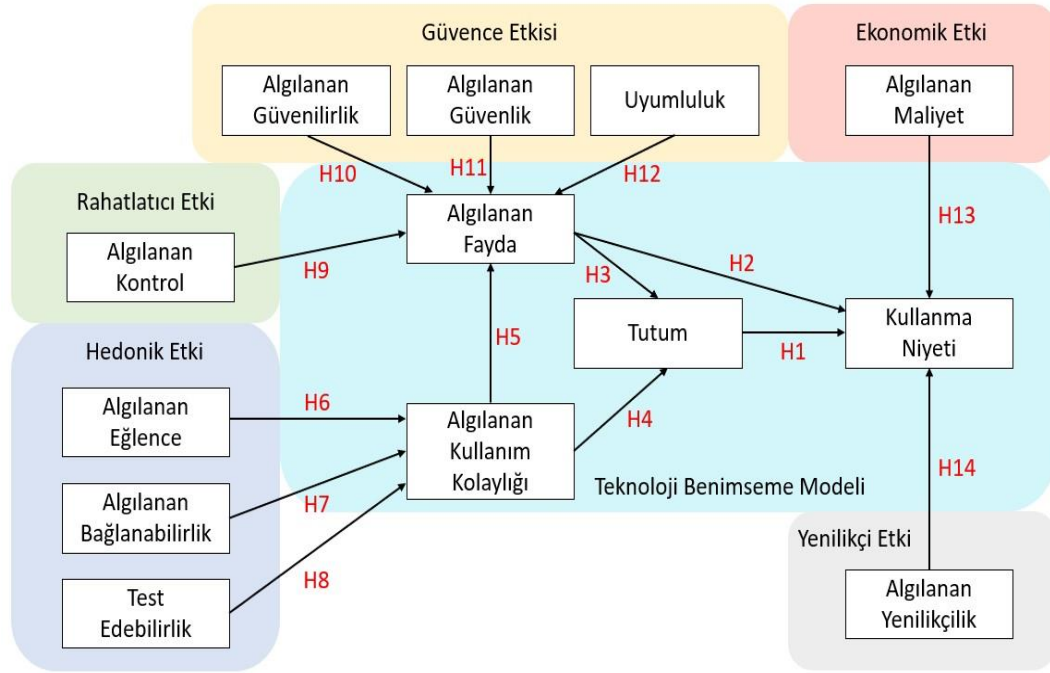
Algılanan yenilikçilik

Kullanıcılar tarafından algılanan yenilikçilik, kullanıcıların belirli teknolojilere/ürünlere yönelik algısını ve bunun teknolojiyi kullanma niyetlerini nasıl etkilediğini ifade eder [120], [121]. Akıllı ev teknolojisi açısından, algılanan yenilikçilik derecesi yüksek olan bireylerin teknolojiyi benimseme niyetlerinin daha yüksek olması beklenmektedir. Bu bağlamda oluşturulan hipotez aşağıdaki gibidir.

H14. Algılanan yenilikçilik, akıllı evleri kullanma niyeti üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

3.1.5 Araştırma Modeli

Çalışmanın amacı doğrultusunda orijinal TAM modelini temel oluşturacak şekilde geliştirilen araştırma modeli Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bir önceki bölümde anlatılan ve araştırma modeli içerisinde yer alan 13 değişkenden 14 adet hipotez oluşturulmuştur.



Şekil 3.3 : Oluşturulan araştırma modeli.

Akıllı ev sistemlerinin benimsenmesine yönelik oluşturulan araştırma modeli kapsamında kullanılan anket maddeleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Mevcut çalışmada kullanılan anket ifadeleri.

Faktörler	Maddeler	İfadeler
Algılanan Eğlence	E1	Akıllı ev sistemlerini kullanmak eğlencelidir.
	E2	Akıllı ev sistemlerini kullanmak ilgi çekicidir.
	E3	Akıllı ev sistemlerini kullanmak heyecan verici ve keyiflidir.
Algılanan Bağlanabilirlik	PC1	Akıllı ev sistemleri aracılığı ile cihazlarla/bileşenlerle etkileşim kurabildiğim için kendimi şanslı hissediyorum.
	PC2	Akıllı ev sistemlerine istediğim zaman erişebildiğim için kendimi iyi hissediyorum.
	PC3	Dünyanın herhangi bir yerinden ev ortamımla etkileşim kurmayı avantajlı buluyorum.
	PC4	Akıllı ev sistemlerine bağlı olmak istiyorum çünkü sistemin bileşenleri hakkında istediğim her türlü bilgiyi alabiliyorum.
Test Edebilirlik	TR1	Akıllı ev cihazlarını satın almadan önce denemek ve tecrübe etmek benim için önemlidir.
	TR2	Akıllı ev cihazlarını satın almadan önce onlar hakkında soru sormak benim için önemlidir.
	TR3	Akıllı ev cihazlarını satın alıp kurmadan önce nasıl çalıştıklarını görmeme gerek yoktur.
Algılanan Kontrol	CON1	Akıllı ev sistemlerini kullanmak tamamen benim kontrolümdedir.
	CON2	Akıllı ev sistemlerini kullanmak için yeterli bilgi ve yeterliğe sahibim.
	CON3	Akıllı ev sistemlerini ustalıkla kullanabilirim.
Algılanan Güvenilirlik	SR1	Akıllı ev sistemleri görevlerini/işlevlerini hızlı bir şekilde yerine getirir.
	SR2	Akıllı ev sistemleri hatasız ve güvenilirdir.
	SR3	Akıllı ev sistemleri isteklerime anında cevap vermektedir.
Algılanan Güvenlik	PS1	Akıllı ev sistemleri kişisel bilgilerim için güvenlidir.
	PS2	Akıllı ev sistemlerindeki kişisel bilgilerimin manipüle edilmeyeceğini düşünüyorum.
	PS3	Akıllı ev sistemlerinde depolanan bilgilerimin kimsenin göremeyeceğini ve kullanamayacağını düşünüyorum.
Uyumluluk	COM1	Akıllı ev sistemleri, akıllı telefonlar gibi mevcut akıllı donanımlar ile uyumlu olmalıdır.
	COM2	Akıllı ev sistemleri içinde yer alan cihazlar birbirleriyle uyum içerisinde çalışmalıdır.
	COM3	Farklı üreticilere ve servis sağlayıcılarına sahip cihazlar sistem içerisinde uyumsuzluk çıkartmamalıdır.
	COM4	Zaman geçtikçe çıkacak yeni teknoloji ürünler sisteme kolayca entegre edilebilmelidir.
Algılanan Maliyet	COS1	Akıllı ev sistemleri pahalıdır.
	COS2	Akıllı ev sistemlerini maddi olarak kolayca karşılayamam.
	COS3	Akıllı ev sistemlerini satın almak ve kullanmak benim için bir yükür.

Çizelge 3.1 (devam): Mevcut çalışmada kullanılan anket ifadeleri.

Faktörler	Maddeler	İfadeler
Algılanan Yenilikçilik	CPI1	Akıllı ev uygulamaları ve ürünleri yenilikçidir.
	CPI2	Akıllı ev uygulamaları ve ürünleri benim için tamamen yenidir.
	CPI3	Akıllı ev uygulamalarını ve ürünlerini ilk duyduğumda izlenimim 'vaov' idi.
Algılanan Kullanım Kolaylığı	PEOU1	Akıllı ev sistemleriyle etkileşimde olmak/bulunmak zihinsel bir çaba gerektirmez.
	PEOU2	Akıllı ev sistemlerinin nasıl kullanılacağı kolayca öğrenilebilir.
	PEOU3	Akıllı ev sistemlerini kullanmak benim için zor değildir.
	PEOU4	Akıllı ev sistemlerinin nasıl kullanıldığını kolayca hatırlayabilirim.
Algılanan Fayda	PU1	Akıllı ev sistemleri enerji tasarrufu sağlar.
	PU2	Akıllı sensörler, ev içerisinde oluşabilecek herhangi bir sorunu anında haber verir.
	PU3	Yaşlı, engelli veya kronik rahatsızlığa sahip, sürekli takibe ihtiyaç duyulan insanların ev ortamında daha özgür olmalarını sağlar.
	PU4	Akıllı ev sistemlerini kullanmak hayat kalitemi artırır.
Tutum	AT1	Akıllı ev sistemlerini kullanmak iyi bir fikirdir.
	AT2	Genel olarak akıllı ev sistemlerine karşı olumlu düşüncelerim vardır.
	AT3	Akıllı ev sistemlerini kullanmak akıllıca bir fikirdir.
Kullanma Niyeti	IU1	Başkalarına evlerinde akıllı ev sistemlerini kullanmalarını tavsiye ederim.
	IU2	Mümkün olduğunca akıllı ev sistemlerini kullanmayı düşünüyorum.
	IU3	Akıllı ev sistemlerini sürekli olarak kullanma ihtimalim vardır.

3.1.6 Yöntem ve Analiz Sonuçları

Bu bölüm, anket verilerinin toplanması için tercih edilen yöntem ve uygulanan analizleri içermektedir. Çok değişkenli regresyon analizi, keşfedici faktör analizi ve güvenilirlik analizi toplanan verilere uygulanmış ve bu analizlerin sonuçları hipotez testlerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analizlerin tamamı IBM SPSS 26 Statistics programı kullanılarak yapılmıştır. Anket içerisinde yer alan ifadeler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

3.1.6.1 Veri toplama yöntemi ve katılımcı istatistikleri

Akıllı ev sistemlerinin maliyetleri göz önüne alındığında, bu sistemlerin 18 yaş ve üzeri bireyler tarafından daha kolay satın alınabileceği sonucuna ulaşmak için yapılan anket çalışması, 18 yaş ve üzeri kişilere yöneltilmiştir. Çalışmanın hedef kitlesi özellikle üniversitede okuyan ya da üniversite mezunu bireylerdir. Veri toplama

sürecinde ise internet tabanlı anket yöntemi tercih edilmiştir. Bunun için Google Anketler'den yararlanılmıştır. Tasarlanan anket ifadeleri Google Anketler üzerinde oluşturulmuş ve belirlenen örneklem kümesine uygun olan kitlelere e-posta ve sosyal medya aracılığı ile kartopu yöntemi kullanılarak anket dağıtımı yapılmıştır. Orijinal TAM modeline dayanarak geliştirilen modelde ve Çizelge 3.1'e göre 43 madde toplanmıştır. Anket maddeleri İngilizce'den Türkçe'ye iki tercüman tarafından çevrilmiştir. Çeviri sonuçlarının geçerliliğinin sağlanması amacıyla çeviriler birbiriyle karşılaştırılmıştır. Anketler kitlelere gönderilmeden önce 10'ar kişi ile iki farklı pilot anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi, olası bir hata olması durumunda erkenden anketin revize edilebilmesine olanak sağlamaktır. Tüm anket maddelerinde 7'li Likert ölçeği kullanılmıştır. (1= "Kesinlikle Katılmıyorum", 2= "Katılmıyorum", 3= "Kısmen Katılmıyorum", 4= "Kararsızım", 5= "Kısmen Katılıyorum", 6= "Katılıyorum", 7= "Kesinlikle Katılıyorum"). Ankete 386 kişi katılmıştır. Katılan 386 kişiden iki kişi soruların büyük bir çoğunluğuna cevap vermediği için anketten çıkarılmıştır. Buna ek olarak 2 kişinin de sorulara rastgele cevap verdiği SPSS programında tespit edilmiştir. Sorulara rastgele cevap veren 2 kişinin de anketten çıkarılmasıyla analizler 382 kişi üzerinden değerlendirilmiştir.

3.1.6.2 Tanımlayıcı istatistikler

Anketlerin uygulandığı örneklem kümesine ait demografik özellikler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Çizelge 3.2 incelendiğinde katılımcıların büyük bir çoğunluğunun en az lisans düzeyinde olduğu görülmektedir. Katılımcıların %0,8'i lise, %0,5 ön lisans (2 yıllık), %62,6'sı lisans (4 yıllık), %27'si yüksek lisans ve %9,2'si doktora derecesine sahiptir. Buna ek olarak katılımcıların %67,8'i aktif olarak bir işte çalışmaktadır. Mevcut çalışan kesim dışında katılımcıların %17,5'i öğrenci, %11,3'ü emekli ve %3,4'ü ise herhangi bir işte çalışmamaktadır.

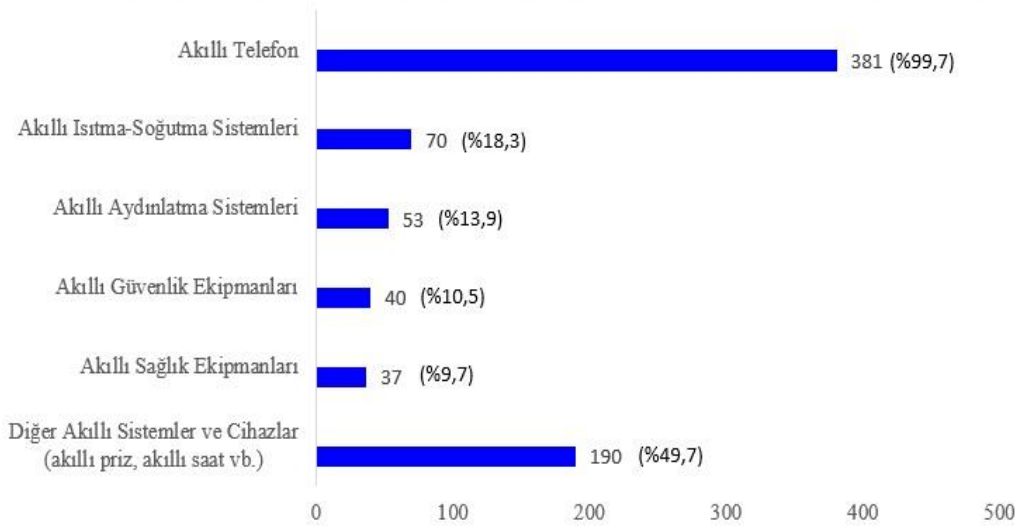
Yaş aralıklarına bakıldığında katılımcıların %19,9'u 18-25 yaş grubundadır. 26-35 yaş grubundaki katılımcılar %41,1'lik bir oran oluştururken, 36-49 yaş grubunda ise %13,4'lük bir oran bulunmaktadır. Yine 50-64 yaş grubunda %12,6'lık bir oran bulunurken, 65 yaş ve üstü katılımcıların oranı ise %8,1'lik seviyededir.

Cinsiyet dağılımına bakıldığında ankete katılan kadınların oranı %34,3 iken erkeklerin oranı %65,7'dir. Medeni durum oranlarına bakıldığında katılımcıların %59,9'u bekarken %41,1'i evlidir.

Gelir durumları incelendiğinde 2020 yılı itibariyle katılımcıların %22,8'i 9501 TL ve üzeri aylık bir gelire sahipken katılımcıların %14,9'u 2000 TL ve altı gelire sahiptir. 2000 TL ve altı gelire sahip katılımcıların çoğu öğrenci kategorisindedir. Buna ek olarak, 2001-3500 TL arası gelire sahip olan katılımcıların oranı %4,7; 3501-5000 TL arası gelire sahip olan katılımcıların oranı %11,8; 5001-6500 TL arası gelire sahip olan katılımcıların oranı %13,9; 6501-8000 TL arası gelire sahip katılımcıların oranı %18,3 ve 8001-9500 arası gelire sahip katılımcıların oranı ise %13,6'dır.

Hanede yaşayan kişi sayısı incelendiğinde katılımcıların %20,9'u tek başına, %28,5'i iki kişi, %24,1'i 3 kişi, %20,4'ü 4 kişi ve %5,5'i 5 kişi ile birlikte yaşamaktadır. Bir hanede birlikte yaşayan kişi sayısının 6 ve üzeri olduğu oran ise %0,5'tir.

Şekil 3.4'te ankete katılan katılımcıların evlerinde kullandıkları akıllı cihazlar ve cihazların sayıları gösterilmiştir. Şekil 3.4 incelendiğinde, katılımcıların hemen hemen hepsinin akıllı telefon kullandığı görülmektedir. Bununla birlikte akıllı ısıtma-soğutma sistemleri kullananların oranı %18,3; akıllı aydınlatma sistemleri kullananların oranı %13,9; akıllı güvenlik sistemleri kullananların oranı %10,5; akıllı sağlık ekipmanları kullananların oranı %9,7 ve akıllı priz ya da akıllı saat gibi farklı akıllı cihazları kullananların oranı ise %49,7 seviyesindedir.



Şekil 3.4 : Anket katılımcılarının kullandığı akıllı cihazlar ve akıllı cihazların sayıları.

Çizelge 3.2 : Anket katılımcılarına ait demografik özellikler (N=382).

Demografik Özellikler			
Kategori	Değer	Frekans	Oran
Yaş	18-25	76	%19,9
	26-35	176	%46,1
	36-49	51	%13,4
	50-64	48	%12,6
	65 yaş ve üstü	31	%8,1
	Toplam	382	%100
Cinsiyet	Kadın	131	%34,3
	Erkek	251	%65,7
	Toplam	382	%100
Medeni Durum	Bekar	225	%58,9
	Evli	157	%41,1
	Toplam	382	%100
Eğitim Durumu	Lise	3	%0,8
	Ön Lisans (2 Yıllık)	2	%0,5
	Lisans (4 Yıllık)	239	%62,6
	Yüksek Lisans	103	%27
	Doktora	35	%9,2
	Toplam	382	%100
Çalışma Durumu	Çalışıyor	259	%67,8
	Çalışmıyor (öğrenci)	67	%17,5
	Çalışmıyor (emekli)	43	%11,3
	Çalışmıyor (işsiz)	13	%3,4
	Toplam	382	%100
Gelir Durumu	2000 TL ve altı	57	%14,9
	2001-3500 TL	18	%4,7
	3501-5000 TL	45	%11,8
	5001-6500 TL	53	%13,9
	6501-8000 TL	70	%18,3
	8001-9500 TL	52	%13,6
	9501 TL ve üzeri	87	%22,8
	Toplam	382	%100
Hanede Yaşayan Kişi Sayısı	1	80	%20,9
	2	109	%28,5
	3	92	%24,1
	4	78	%20,4
	5	21	%5,5
	6 ve üstü	2	%0,5
	Toplam	382	%100

Demografik özellikler bakımından katılımcıların yaş dağılımları, cinsiyet dağılımları, medeni durum dağılımları ve eğitim durumu dağılımları Ekler bölümünde Şekil A.1’de gösterilmiştir. Buna ek olarak çalışma durumu dağılımları ve gelir durumu dağılımları Şekil A.2’de gösterilmiştir Son olarak meskende yaşayan kişi dağılımları ise Şekil A.3’te gösterilmiştir.

3.1.7 Güvenilirlik analizi ve keşfedici faktör analizi

Modeli oluşturan değişkenlerin tutarlılığını ölçebilmek, araştırma modelinin geçerliliğini inceleyebilmek ve hipotez testlerinin analizini yapabilmek için IBM SPSS 26 Statistics yazılımı kullanılmıştır.

Açımlayıcı faktör analizi olarak da bilinen keşfedici faktör analizi (Exploratory Factor Analysis) birbiriyle ilişkili çok sayıdaki değişkeni az sayıda, anlamlı ve birbirinden bağımsız faktörler haline getiren çok değişkenli bir istatistik tekniğidir. Başka bir ifadeyle değişkenler arasında birbiri ile ilişkili olanları bir kategoriye toplayarak daha az sayıda faktör elde edilmesini sağlayan bir boyut indirgeme yöntemidir. Genellikle 0,45 üzerindeki faktör yükü değerleri genellikle yeterli olarak kabul edilirken, 0,71'in üzerindeki değerler ise mükemmel olarak değerlendirilir ve literatüre uygun kabul edilir. [122]. Bu çalışmada katılımcıların da cevapladığı ve Çizelge 3.1'de gösterilen 43 adet madde/ifade bulunmaktadır. Bu 43 ifade literatürdeki çalışmalar referans alınarak 13 faktöre ayrılmıştır. Bu faktörler algılanan eğlence, algılanan bağlanabilirlik, test edebilirlik, algılanan kontrol, algılanan güvenilirlik, algılanan güvenlik, uyumluluk, algılanan maliyet, algılanan yenilikçilik, algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, tutum ve kullanma niyeti şeklindedir.

Keşfedici faktör analizinde de birbiriyle ilişki maddelerin bir arada gruplandığı 13 faktörün oluşması yani 13 faktöre indirgenmesi beklenmektedir. Keşfedici faktör analizi ile ölçeklerin gruplandırılması ve gerekli durumlarda değişken ölçekleri arasından çıkartılması hedeflenmiştir. Çalışmanın ilk kısmında ölçeklerin düzenlenebilmesi ve gerek duyulduğunda tekrar gruplanabilmesi için keşfedici faktör analizi uygulanmıştır. Analizde faktör oranı 0,45 ve altında olan değişkenler analizden çıkartılmıştır. Oluşturulan ölçeğe göre ifadelerin iç içe geçmemesi gerekmektedir. Eğer ifadelerin analizdeki değerleri 0,45 ve altında ise o ifadelerin hangi faktör grubuna dahil olduğu anlaşılamayacaktır.

Ölçeklerin güvenilirliğinin test edilebilmesi için Cronbach Alpha katsayısından faydalanılmıştır. Güvenilirlik kavramı edilen sonuçların rastlantısal mı yoksa gerçek değerlerden mi oluştuğunu ortaya koymaktadır. Güvenilirlik analizi; ölçmede kullanılan anketlerin, testlerin, ölçeklerin özelliklerini ve güvenilirliklerini değerlendirmek üzere geliştirilmiş bir yöntemdir. Ölçeklerin güvenilirliğini belirleyen

katsayılar hesaplanır ve ölçekte yer alan sorular arasındaki ilişkiler hakkında bilgi elde edilir.

Cronbach Alpha (α), ölçekteki n tane ifadenin homojen bir yapı gösterip göstermediğini araştırmaktadır. N tane ifadenin varyansları toplamının genel varyansa oranlanması ile bulunmaktadır. Cronbach Alpha güvenilirlik katsayısının 0,7 ve daha yüksek olması test puanlarının güvenilirliği için yeterli görülmektedir. Bu değerden düşük α değerleri anketin zayıf güvenilirliği olduğunu gösterirken, $\alpha > 0,7$ olması ise anketin yüksek güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir [123].

Cronbach Alpha (α) değeri aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_p^2} \right] \quad (3.1)$$

α cronbach alpha değerini, k ankette ilgili değişken için ifade sayısını, S_i ifadelerine ait varyansların toplamını S_p ise toplam varyans değerini göstermektedir. Değişkenlere ait faktör yükleri ve Cronbach Alpha değerleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Yapılan analizde test edebilirlik değişkenine ait üçüncü ifadenin (TR3) "Akıllı ev cihazlarını satın alıp kurmadan önce nasıl çalıştıklarını görmeme gerek yoktur." TR1 ve TR2 ifadelerine göre ters kodlandığı görülmüştür. Ölçekteki bu ters ifade SPSS üzerinde düzeltilmiştir. Keşfedici faktör analizi sonuçlarına göre düşük faktör yükü nedeniyle test edebilirlik, algılanan kontrol ve algılanan yenilikçilik değişkenlerine ait birer ifade analizden çıkartılmıştır.

Çizelge 3.3 incelendiğinde, 43 ifadeden geriye kalan 40 ifadenin öngörüldüğü gibi 13 faktör altında toplandığı görülmektedir. Ayrıca, güvenilirlik analizi sonuçlarına göre ölçeklerin Cronbach Alpha katsayısı değerleri 0,7'nin üzerindedir. Bu sonuçlar doğrultusunda ölçeklerin güvenilir ve geçerli bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Çizelge 3.3'e göre, mevcut modelin tutarlılığı ve güvenilirliği test edildiğinde Cronbach Alpha değerleri algılanan eğlence için 0,937, algılanan bağlanabilirlik için 0,936, test edebilirlik için 0,884, algılanan kontrol için 0,928, algılanan güvenilirlik için 0,921, algılanan güvenlik için 0,910, uyumluluk için 0,939, algılanan maliyet için 0,826, algılanan yenilikçilik için 0,743, algılanan kullanım kolaylığı için 0,908, algılanan fayda için 0,871, tutum için 0,882 ve kullanma niyeti için 0,922 olduğu görülmüştür.

Tüm model incelendiğinde, modelin Kaiser-Meyer-Olkin örnekleme yeterliliği ölçüm skorunun 0,923 olduğu gözlemlenmiştir. Bu skor, 382 kişiden oluşan örneklemin bir değerlendirme yapabilmek için uygun olduğunu ortaya koymaktadır. KMO, örneklemin analiz için yeterli olup olmadığını açıklamaktadır. KMO değeri 0 ile 1 arasında değer almaktadır ve değerin 1'e yakın olması örneklemin faktör analizine uygun olduğunu göstermektedir. KMO değerinin 0,6'dan büyük olması beklenmektedir.

Analiz sonuçları neticesinde bulunan algılanan eğlenceye, algılanan bağlanabilirliğe, algılanan güvenilirliğe, algılanan güvenliğe, uyumluluğa ve algılanan maliyete ilişkin faktör yükleri Şekil A.4'te gösterilmiştir.

Orijinal TAM içerisinde yer alan algılanan kullanım kolaylığı, algılanan fayda, tutum ve kullanım niyetine ilişkin faktör yükleri Şekil A.5 üzerinde gösterilmiştir.

0,45 faktör değerinin altında kalan TR3, CON1 ve CPI1 ifadeleri anketten çıkartılmıştır. Geriye kalan ifadelerin oluşturduğu algılanan kontrol, algılanan yenilikçilik ve test edebilirlik değişkenlerine ait faktör yükleri ise Şekil A.6'da gösterilmiştir.

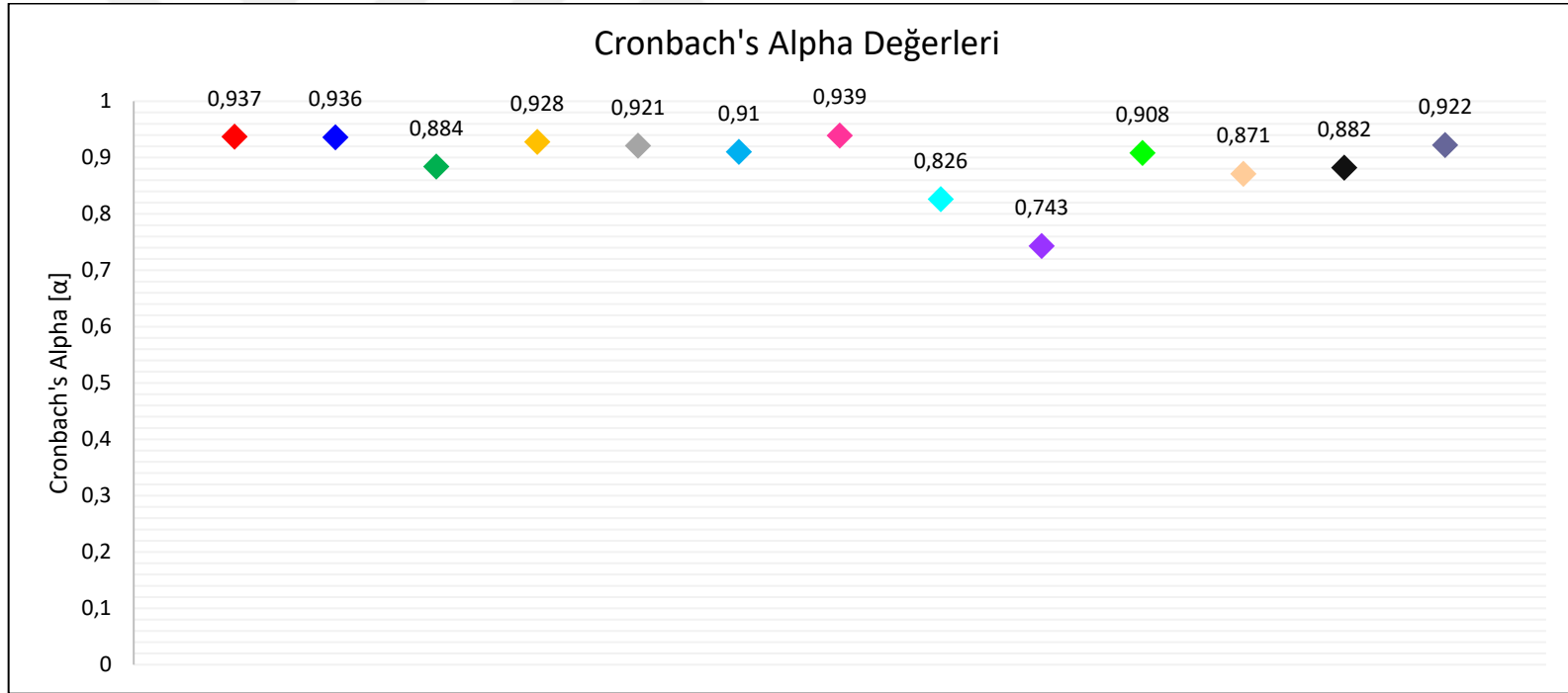
Her bir değişkene ait Cronbach Alpha (α) değerleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Güvenilirlik analizi ve keşfedici faktör analizi sonuçları.

Değişkenler	Maddeler	Ölçekler	Faktör Yükleri	Cronbach's Alpha
Algılanan Eğlence	E1	Akıllı ev sistemlerini kullanmak eğlencelidir.	,873	,937
	E2	Akıllı ev sistemlerini kullanmak ilgi çekicidir.	,902	
	E3	Akıllı ev sistemlerini kullanmak heyecan verici ve keyiflidir.	,883	
Algılanan Bağlanabilirlik	PC1	Akıllı ev sistemleri aracılığı ile cihazlarla/bileşenlerle etkileşim kurabildiğim için kendimi şanslı hissediyorum.	,775	,936
	PC2	Akıllı ev sistemlerine istediğim zaman erişebildiğim için kendimi iyi hissediyorum.	,807	
	PC3	Dünyanın herhangi bir yerinden ev ortamımla etkileşim kurmayı avantajlı buluyorum.	,749	
	PC4	Akıllı ev sistemlerine bağlı olmak istiyorum çünkü sistemin bileşenleri hakkında istediğim her türlü bilgiyi alabiliyorum.	,736	
Test Edebilirlik	TR1	Akıllı ev cihazlarını satın almadan önce denemek ve tecrübe etmek benim için önemlidir.	,914	,884
	TR2	Akıllı ev cihazlarını satın almadan önce onlar hakkında soru sormak benim için önemlidir.	,875	
Algılanan Kontrol	CON2	Akıllı ev sistemlerini kullanmak için yeterli bilgi ve yeterliğe sahibim.	,912	,928
	CON3	Akıllı ev sistemlerini ustalıkla kullanabilirim.	,893	
Algılanan Güvenilirlik	SR1	Akıllı ev sistemleri görevlerini/işlevlerini hızlı bir şekilde yerine getirir.	,721	,921
	SR2	Akıllı ev sistemleri hatasız ve güvenilirdir.	,760	
	SR3	Akıllı ev sistemleri isteklerime anında cevap vermektedir.	,760	
Algılanan Güvenlik	PS1	Akıllı ev sistemleri kişisel bilgilerim için güvenlidir.	,863	,910
	PS2	Akıllı ev sistemlerindeki kişisel bilgilerimin manipüle edilmeyeceğini düşünüyorum.	,891	
	PS3	Akıllı ev sistemlerinde depolanan bilgilerimin kimsenin göremeyeceğini ve kullanamayacağını düşünüyorum.	,904	
Uyumluluk	COM1	Akıllı ev sistemleri, akıllı telefonlar gibi mevcut akıllı donanımlar ile uyumlu olmalıdır.	,851	,939
	COM2	Akıllı ev sistemleri içinde yer alan cihazlar birbirleriyle uyum içerisinde çalışmalıdır.	,865	
	COM3	Farklı üreticilere ve servis sağlayıcılarına sahip cihazlar sistem içerisinde uyumsuzluk çıkartmamalıdır.	,874	
	COM4	Zaman geçtikçe çıkacak yeni teknolojili ürünler sisteme kolayca entegre edilebilmelidir.	,870	
Algılanan Maliyet	COS1	Akıllı ev sistemleri pahalıdır.	,788	,826
	COS2	Akıllı ev sistemlerini maddi olarak kolayca karşılayamam.	,883	
	COS3	Akıllı ev sistemlerini satın almak ve kullanmak benim için bir yüküdür.	,860	

Çizelge 3.3 (devam): Güvenilirlik analizi ve keşfedici faktör analizi sonuçları.

Değişkenler	Maddeler	Ölçekler	Faktör Yükleri	Cronbach's Alpha
Algılanan Yenilikçilik	CPI2	Akıllı ev uygulamaları ve ürünleri benim için tamamen yenidir.	,908	,743
	CPI3	Akıllı ev uygulamalarını ve ürünlerini ilk duyduğumda izlenimim 'vaov' idi.	,707	
Algılanan Kullanım Kolaylığı	PEOU1	Akıllı ev sistemleriyle etkileşimde olmak/bulunmak zihinsel bir çaba gerektirmez.	,874	,908
	PEOU2	Akıllı ev sistemlerinin nasıl kullanılacağı kolayca öğrenilebilir.	,768	
	PEOU3	Akıllı ev sistemlerini kullanmak benim için zor değildir.	,771	
	PEOU4	Akıllı ev sistemlerinin nasıl kullanıldığını kolayca hatırlayabilirim.	,772	
Algılanan Fayda	PU1	Akıllı ev sistemleri enerji tasarrufu sağlar.	,787	,871
	PU2	Akıllı sensörler, ev içerisinde oluşabilecek herhangi bir sorunu anında haber verir.	,773	
	PU3	Yaşlı, engelli veya kronik rahatsızlığa sahip, sürekli takibe ihtiyaç duyulan insanların ev ortamında daha özgür olmalarını sağlar.	,785	
	PU4	Akıllı ev sistemlerini kullanmak hayat kalitemi artırır.	,717	
Tutum	AT1	Akıllı ev sistemlerini kullanmak iyi bir fikirdir.	,799	,882
	AT2	Genel olarak akıllı ev sistemlerine karşı olumlu düşüncelerim vardır.	,910	
	AT3	Akıllı ev sistemlerini kullanmak akıllıca bir fikirdir.	,800	
Kullanma Niyeti	IU1	Başkalarına evlerinde akıllı ev sistemlerini kullanmalarını tavsiye ederim.	,773	,922
	IU2	Mümkün olduğunca akıllı ev sistemlerini kullanmayı düşünüyorum.	,763	
	IU3	Akıllı ev sistemlerini sürekli olarak kullanma ihtimalim vardır.	,785	



Şekil 3.5 : 13 değişkene ait Cronbach Alpha (α) değerleri.

Şekil 3.5 içerisinde yer alan değişkenler soldan sağa sırasıyla algılanan eğlence, algılanan bağlanabilirlik, test edebilirlik, algılanan kontrol, algılanan güvenilirlik, algılanan güvenlik, uyumluluk, algılanan maliyet, algılanan yenilikçilik, algılanan kullanım kolaylığı, algılanan fayda, tutum ve kullanma niyetidir.

3.1.8 Çok değişkenli regresyon analizi ve sonuçları

Bu kısımda değişkenlerin kendi aralarındaki ilişki durumlarının belirlenebilmesi için çok değişkenli regresyon analizi yapılmıştır. Bu analizle oluşturulan hipotezlerin geçerlilikleri ölçülmüş ve değişkenler arasındaki ilişkilerin doğrulanması sağlanmıştır. Çok değişkenli regresyon analizine ilişkin sonuçlar Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. Hipotez testlerine yönelik uygulanan çok değişkenli regresyon analizi için kullanılan formül aşağıda gösterilmiştir.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (3.2)$$

Denklemden k: bağımsız değişken sayısını, $\hat{Y}$: bağımlı değişkeni, $X_1 \dots X_k$: $\hat{Y}$ değişkeninin tahmininde kullanılan bağımsız değişkenleri, β_0 : regresyon sabitini, $\beta_1, \dots, \beta_k$: regresyon katsayılarını ve ε : hata terimini vermektedir ($Y - \hat{Y}$).

Güven düzeyinin belirlenebilmesi için hesaplanması gereken t değeri ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_A} + \frac{s_2^2}{n_A}}} \quad (3.3)$$

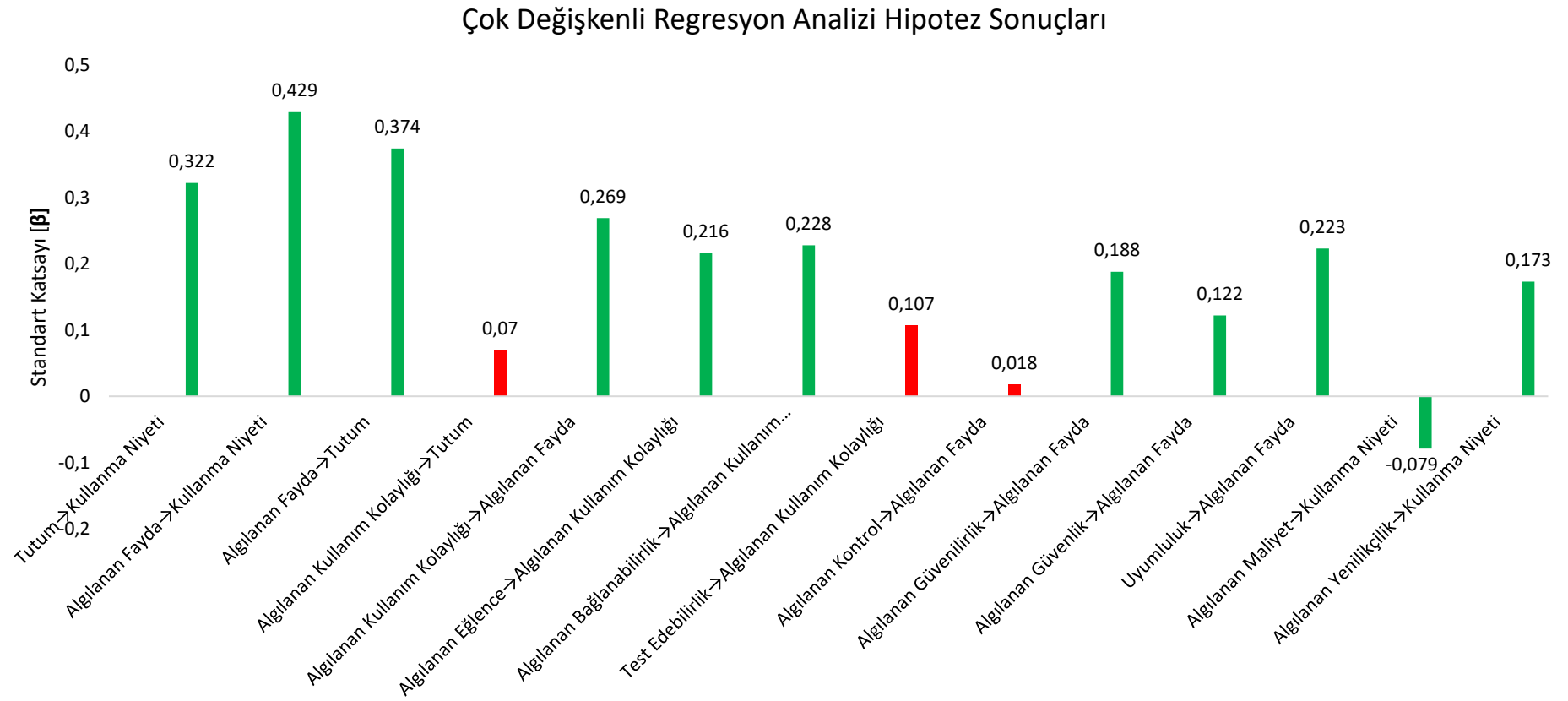
t: istatistik t değerini, x_1 ve x_2 sırasıyla bağımsız ve bağımlı değişkene ait ortalama değeri, n_A örneklem sayısını ve s_1 ve s_2 sırasıyla bağımsız ve bağımlı değişkene ait standart sapmayı göstermektedir.

Çok değişkenli regresyon analizi sonuçları Çizelge 3.4'te ve Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Bu çalışmada TAM'a dayalı akıllı evlerin benimsenmesine yönelik bir model geliştirilmiştir. Kullanılan faktörler akıllı evleri ve akıllı ev sistemlerini nasıl etkilediğini göstermektedir. Ayrıca akıllı evlerin benimsenmesini etkileyen faktörler ve bu faktörlerin etki seviyeleri incelenmiştir. Güven düzeyi olarak da bilenen güven aralığı %95 olarak seçilmiştir. Bu bağlamda oluşturulan 14 hipotez için güven aralığı %95'ten düşük olan hipotezler reddedilmiştir. Çok değişkenli regresyon analizi sonuçlarına göre çalışma kapsamında öne sürülen 14 hipotezden 3'ü reddedilirken 11'i kabul edilmiştir. Çok değişkenli regresyon analizi sonuçları ile oluşturulan hipotezlerin kabul ve ret durumları Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.6 üzerindeki yeşil ile gösterilenler hipotezin kabul edildiğini gösterirken, kırmızı ile gösterilenler hipotezin reddedildiğini göstermektedir.

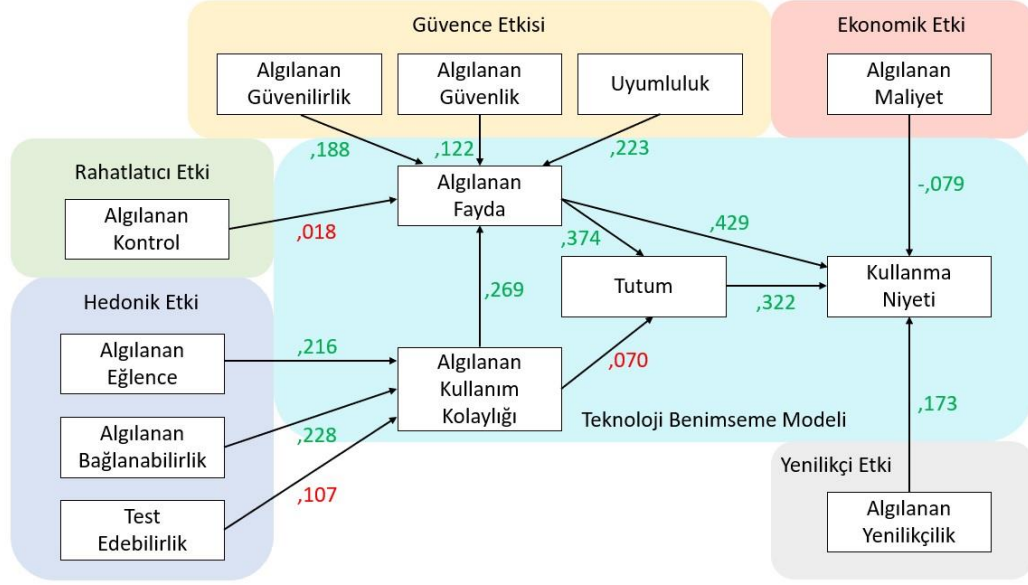
Çizelge 3.4 : Geliştirilmiş araştırma modeline ilişkin çok değişkenli regresyon analizi sonuçları.

Hipotez Numarası	Hipotezler	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standart Katsayılar	t	Önem Düzeyi (Significance Level) (p<0,05)	Sonuç
		β	Standart Hata	β			
H1	Tutum→Kullanma Niyeti	,287	,039	,322	7,288	<0,001	D
H2	Algılanan Fayda→Kullanma Niyeti	,526	,049	,429	10,658	<0,001	D
H3	Algılanan Fayda→Tutum	,514	,074	,374	6,916	<0,001	D
H4	Algılanan Kullanım Kolaylığı→Tutum	,083	,064	,070	1,301	0,194	R
H5	Algılanan Kullanım Kolaylığı→Algılanan Fayda	,232	,044	,269	5,270	<0,001	D
H6	Algılanan Eğlence→Algılanan Kullanım Kolaylığı	,219	,064	,216	3,445	0,001	D
H7	Algılanan Bağlanabilirlik→Algılanan Kullanım Kolaylığı	,203	,058	,228	3,525	<0,001	D
H8	Test Edebilirlik→Algılanan Kullanım Kolaylığı	,114	,058	,107	1,959	0,05	R
H9	Algılanan Kontrol→Algılanan Fayda	,014	,037	,018	,365	0,715	R
H10	Algılanan Güvenilirlik→Algılanan Fayda	,163	,050	,188	3,266	0,001	D
H11	Algılanan Güvenlik→Algılanan Fayda	,091	,034	,122	2,660	0,008	D
H12	Uyumluluk→Algılanan Fayda	,233	,054	,223	4,278	<0,001	D
H13	Algılanan Maliyet→Kullanma Niyeti	-,080	,038	-,079	-2,092	0,037	D
H14	Algılanan Yenilikçilik→Kullanma Niyeti	,159	,039	,173	4,090	<0,001	D

D: Desteklendi, R: Reddedildi



Şekil 3.6 : Çok değişkenli regresyon analizi sonuçları ve kabul ile ret durumları.



Şekil 3.7 : Çok değişkenli regresyon analizi sonuçları diyagramı.

Sonuçlar için, Çizelge 3.4 üzerinde de gösterilen standardize edilmiş katsayılardan faydalanılmıştır. Bağımlı bir değişken üzerinde daha fazla etkiye sahip olan bağımsız değişkenleri görmek için standardize edilmiş katsayılardan faydalanılır. Standardize edilmemiş katsayı, bağımsız değişkendeki bir birimlik değişimin bağımlı değişken üzerinde kaç birimlik değişime yol açtığını gösteren bir katsayıdır fakat; bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisi açısından bir karşılaştırma yapmamaktadır. Standardize edilmiş katsayı, bağımsız değişken üzerindeki bir birimlik standart sapma değişiminin bağımlı değişkende kaç birimlik standart sapma değişimine sebep olduğunu göstermektedir. Böylece bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisi değişkenlerin orijinal ölçü birimleriyle değil standart sapma türünden yorumlanmaktadır. Başka bir deyişle, bağımsız değişkendeki bir standart sapma değişikliğin bağımlı değişkende ne kadar değişiklik yapacağını söylemektedir.

Çok değişkenli regresyon analizi sonuçlarına göre tutum (H1, $\beta = 0.322$, $t = 7.288$, $p < 0.05$), algılanan fayda (H2, $\beta = 0.429$, $t = 10.658$, $p < 0.05$) ve algılanan yenilikçi (H14, $\beta = 0.173$, $t = 4.090$, $p < 0.05$) faktörleri kullanma niyeti üzerinde pozitif yönlü anlamlı bir etkiye sahiptir. Bununla birlikte algılanan maliyet (H13, $\beta = -0.079$, $t = -2.092$, $p < 0.05$) faktörü kullanma niyeti üzerinde negatif yönlü anlamlı bir etkiye sahiptir. Algılanan maliyet faktörünün bir teknolojiyi benimseme noktasında negatif etkiye sebep olduğu ortaya çıkmıştır.

Algılanan fayda (H3, $\beta = 0.374$, $t = 6.916$, $p < 0.05$) faktörü tutum üzerinde pozitif yönlü anlamlı bir etkiye sahiptir. Analiz sonucunda algılanan kullanım kolaylığı (H4, $\beta = 0.070$, $t = 1.301$, $p > 0.05$) faktörünün tutum üzerinde pozitif yönlü anlamlı bir etkiye sahip olmaması sebebiyle hipotez reddedilmiştir.

Algılanan kullanım kolaylığı (H5, $\beta = 0.269$, $t = 5.270$, $p < 0.05$), algılanan güvenilirlik (H10, $\beta = 0.188$, $t = 3.266$, $p < 0.05$), algılanan güvenlik (H11, $\beta = 0.122$, $t = 2.660$, $p < 0.05$) ve uyumluluk (H12, $\beta = 0.223$, $t = 4.278$, $p < 0.05$) faktörlerinin algılanan fayda üzerinde pozitif yönlü anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Buna rağmen algılanan kontrol (H9, $\beta = 0.018$, $t = 0.365$, $p > 0.05$) faktörünün algılanan fayda üzerinde pozitif yönlü anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmüş ve bu yüzden hipotez reddedilmiştir.

Algılanan eğlence (H6, $\beta = 0.216$, $t = 3.445$, $p < 0.05$) ve algılanan bağlanabilirlik (H7, $\beta = 0.228$, $t = 3.525$, $p < 0.05$) faktörlerinin algılanan kullanım kolaylığı üzerinde pozitif yönlü anlamlı bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun aksine, test edebilirlik (H8, $\beta = 0.107$, $t = 1.970$, $p > 0.051$) faktörünün algılanan kullanım kolaylığı üzerinde pozitif yönlü anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görüldüğü için hipotez reddedilmiştir.

Kabul edilen hipotezlere bakıldığında hangi değişkenlerin akıllı evleri benimseme noktasında daha önemli bir etkiye sahip olduğu Şekil 3.7'den görülebilmektedir. Orijinal TAM modeli değişkenleri dışındaki uyumluluk, algılanan eğlence ve algılanan bağlanabilirlik değişkenlerinin tutum ve kullanma niyetinin oluşmasında kuvvetli birer etkiye sahip oldukları görülmüştür. Bu durum, kullanıcıların akıllı ev sistemlerini kullanırken keyif almak istediklerini, farklı haberleşme protokollerine sahip cihazlarının birbiriyle uyum içerisinde çalışabilmesinin gerekli olduğunu ve herhangi bir sıkıntı olmadan akıllı cihazlarına bağlanabilmek istediklerini göstermektedir. Diğer bir bulgu algılanan yenilikçilik ve algılanan güvenilirlik değişkenlerinin tutum ve kullanma niyetinin oluşmasında orta derecede bir etkisi olduğudur. Bu durum hem akıllı ev sistemlerinin yeni teknolojileri barındırması sebebiyle kullanıcıları heyecanlandırıldığını hem de akıllı ev sistemlerinin ve teknolojilerinin kullanıcıların isteklerine hızlı bir cevap verdiğini ve güvenilir teknolojiler olduğunu göstermektedir. Algılanan maliyet ve algılanan güvenlik değişkenlerinin tutum ve kullanma niyeti üzerinde kayda değer etkileri olduğu gözükse de bu değişkenlerin büyüklüğünün diğer değişkenlerden daha az olduğu görülmektedir. Ankete katılan bireylerin çoğunluğunun 25 yaşından büyük olması,

büyük şehirlerde yaşaması ve standartın üzerinde bir gelire sahip olması nedeniyle maliyeti hesaba katmadan ilgili ürünleri, teknolojileri ve sistemleri satın alabilmeleri muhtemeldir. Bununla birlikte orijinal TAM değişkenleri içerisindeki algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan fayda değişkenlerinin literatürdeki birçok çalışmada olduğu gibi tutum ve kullanma niyetinin oluşmasında oldukça kuvvetli etkileri olduğu görülmektedir. Buna ek olarak orijinal TAM değişkenleri içerisinde algılanan faydanın; tutum ve niyet üzerinde en etkili yordayıcı/gösterge olduğu görülmektedir. Ayrıca kullanıcılar akıllı ev sistemlerinin kendilerine veya işlerine sağlayabileceği katkılar sebebiyle akıllı ev sistemlerini kullanmayı düşünebileceği yorumu yapılabilir. Algılanan kontrol ve test edebilirlik değişkenlerinin ise akıllı ev sistemlerinin benimsenmesinde kayda değer bir etkisi olmadığı görülmüştür. Literatürdeki birçok çalışmada olduğu gibi algılanan fayda değişkeninin bu çalışma için de en etkili değişken olduğu görülmüştür. Ayrıca, literatürdeki çalışmaların aksine bu çalışmada algılanan güvenlik değişkeninin algılanan fayda üzerinde pozitif yönlü anlamlı bir etkisi olduğu görülmüştür.

Buna ek olarak literatürdeki birçok çalışmada algılanan kullanım kolaylığı ile algılanan tutum arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki bulunmasına rağmen bu çalışmada aralarında bir ilişki bulunmamıştır. Reddedilen hipotezler Türkiye'deki popülasyonu değil yalnızca bu araştırmaya katılan bireyleri temsil etmektedir.

Bu çalışmada 2 temel araştırma kısıtı bulunmaktadır. İlki kolayda örnekleme tercih edildiğinden dolayı örneklem kümesinin sınırlı bir kısmına ulaşılmıştır. İkincisi ise akıllı evler ve akıllı ev teknolojileri temelinde mühendislik tabanlı araştırma alanlarıdır. Bu sebeple mesleki farklılıklar araştırma sonucunu değiştirecektir. Ankete katılan bireylerin büyük bir çoğunluğunun mühendis olması sebebiyle çalışma, mühendislik eğitimi alan ve mühendis unvanını almış bireylerle sınırlandırılmıştır.

3.2 Aydınlatma Sistemlerinde Harmonik ve Termal Analiz

Akıllı evlerde ya da binalarda kullanılan cihazlarından biri de akıllı aydınlatma sistemleri içerisinde bulunan ve kullanımı gittikçe artan akıllı LED lambalardır. Tezin bu bölümünde halihazırda aydınlatma kaynakları olarak kullanılan halojen, CFL, LED ve akıllı LED lambalar termal ve harmonik yönden birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Aydınlatmadan kaynaklı elektrik tüketimi dünyadaki toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %15'ini oluşturmaktadır. Bununla birlikte Avrupa Birliği ülkeleri için yapılan araştırmaya göre ise toplam elektrik tüketiminin %14,1'ini oluşturmaktadır [124], [125]. İngiltere'de konut aydınlatması üzerine yapılan araştırmalara göre, 2014 yılında meskenlerde kullanılan lambaların %55'ini LED lambalar oluşturmaktayken, yüzde 40'ını halojen lambalar oluşturmaktadır [125]. Buna ek olarak, LED lambalar akkor flamanlı lambalara göre enerji tüketiminde %75-80 tasarruf sağlamaktadır [126]. Dünya çapında hükümetler, genel aydınlatma tüketimi konusunda enerji tasarrufunu teşvik etmek için önlemler almakta ve direktifler ile düzenlemeler getirmektedir. Bu yönetmelikler ve direktifler, genel aydınlatma için akkor lambaların üretimini, ithalatını veya satışını yasaklamakta ve bu lambaların LED veya CFL gibi verimli lambalarla değiştirilmesini teşvik etmektedir. Akkor lambaların üretimini, ithalatını ve satışını yasaklayan bu yönetmelikler ve girişimler, LED ve CFL lambalar gibi enerji tasarruflu lambalar tarafından çekilen akımın kalitesini sorgulamaya başlamıştır [127]. Aynı ışık akısına sahip enerji tasarruflu lambaların akkor flamanlı lambalarla karşılaştırıldığında daha az aktif güç tüketmesine rağmen, doğrusal olmayan karakteristikleri nedeniyle yüksek oranda harmonik akım üretmekte ve şebekeye bu harmonik akımları enjekte etmektedir [128]. Tek bir CFL veya LED lambanın harmonik açıdan bir sıkıntı yaratmayacağı bilinse de tek bir yerde çok sayıda LED ve CFL lamba önemli güç kalitesi sorunlarına yol açabilmektedir. Diğer bir deyişle, tek fazlı elektronik yüklerin ürettiği harmonik akımlar güç kalitesi açısından kritik bozulmaya yol açmasa da, elektronik yüklerin sayısının artmasına bağlı olarak problemler ortaya çıkmaktadır [129]. Çok sayıda harmonik üreten yükler birlikte düşünüldüğünde, ortaya çıkan harmonik akım, yüklerin bireysel harmonik akımlarının bir toplamı değildir. Böyle bir durumda, çok sayıda doğrusal olmayan yükün ortaya çıkardığı toplam harmonik akımı etikileyen iki azaltıcı faktör bulunmaktadır. Çok sayıdaki tek fazlı doğrusal olmayan yüklerin şebekeye enjekte ettiği net harmonik

akımlar sönümlleme (attenuation) ve çeşitlilik (diversity) faktöründen etkilenmektedir [130]. Doğrusal olmayan yükler tarafından üretilen aynı dereceli harmonikler arasındaki faz açısı dağılımı, “cancellation effect” olarak da bilinen çeşitlilik faktörüne sebep olur. Farklı topolojilere sahip çok sayıdaki lamba çeşitli akım harmonik faz açılarına yol açabilir. Bu sebeple harmonik akımların aritmetik toplamından daha düşük bir vektör toplamı oluşmaktadır [131], [132], [133]. Çeşitlilik faktörü aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$DF_h = \frac{\text{Vector sum of current harmonic (as measured)}}{\text{Algebraic sum of current harmonic (as calculated)}} \quad (3.4)$$

$$DF_h = \left| \sum_{i=1}^N I_h^n / \sum_{i=1}^N |I_h^n| \right| \quad (3.5)$$

Çeşitlilik faktörü DF_h akım harmoniklerinin vektörel toplamının, akım harmoniklerinin cebirsel toplamına bölünmesiyle bulunmaktadır. Bununla birlikte $I_h^n = |I_h^n| \angle \theta_h^n$ şeklinde ifade edilmektedir ve denklem n'inci yük tarafından enjekte edilen h mertebesindeki harmonik akımı, θ_h^n karşılık gelen harmonik açıyı ve N doğrusal olmayan yüklerin toplam sayısını göstermektedir.

Çeşitlilik faktörü 0 ile 1 arasında değişmektedir. Çeşitlilik faktörünün 0 olması mükemmel yok etme (perfect cancellation) etkisini gösterirken çeşitlilik faktörünün 1 olması yok etme etkisinin olmadığını (no cancellation) göstermektedir. Çok sayıdaki CFL ve LED lambanın güç kalitesi üzerindeki etkisini inceleyebilmek için çeşitlilik faktörünün bilinmesi önemlidir. Sönümlleme etkisinin veya çeşitlilik faktörünün ihmal edilmesi, mevcut harmonik bozulma seviyeleri için yanlış sonuçlara yol açabilmektedir [134], [135]. Hem sönümlleme hem de çeşitlilik faktörleri, yükler tarafından üretilen harmonik akımları azaltma eğilimindedir. Bu durum sistemdeki harmonik bozulma seviyelerinde bir azalmaya sebep olmaktadır.

3.2.1 Aydınlatma sistemlerinin harmonik analizi ve sonuçları

Doğrusal olmayan yükler arasında bulunan CFL ve LED lambalar akkor lambalara göre enerji verimlilikleri sayesinde meskenlerde daha yaygın kullanılmaktadırlar. CFL ve LED lambaların çalışma prensipleri farklı olsa da ikisi de güç kaynağına ihtiyaç duyarlar; fakat doğrusal olmayan yükler olmaları sebebiyle harmonik akım üretirler ve şebekeyi olumsuz etkilerler. Doğrusal olmayan yükler içerisinde bulunan CFL ve LED

lambalar oldukça sinüs formundan uzaklaşmış akım üretir. Bu sebeple CFL ve LED lambaların içinde bulundukları sistemin güç kalitesine olan etkileri incelenmelidir. CFL ve LED lambaların güç kalitesi üzerindeki etkileri ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır.

[136]'da farklı tipteki lambaların harmonik etkileri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. LED lambaların tekil olarak farklı türdeki lambalara göre şebekeyi daha fazla olumsuz etkilediği ve şebekeye daha fazla harmonik akım enjekte ettiği gözlemlenmiştir. [137] 'de bina aydınlatma sistemlerinde kullanılan LED'lerin güç kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, harici sürücülü LED'lerin harmonik bozulmaya neden olduğunu ve harmonik filtre içeren LED'lerin C ve D sınıfı için standartta belirtilen harmonik değerin altına düşürdüğünü göstermiştir. [138]'de farklı türdeki armatürlerin harmonik bozulmaları test edilmiştir. CFL ve LED'lerin çalıştırılması için gerekli olan balast ve dönüştürücü gibi yardımcı elemanların harmonik akım ürettikleri görülmüştür. [139]'da akkor lambaların kısmen veya tamamen CFL ve LED lambalar ile değiştirilmesiyle ilgili farklı senaryolar oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, akkor lambalar gibi rezistif bir yük ile elektronik bir yük birlikte kullanıldığında THD ve güç faktörünün iyileşeceği açıklanmıştır. LED ve CFL birlikte kullanıldığında THD değerinin maksimum olup harcanan gücün daha az olacağı; akkor lamba, CFL ve LED lambalar birlikte kullanıldığında ise THD değerinin azaldığı fakat tüketilen aktif gücün arttığı gözlemlenmiştir. [140]'da harmonik analiz için CFL ve LED lambaların modellenmesi ve benzetimi yapılmıştır. Ayrıca lambaların benzetim sonuçlarının doğrulanması amacıyla laboratuvar testleri uygulanmıştır. Laboratuvar test sonuçları, benzetim sonuçlarının doğruluğunu yaklaşık %56 oranında doğrulamıştır ve diğer çalışmaların aksine CFL lambaların LED lambalardan daha fazla harmonik bozulmaya sebep olduğu sonucunu çıkartmışlardır. [141]'de lambaların harmonik bozulmalarını test etmek amacıyla 3 LED lamba kullanılmıştır. Daha sonra LED lambalar, BS EN IEC 61000-3-2:2014 standardı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, test edilen bazı LED lambaların standartta gösterilen limitleri aşmadığını göstermiştir.

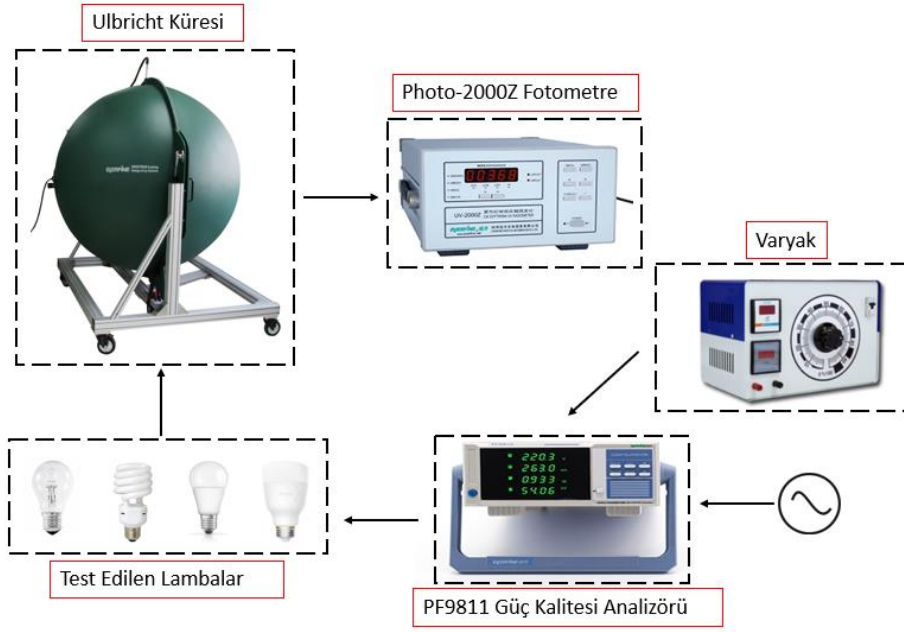
Yukarıda atıfta bulunan çalışmalarda, lambalar genellikle ayrı ayrı incelenmiştir. Buna ek olarak, bu çalışmaların çoğu lambaların performansını arttırmaya odaklanmıştır. Çok sayıdaki lambanın birlikte kullanıldığında şebekeye ne tür etkilerinin olduğu konusunda yapılan çalışmalar oldukça azdır. Bu tür etkilerin

incelenebilmesi için çeşitlilik faktörü göz önünde bulundurulmalıdır. Çeşitlilik faktörünü göz önüne alan çalışmalar aşağıda belirtilmiştir. [142]'de CFL ve LED lambalar gibi farklı türdeki lambalar ile farklı elektrikli ev cihazları birlikte değerlendirilmiştir. Farklı türdeki lambalarla aynı anda bağlanan farklı elektrikli ev cihazları dikkate alınmıştır. [131]'de farklı türdeki doğrusal olmayan yükler için sönümleme ve çeşitlilik faktörünün etkisi incelenmiştir. [127]'de enerji tasarruflu düşük güç tüketimine sahip LED lambaların güç kalitesine olan performansları incelenmiştir. Farklı balast tiplerine sahip LED lambaların birlikte kullanılmasıyla harmonik üretiminin değiştiği ve çeşitlilik faktörünün azaldığı sonucuna varılmıştır. [128]'de LED lambaların CFL lambalar ile birlikte kullanılması halinde çeşitlilik faktörünün değişimi analiz edilmiştir. Ölçümlerden elde edilen sonuçlar, CFL ve LED lambalar birlikte kullanıldığında yüksek dereceli harmoniklerin miktarını önemli ölçüde azaltabildiği, düşük dereceli harmoniklerin ise kayda değer bir azalma göstermediğini ortaya koymuştur. [143]'te CFL ve LED lambaların harmonik analizi yapılmış ve termal özellikleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, LED lambaların ayrı ayrı değerlendirildiğinde daha fazla harmonik ürettiğini, grup olarak değerlendirildiğinde çeşitlilik faktörünün etkisiyle daha az harmonik ürettiğini göstermiştir. Bunun yanında sonuçlar, LED lambaların CFL lambaları ile birlikte kullanıldığında çeşitlilik faktörünü iyileştirdiğini göstermiştir.

3.2.2 Deney düzeneği ve test edilen lambaların termal-harmonik analizi

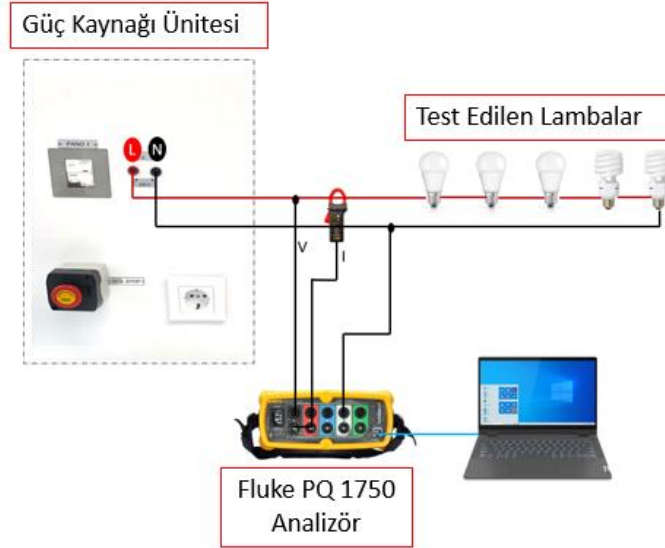
Üretilen harmonikler açısından lambaların güç kalitesi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi için armatür terminallerindeki akım ve gerilim dalga formlarının ölçümlerine dayanan deneysel bir kurulum gerçekleştirilmiştir. Lamba karakteristikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Aydınlatma ve İç Tesisat Laboratuvarı'nda bulunan PF9811 güç analizörü, 1m çapındaki Labsphere markalı Ulbricht küre ve Foto-2000Z fotometre ile ölçülmüştür.

Laboratuvarda lambaların özelliklerinin ölçülmesinde kullanılan ekipmanlar Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Lambaların karakteristik ölçümleri için kullanılan ekipmanlar.

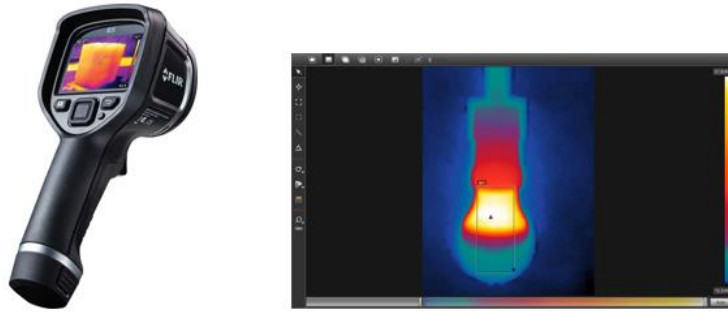
Lambaların güç kalitesini ve harmonik analizini incelemek için Fluke PQ 1750 güç analizörü kullanılmıştır. Halojen, CFL, LED ve akıllı LED lambalar için oluşturulan deney düzeneği Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Harmonik ölçümler için oluşturulan deney düzeneğinin şematik diyagramı.

Lambaların termal özelliklerini test edebilmek amacıyla FLIR E5XT termal kamera kullanılmıştır. Buna ek olarak çekilen fotoğrafların düzenlenmesi ve raporlanması amacıyla FLIR Tools yazılımından faydalanılmıştır. Termal ölçümler için kullanılan

termal görüntüleme kamerası ve FLIR Tools yazılımının ara yüzü Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Termal görüntüleme kamerası ve FLIR Tools arayüzü.

Lambaların karakteristik özelliklerini test etmek için çalışmada E27 duya sahip 15 farklı lamba kullanılmıştır. Test edilen lambaların elektriksel ölçümleri ve katalog değerleri Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Güç kalitesi ve harmonik analiz için seçilen tüm lambalar 220-240 V gerilim değerinde ve 50 Hz'de çalışmaktadır.

Çalışmada kullanılan lambaların markaları tablonun ilk sütununda gösterilmiştir. Ayrıca markaların altında ne tür lamba olduğu parantez içerisinde belirtilmiştir. Çalışmada halojen, CFL, LED ve akıllı LED olmak üzere 4 farklı tür lamba kullanılmıştır. Çizelge 3.5'e göre her bir lambanın nominal güç değerleri ile laboratuvar ortamında ölçülen değerlerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Lambalar arasında karşılaştırma yapıldığında en fazla güç tüketimine halojen lambaların sebep olduğu en az güç tüketimine ise LED lambaların sebep olduğu görülmektedir. Xiaomi Yeelight akıllı LED lamba, Wi-Fi modülü sebebiyle LED lambalar içerisinde en fazla güç tüketimine sahip lamba olduğu görülmüştür. Halojen lambalar rezistif yük oldukları için güç faktörü değeri bire eşittir. Bununla birlikte doğrusal olmayan özelliklerinden dolayı CFL ve LED lambalar sırasıyla ortalama 0,623 ve 0,565 değerlerinde güç faktörüne sahiptirler. LED lambalar en az güç tüketimine sahip lambalar olmalarına rağmen en düşük güç faktörü değerine de sahip lambalardır. Xiaomi Yeelight akıllı LED lamba, LED lambalar içerisinde en fazla güç tüketimine sahip olmasına rağmen daha iyi bir güç faktörü değeri sunmaktadır.

Çizelge 3.5 : Test edilen lambaların elektriksel ölçümleri ve katalog parametreleri.

Lambalar	Nominal Güç [W]	Ölçülen Güç [W]	Güç Faktörü [PF]	Lamba Ömrü [Saat]	Renk Sıcaklığı [K]
Diall (Halojen)	46	48,56	1	2000	2800
Maxin (Halojen)	70	73,71	1	2000	2800
Philips (CFL)	12	10,87	0,629	6000	2700
Philips (CFL)	12	10,98	0,632	6000	6500
GE (CFL)	15	13,54	0,614	10000	2700
Philips (CFL)	20	20,02	0,625	10000	2700
Inflame (CFL)	20	22,01	0,634	6000	6400
Philips (LED)	4	3,96	0,54	10000	6500
Pal (LED)	5	4,86	0,57	25000	3000
Philips (LED)	5,5	5,54	0,562	15000	6500
Philips (LED)	6	5,86	0,564	15000	2700
Philips (LED)	6	5,95	0,558	15000	6500
Osram (LED)	8,5	8,41	0,921	25000	2700
Osram (LED)	9	9,41	0,581	10000	6500
Xiaomi Yeelight (Akıllı LED)	10	9,65	0,847	25000	1700- 6500

Renk sıcaklığı, ışık kaynağının yaydığı görünür ışığın sahip olduğu ışık rengini belirtmektedir. Renk sıcaklığının birimi Kelvin'dir. Kelvin birimiyle kullanılan renk sıcaklığı değeri küçüldükçe ışık rengi turuncuya, büyüldükçe maviye yaklaşmaktadır. 2700-3000 K aralığındaki renk sıcaklıkları sıcak beyaz olarak adlandırılırken, 5000 K ve üzeri renk sıcaklıkları soğuk beyaz olarak adlandırılmaktadır. Sıcak beyaz ve soğuk beyaz arasındaki renk sıcaklıkları ise doğal beyaz olarak adlandırılır.

Çizelge 3.5 incelendiğinde, renk sıcaklıklarının güç tüketimi veya güç faktörü üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

3.2.2.1 Lambaların tekli harmonik analizi ve sonuçları

Bu bölümde, test edilen her bir lambanın harmonik içeriğine ilişkin analizler ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her bir lambanın 3., 5., 7., 9. harmonik bileşenleri ile akımın toplam harmonik bozunumu (THD_I) Çizelge 3.7’de gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları, lambaların rejime girmesinden sonra alınmıştır. Rejim süresi 15 dakika olarak belirlenmiştir. Lambanın çıkış kararlılığı, ölçüm doğruluğunu ve güvenilirliğini etkilediği için önemli bir parametredir. Özellikle CFL ve LED lambalar bir anda kararlı bir yapıya ulaşamamaktadır [144]. Çizelge 3.7’deki veriler dikkate alındığında, rezistif özelliğe sahip halojen lambaların en düşük THD_I değerine sahip olduğu, Xiaomi Yeelight akıllı LED lamba ve Osram 8,5 W LED lamba dışındaki diğer LED lambaların ise en yüksek THD_I değerine sahip olduğu görülmektedir. LED lambaların daha fazla harmonik ürettiği ve şebekeyi daha çok olumsuz etkilediği yüksek THD_I değerlerinden görülmektedir. Xiaomi Yeelight akıllı LED lamba ve Osram 8,5 W LED lamba harmonik filtreye sahip oldukları için yüksek güç faktörü değeri ve düşük THD_I değerine sahiptir. LED lambaların THD_I değerleri %121-%149 arasında değişmektedir. LED lambalar CFL ve halojen lambalara kıyasla daha düşük güç tüketimine sahip olsa da yüksek miktarda harmonik üretimine sebep olmaktadır. BS EN IEC 61000-3-2:2019 standardına göre 25 W’a eşit veya daha küçük bir aktif giriş gücüne sahip aydınlatma donanımı için aşağıda belirtilen 2 şarttan en az birini sağlanmalıdır [125].

- Ana bileşen akımın bir yüzdesi olarak ifade edilen üçüncü harmonik akım %86’yı ve beşinci harmonik akım %61’i geçmemelidir.
- Harmonik akımlar Çizelge 3.6’daki 2.sütunda ifade edilen en büyük harmonik akım değerini aşmamalıdır.

Çizelge 3.6 : C sınıfı donanımlar için harmonik sınır değerleri.

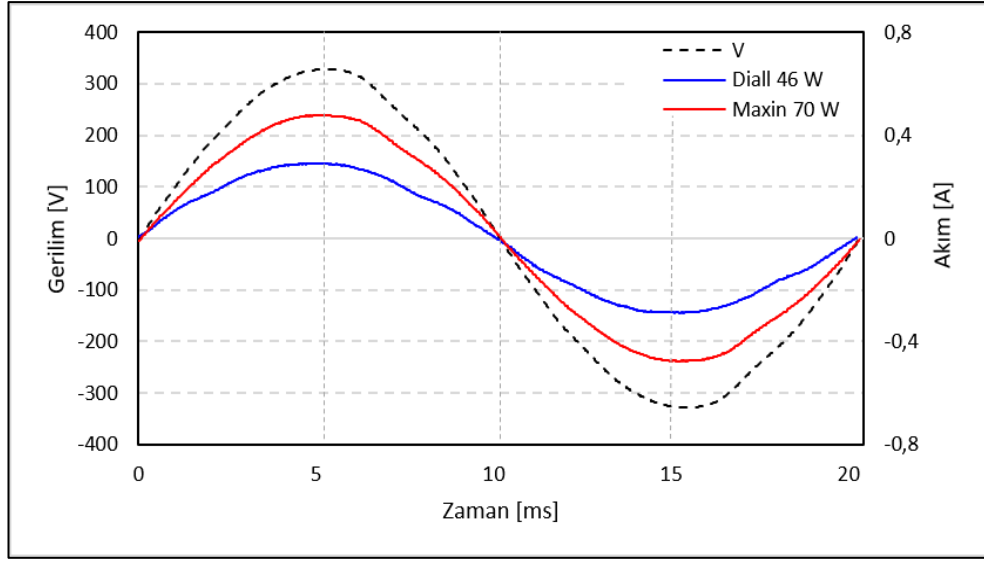
Harmonik Derecesi (n)	İzin Verilen Maksimum Harmonik Akımı (%)
2	2
3	30 x (güç faktörü)
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$	3

Harmonik filtreye sahip olmayan LED lambaların, BS EN IEC 61000-3-2:2019 standardında belirtilen harmonik sınırları aştığı görülmektedir.

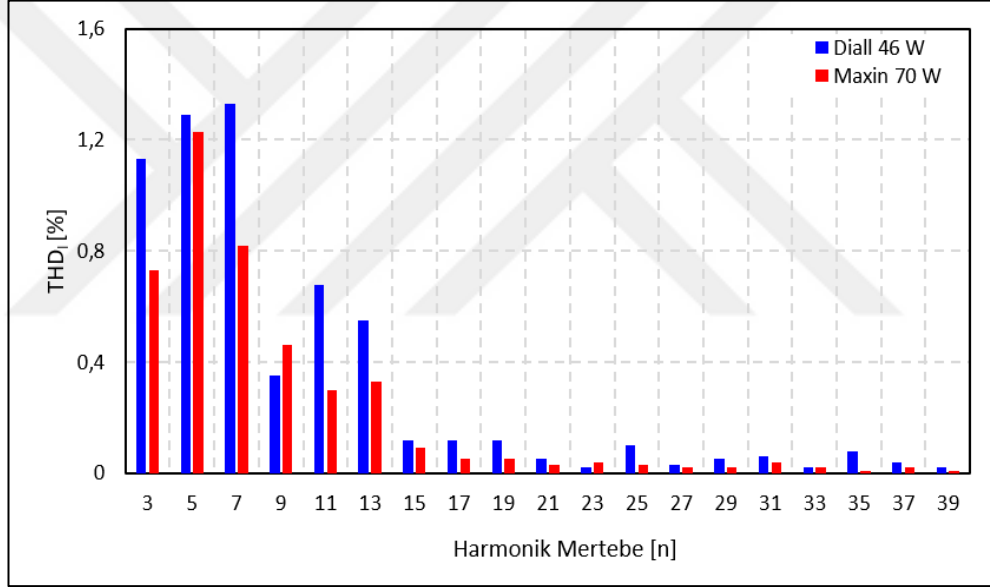
Çizelge 3.7 : Test edilen ambaların harmonik analizi ölçüm değerleri.

Test Edilen Lambalar	Temel Bileşen	Akım Harmonik Bileşenleri [%]				
		3	5	7	9	THD _i
Diall 46W (Halojen)	100	1,13	1,29	1,33	0,35	1,8
Maxin 70W (Halojen)	100	0,73	1,23	0,82	0,46	1,7
Philips 12W 2700 K (CFL)	100	81	52,43	29,56	23,03	104,3
Philips 12W 6500 K (CFL)	100	80,71	51,57	28,74	23,21	104,4
GE 15W (CFL)	100	77,56	48,49	29,09	25,45	104,8
Philips 20W (CFL)	100	80,37	51,02	28,49	23,24	103,4
Inflame 20W (CFL)	100	79,11	48,56	26,63	22,62	101,5
Philips 4W (LED)	100	91,66	76,92	56,18	40,94	149,7
Pal 5W (LED)	100	90,19	72,67	52	33,37	133,3
Philips 5,5W (LED)	100	90,05	72,36	51,77	34,61	135
Philips 6W 2700 K (LED)	100	91,56	76,22	57,55	40,22	135,7
Philips 6W 6500 K (LED)	100	91,27	75,48	56,59	39,27	139,2
Osram 8,5W (LED)	100	21,91	8,41	2,41	4,73	26,2
Osram 9W (LED)	100	84,23	59,69	39,29	31,57	121,6
Xioami 10W (Akıllı LED)	100	29,69	14,98	2,26	5,39	34,2

Her bir halojen lambanın akım dalga formu ve harmonik spektrumu sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



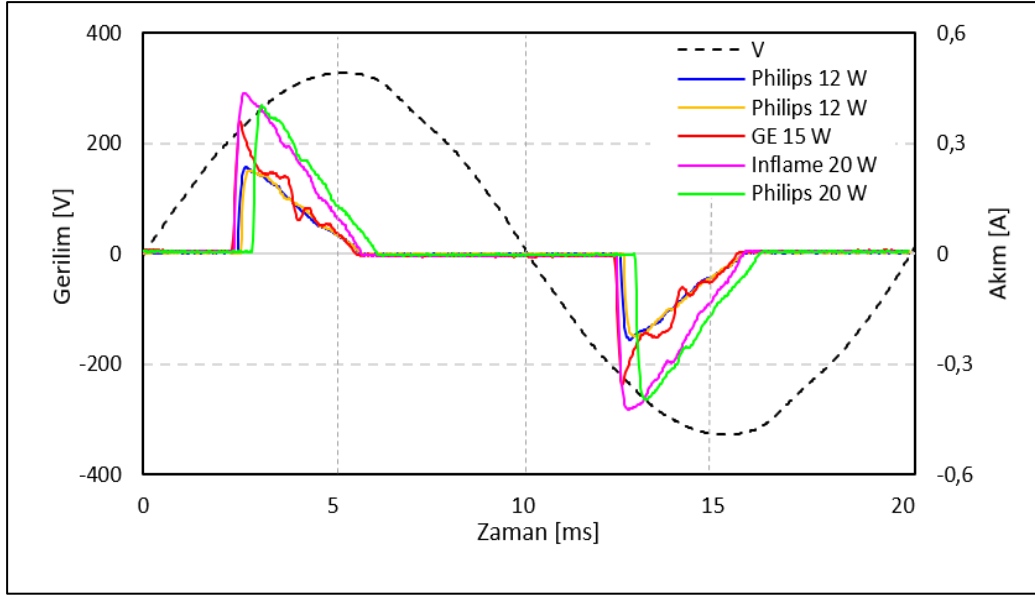
Şekil 3.11 : Halojen lambaların akım ve gerilim dalga formları.



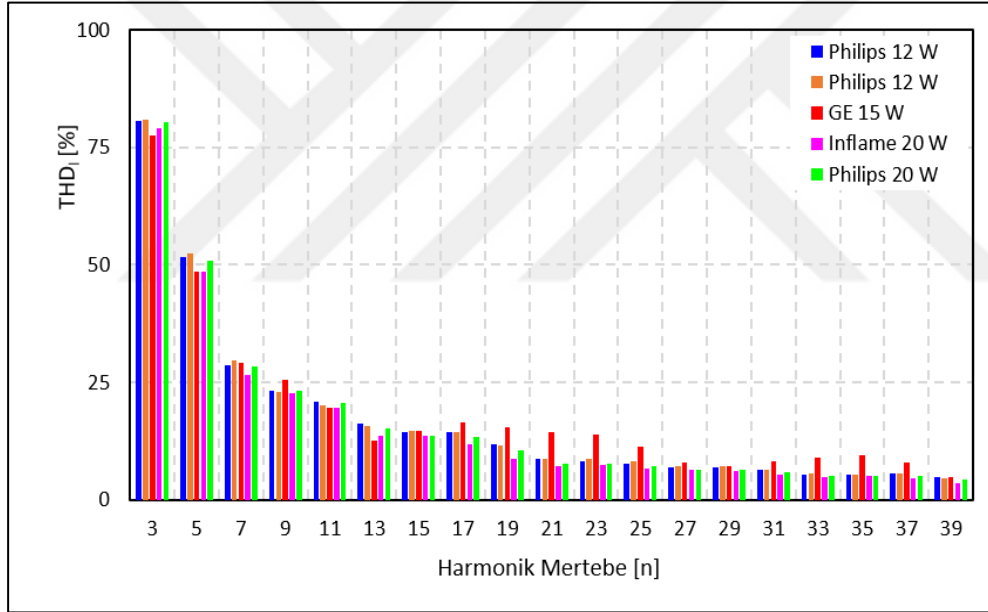
Şekil 3.12 : Halojen lambaların harmonik bileşenleri.

Şekil 3.11 incelendiğinde her bir halojen lambanın büyük ölçüde sinüzoidal dalga formuna sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca Çizelge 3.5'te gösterildiği gibi güç faktörü değerleri de rezistif olduklarından dolayı 1'dir. Halojen lambaların düşük seviyede harmonik ürettiği Şekil 3.12'de açıkça görülmektedir. Buna ek olarak BS EN IEC 61000-3-2:2019 tarafından önerilen sınır değerlerini de aşmadığı görülmektedir.

Her bir CFL lambaya ait akım dalga formu ve harmonik spektrumu sırasıyla Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : CFL lambaların akım ve gerilim dalga formları.



Şekil 3.14 : CFL lambaların harmonik bileşenleri.

Bu kısımda aynı nominal güce fakat farklı renk sıcaklığına sahip aynı markalı CFL lambalar (Philips 12W-2700 K ve Philips 12W-6500 K), aynı markalı farklı nominal güce sahip CFL lambalar (Philips 12W ve Philips 20W), aynı nominal güce sahip farklı markalı CFL lambalar (In flame 20W ve Philips 20W) ve farklı nominal güce sahip farklı markalı CFL lambalar (Philips 12W, Ge 15W ve In flame 20W) test edilmiştir.

Şekil 3.13 incelendiğinde CFL lambalar için akım dalga formlarının sinüzoidal dalga formundan uzaklaştığı, gerilim dalga formunun ise neredeyse sinüzoidal olduğu görülmektedir.

Philips 12W-2700K ve Philips 12W-6500K karşılaştırıldığında, her iki lambanın akım dalga formlarının hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, Çizelge 3.7'de gösterilen THD_I değerlerinin ve Şekil 3.16'da gösterilen harmonik akım spektrumunun da hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Farklı renk sıcaklıklarının aynı güç derecesine sahip aynı markalı lambalar için güç kalitesi ve harmonik analizi üzerinde bir etkisi olmadığı sonucuna varılabilir.

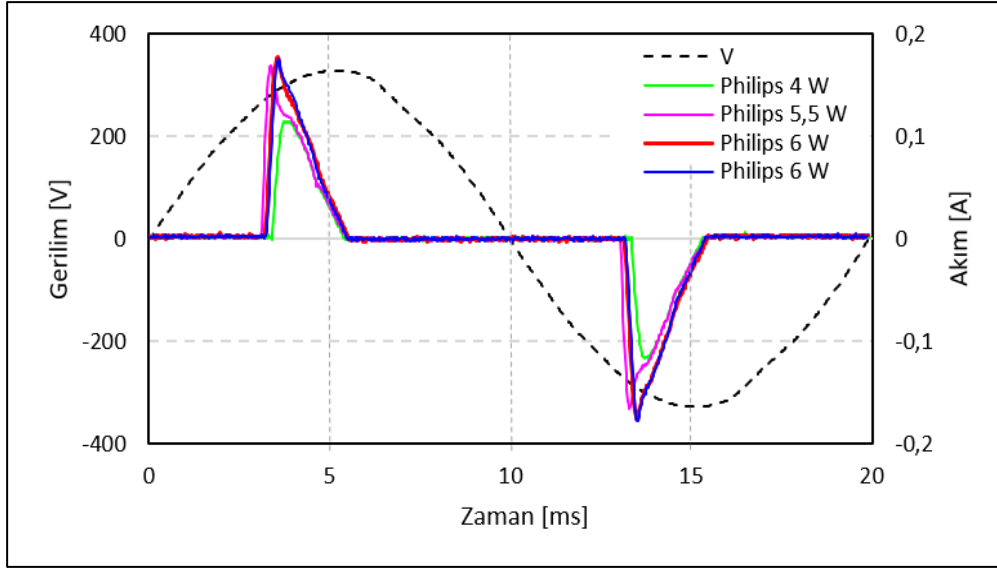
Philips 12W ve Philips 20W karşılaştırıldığında her iki CFL lambanın da farklı nominal güce sahip olmalarına rağmen benzer akım dalga formuna sahip olduğu görülmektedir. Şekil 3.13'e göre Philips-12W lambanın Philips-20W lambaya göre daha düşük akım çektiği görülmektedir. Farklı nominal güç değerine sahip lambalar aynı balast devresini kullanıyorsa benzer dalga formu özelliklerine sahip olduğu sonucuna varılabilir. Buna ek olarak her iki lambanın harmonik akım spektrumunun da hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.

Inflame 20W ve Philips 20W karşılaştırıldığında, her iki lambanın da benzer akım dalga formuna sahip olmasına rağmen çektikleri maksimum akımın farklı olduğu görülmektedir. THD_I değerleri de Inflame 20W için %101,5 iken Philips 20W için %103,4 değerindedir. Ayrıca harmonik akım spektrumları incelendiğinde Inflame 20W lambanın Philips 20W lambaya kıyasla daha düşük bir harmonik bozulmaya sebep olduğu görülmektedir.

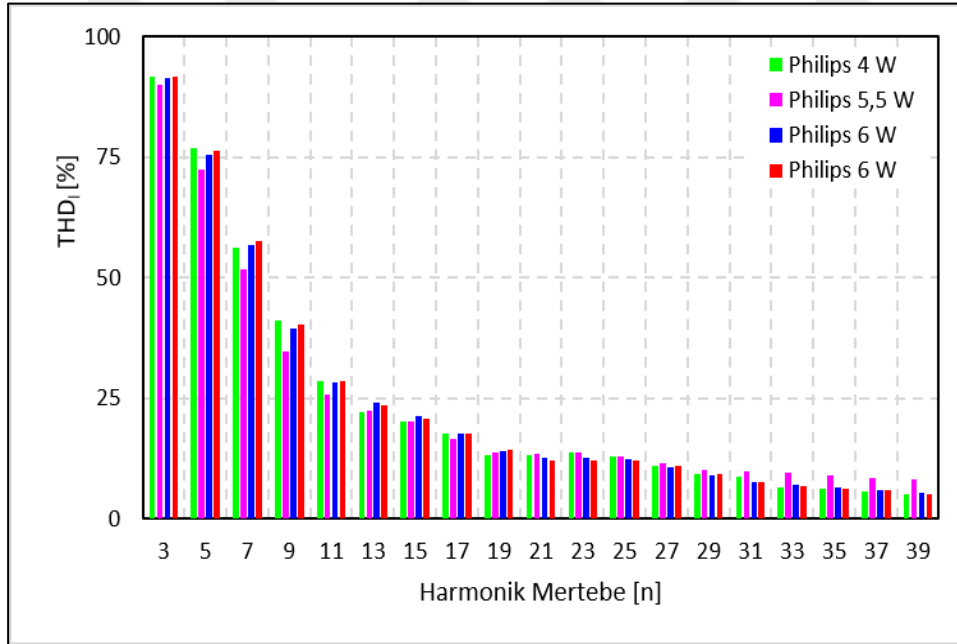
Şekil 3.14'e göre GE 15W nominal güce sahip lambanın 15. harmonik bileşenden sonra arttığı görülmektedir. GE dışındaki tüm CFL lambalarda harmonik bileşen değerleri gittikçe azalmaktadır. Diğer bir deyişle, GE 15W CFL lambası hariç tüm CFL lambalar için harmonik bileşen numarası arttıkça THD_I değerinin azaldığı görülmektedir.

CFL lambalara ait THD_I değerleri %101,5-%104,8 arasında değişmektedir. Test edilen CFL lambaların BS EN IEC 61000-3-2:2019 standardındaki izin verilen harmonik sınır değerlerini aştığı gözlemlenmiştir.

Farklı nominal güç değerlerine sahip aynı markalı LED lambaların akım dalga formu ve harmonik spektrumu sırasıyla Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : Aynı markaya ait LED lambaların akım ve gerilim dalga formları.



Şekil 3.16 : Aynı markaya ait LED lambaların harmonik bileşenleri.

Bu kısımda aynı nominal güç değerine fakat farklı renk sıcaklıklarına sahip aynı markalı LED lambalar (Philips 6W-2700 K ve Philips 6W-6500K) ile farklı nominal güç değerlerine sahip aynı markalı LED lambalar (Philips 4W, Philips 5W ve Philips 6W) test edilmiştir.

Şekil 3.15'e göre tüm LED lambaların akım dalga formlarının harmonik bozunumdan etkilendiği ve sinüzoidal dalga formundan uzaklaştığı görülmektedir. Gerilim dalga formunun ise neredeyse sinüzoidal olduğu görülmektedir. Buna ek olarak Şekil 3.16 incelendiğinde, test edilen tüm LED lambaların BS EN IEC 61000-3-2:2019

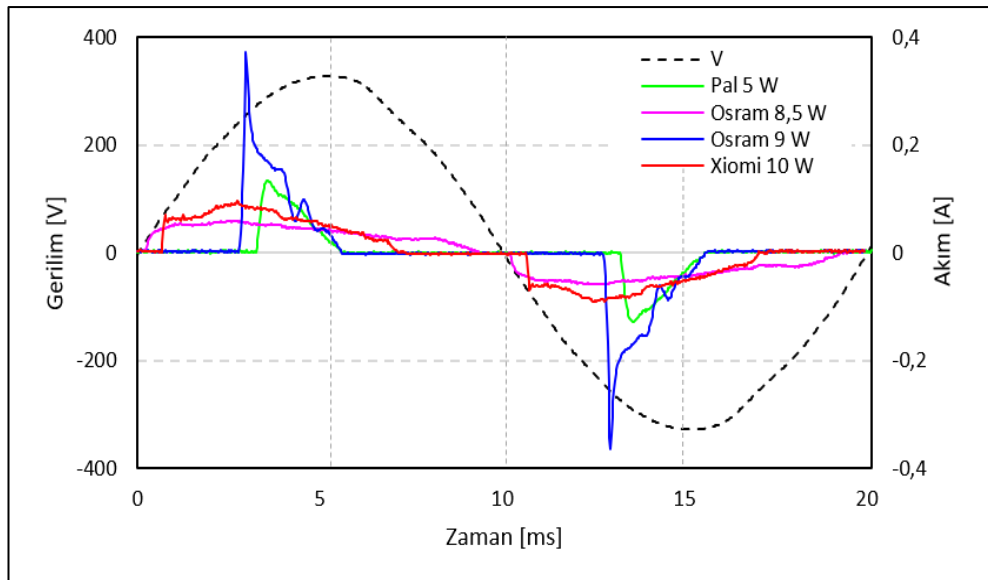
standardını karşılamayan oldukça yüksek seviyede harmonik ürettiği açıkça görülmektedir.

Philips 6W-2700K ve Philips 6W-6500K karşılaştırıldığında sonuçların aynı nominal güce fakat farklı renk sıcaklığına sahip aynı markalı CFL lambalar ile benzer olduğu görülmektedir. Burada da farklı renk sıcaklıklarının güç kalitesi ve harmonik analizi üzerinde bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

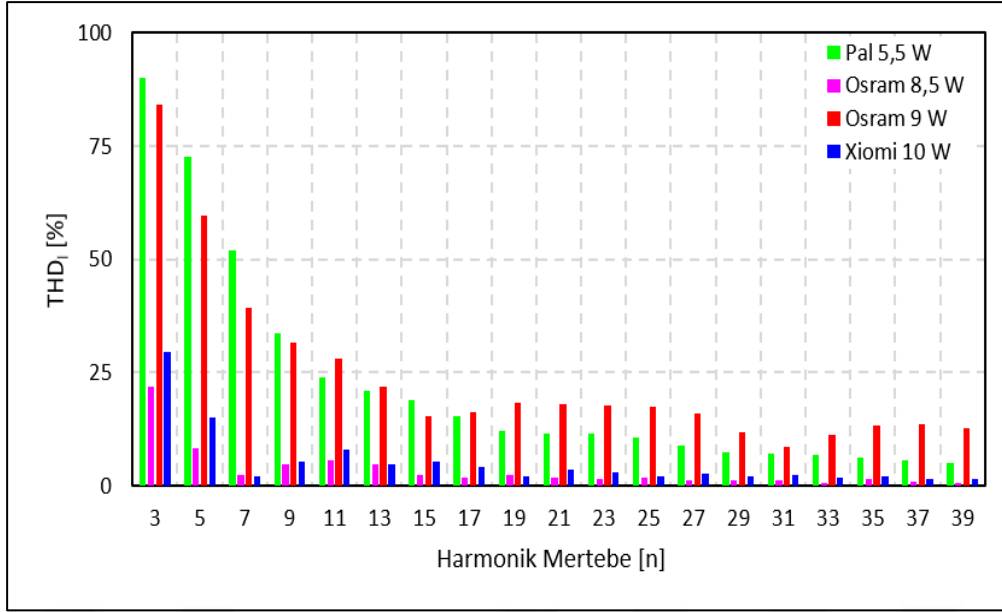
Philips 4W, Philips 5W ve Philips 6W karşılaştırıldığında, farklı anma güçlerine sahip olmalarına rağmen benzer dalga formlarına sahip olduğu açıkça görülmektedir. Çekilen maksimum akım değeri Philips 6W lambasında görülürken, çekilen minimum akım değeri Philips 4W lambasında görülmektedir. Şekil 3.16'ya göre tüm LED lambalar için 3. harmonik mertebesi en yüksek THD_I değerine sahiptir ve 23. mertebe hariç mertebe değeri arttıkça THD_I değerinin azaldığı görülmektedir.

Test edilen Philips markalı LED lambaların THD_I değerleri %135,7-%149,7 arasında değişmektedir. Buna ek olarak 4W gücündeki Philips LED lambanın diğer Philips LED lambalardan daha düşük nominal güce sahip olmasına rağmen daha yüksek seviyede harmonik ürettiği gözlemlenmiştir.

Farklı nominal güç değerlerine sahip farklı markalı LED lambaların akım dalga formları ve harmonik spektrumları sırasıyla Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : Farklı markaya ait LED lambaların akım ve gerilim dalga formları.



Şekil 3.18 : Farklı markaya ait LED lambaların harmonik bileşenleri.

Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'e göre Osram 8,5W ve Osram 9W LED lambaları aynı markaya sahip 2 lamba olmasına rağmen farklı harmonik bileşenlere ve akım dalga formuna sahiptir. Osram 8,5W ve Xiaomi 10W farklı balast teknolojilerine sahip olduklarından bütün harmonik mertebeler için diğer LED lambalara göre daha düşük THD_i değerine sahiptir. Bazı balast teknolojileri, güç faktörünü iyileştirmek veya harmonik bozulmayı azaltmak için harmonik filtreler veya güç faktörünü düzeltebilen uygun çözümler içerir. Şekil 3.18'e göre Osram 8,5W LED lamba bütün harmonik mertebeler için en düşük THD_i değerine sahip olmasına rağmen, 11. ve 13. mertebedeki THD_i değeri BS EN IEC 61000-3-2:2019 standardındaki limit değerini aşmaktadır. Buna ek olarak; 5,5 W nominal gücüne sahip Pal markalı LED lamba, test edilen lambalar içerisinde en düşük nominal güce sahip olmasına rağmen en yüksek harmonik akıma sahip olan LED lambadır.

3.2.2.2 Bir grup lambanın harmonik analizi ve sonuçları

Bu bölümde, bir grup lambanın güç kalitesine olan etkileri araştırılmıştır. Bir bağlantı noktasındaki bir grup lambanın varlığı çeşitlilik faktörüne sebep olabilir. Çeşitlilik faktörü 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. Çeşitlilik faktörünün 0 olması mükemmel yok etme “perfect cancellation” etkisini gösterirken çeşitlilik faktörünün 1 olması yok etme etkisinin olmadığını “no cancellation” göstermektedir.

Çeşitlilik faktörü toplu olarak değerlendirilen yükteki bireysel akım harmoniklerinin büyüklüklerinin vektörel toplamının cebirsel toplamına bölünmesiyle

hesaplanmaktadır. Farklı sayılardaki bir grup lambanın çeşitlilik faktörleri Çizelge 3.8’de gösterilmiştir. Kırmızı renk ile markası yazılan lambalar CFL lambaları gösterirken, mavi renk ile markası yazılan lambalar LED lambaları göstermektedir.

Çizelge 3.8 : Farklı sayılardaki bir grup lambanın çeşitlilik faktörü değerleri.

Grup İsimleri	Lamba Sayısı	Lambalar	Çeşitlilik Faktörü
A (LED)	3	Philips 4W, Pal 5W, Osram 9W	0,769
B (LED)	4	Philips 4W, Pal 5W, Philips 6W, Osram 9W	0,737
C (LED)	5	Philips 4W, Pal 5W, Philips 5,5W, Philips 6W, Osram 9W	0,709
D (LED)	5	Philips 4W, Pal 5W, Philips 5,5W, Osram 8,5W, Osram 9W	0,658
E (LED)	6	Philips 4W, Pal 5W, Philips 5.5W, Philips 6W, Osram 8,5W, Osram 9W	0,623
F (LED)	7	Philips 4W, Pal 5W, Philips 5,5W, Philips 6W, Philips 6W, Osram 8,5W, Osram 9W	0,595
G (CFL+LED)	5+2	Philips 4W, Pal 5W, Philips 5,5W, Philips 6W, Osram 9W, Philips 12W, Philips 12W	0,589
H (CFL+LED)	5+2	Philips 4W, Pal 5W, Philips 5,5W, Osram 8,5W, Osram 9W, Philips 12W, Philips 12W	0,557

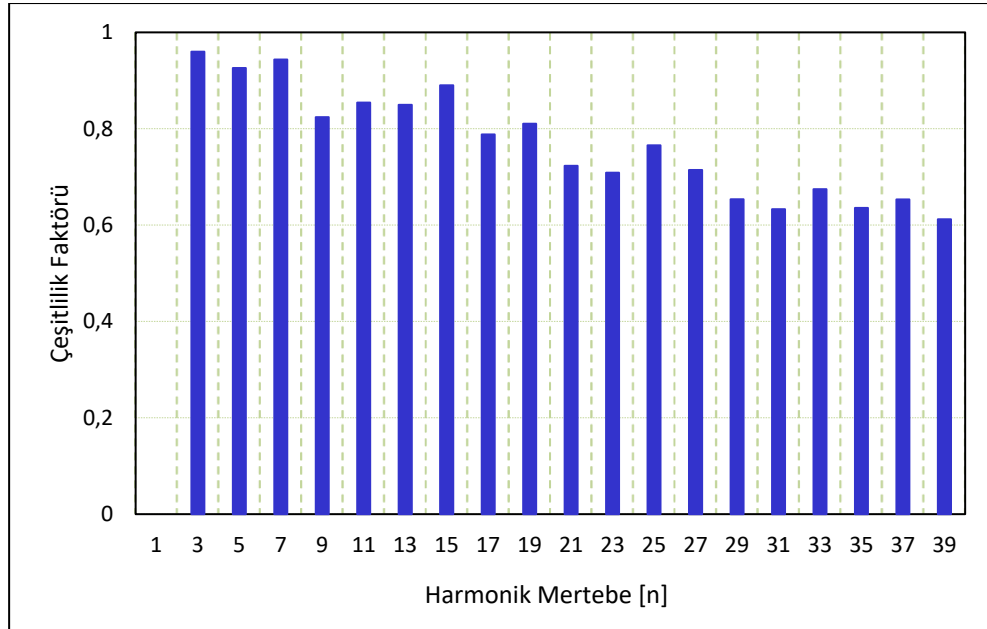
G ve H grupları içerisinde hem CFL hem de LED lamba bulunurken, diğer gruplarda sadece LED lamba bulunmaktadır. Çizelge 3.8 incelendiğinde, 3 LED lamba içeren Grup A’nın 0,769 değerinde çeşitlilik faktörüne sahip olduğu, 7 LED lamba içeren Grup F’nin ise 0,595 değerinde çeşitlilik faktörüne sahip olduğu görülmektedir. Bu durum Grup A’nın Grup F’den daha yüksek seviyede harmonik ürettiğini yani daha fazla harmonik bozunumuna uğradığını göstermektedir.

Çizelge 3.8’e göre lamba sayısı arttıkça çeşitlilik faktörünün azaldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca hem Grup C’de hem de Grup D’de 5 adet LED lamba bulunmasına rağmen çeşitlilik faktörlerinin farklı olduğu görülmektedir. Grup C’nin çeşitlilik faktörü değeri 0,709 iken, Grup D’nin çeşitlilik faktörünün 0,658 olduğu görülmektedir.

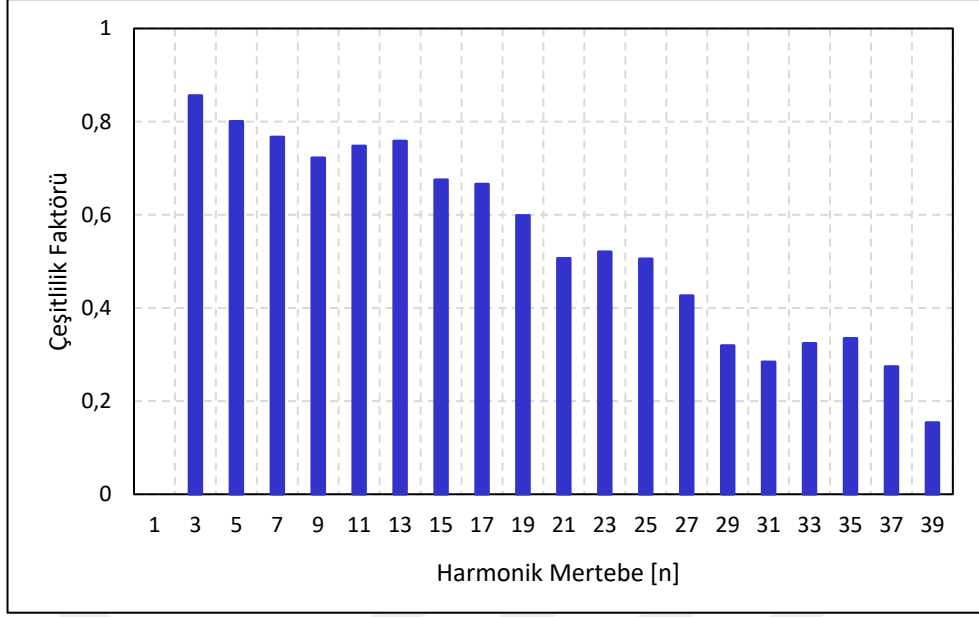
D grubunda yer alan 8,5 W nominal gücündeki Osram LED lambanın harmonik filtreye sahip olmasından dolayı çeşitlilik faktörünü daha fazla etkilediği ve daha düşük bir değere sahip olduğu görülmektedir. Grup G ve Grup H’ye 12W nominal gücünde ikişer adet CFL lamba eklenmiştir. Grup F, G ve H’de yedişer lamba olmasına

rağmen Grup F daha yüksek çeşitlilik faktörü değerine sahiptir. 7 LED lamba içeren Grup F 0,595 çeşitlilik faktörü değerine sahipken, 2 CFL ve 5 LED lamba içeren Grup G ve Grup H sırasıyla 0,589 ve 0,557 çeşitlilik faktörü değerine sahiptir. Grup G ve Grup H'nin 2 CFL ve 5 LED lamba bulundurmasına rağmen çeşitlilik faktörünün farklılaşmasının sebebi Grup H'de harmonik filtre içeren 8,5 W nominal gücüne sahip Osram LED lambanın olmasıdır.

3 LED lamba içeren Grup A'ya ve 7 LED lamba içeren Grup F'ye ait farklı harmonik mertebelerine ilişkin çeşitlilik faktörleri Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de gösterilmiştir. Şekil 3.19 ve Şekil 3.20 üzerinde çeşitlilik faktörü değerleri çok düşük olduğu için çift harmonikler grafik üzerinde gösterilmemiştir. Şekil 3.19 ve Şekil 3.20 karşılaştırıldığında Grup A'nın çeşitlilik faktörünün tüm harmonik mertebeleri için 0,6'dan büyük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Grup F'nin çeşitlilik faktörü değerlerinin tüm harmonik mertebeleri için Grup A'dan küçük olduğu görülmektedir. 13. harmonik mertebeye dahil düşük harmonik mertebelerde çeşitlilik faktöründe %18'e varan bir azalma meydana gelirken, yüksek harmonik mertebelerde çeşitlilik faktöründe %74'e varan bir azalma meydana gelmiştir. Lamba sayısı arttıkça meydana gelen çeşitlilik faktöründeki bu azalma, önemli oranda yok etme etkisini göstermektedir.



Şekil 3.19 : 3 LED lamba içeren Grup A'ya ait farklı mertebelere ilişkin çeşitlilik faktörü.



Şekil 3.20 : 7 LED lamba içeren Grup F'ye ait farklı mertebelere ilişkin çeşitlilik faktörü.

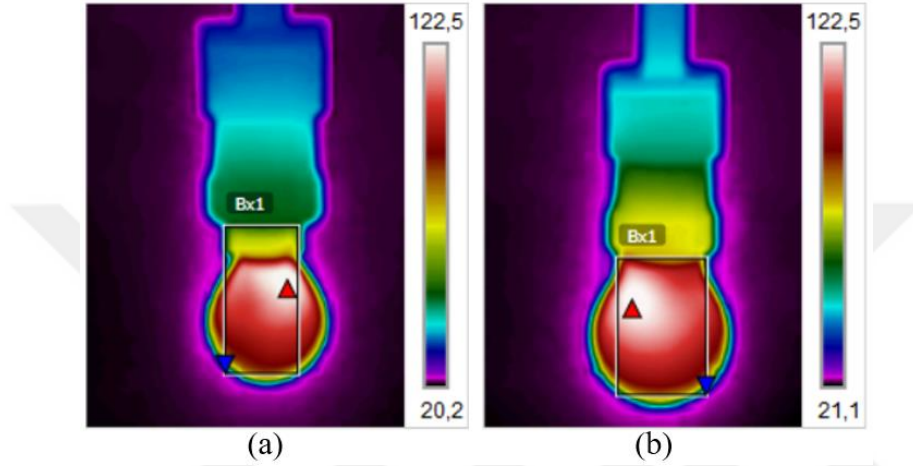
3.2.2.3 Lambaların termal karakteristik analizi ve sonuçları

Bu bölümün amacı, test edilen lambaların termal özelliklerini belirlemek ve lambaların yaydığı ısı dağılımını analiz ederek ortam sıcaklığındaki değişiklikleri gözlemlemektir. Ölçümlerin güvenilirliği ve doğruluğu açısından lambaların rejime girmesi beklenmiştir ve rejim süresi 1 saat olarak alınmıştır.

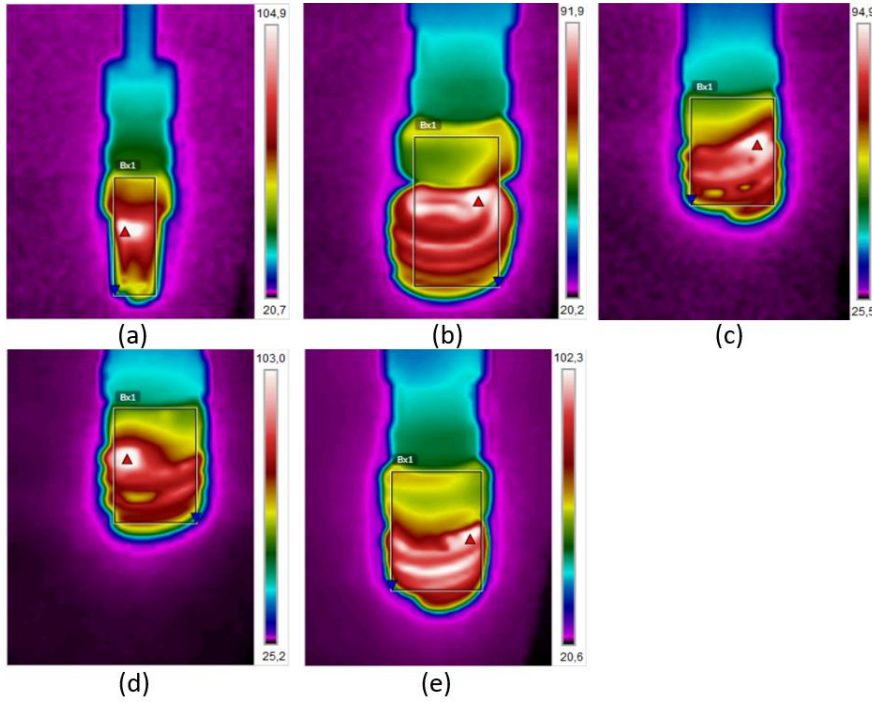
Halojen, CFL ve LED lambaların termal görüntüleri sırasıyla Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'te gösterilmiştir.

Termal görüntülerdeki her bir lamba üzerinde gösterilen kırmızı ok işareti lambanın en sıcak noktasını gösterirken mavi ok işareti ise lambanın en soğuk noktasını göstermektedir. Her bir termal görüntünün sağında sıcaklık ölçeği yer almaktadır. Ölçek üzerinde minimum ve maksimum sıcaklık sınırları santigrat cinsinden gösterilmiştir. Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'ye göre maksimum sıcaklık, halojen ve CFL lambaların cam yüzeyinde oluşmuştur. Şekil 3.23 incelendiğinde, halojen ve CFL lambaların aksine minimum sıcaklık LED lambaların cam yüzeyinde oluşmuştur. Yüksek sıcaklıkların LED'lerin özelliklerine olan olumsuz etkilerinin önüne geçilebilmesi için, LED lambalarda soğutma ünitesi "heat sink" bulunmaktadır. Şekil 3.23'e göre tüm LED lambalar için maksimum sıcaklık bu soğutma ünitesi bölümünde oluşmaktadır.

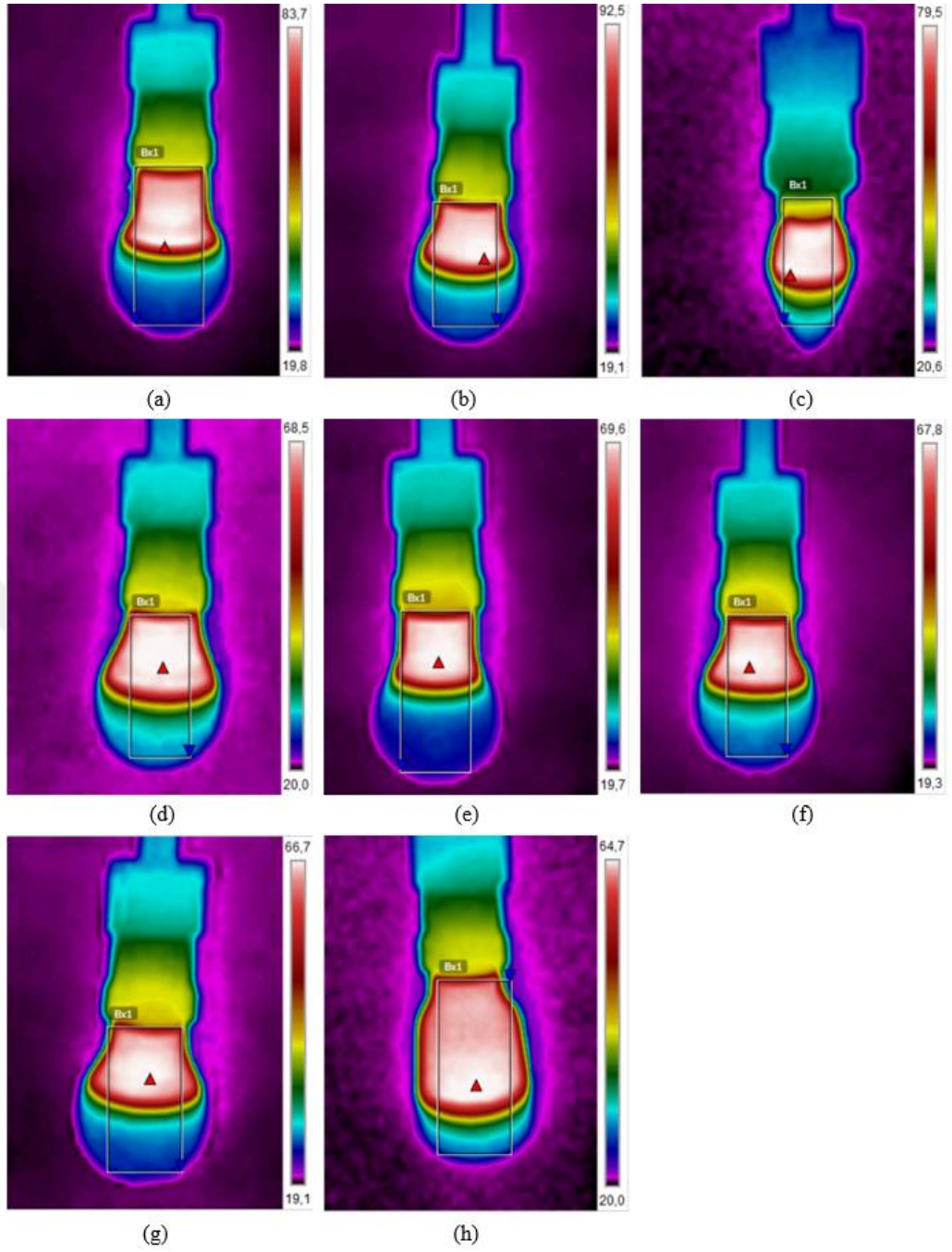
Tüm termal şekillerdeki maksimum sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında en yüksek maksimum sıcaklık değerlerine sahip lambaların halojen lambalar olduğu görülürken, en düşük maksimum sıcaklık değerlerine sahip lambaların ise LED lambalar olduğu görülmektedir. Halojen lambaların maksimum sıcaklık değerleri LED lambaların maksimum sıcaklık değerlerinin yaklaşık olarak iki katı olduğu şekillerden anlaşılmaktadır. Buna ek olarak CFL lambalardaki maksimum sıcaklık değerlerinin de LED lambalarla karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.21 : Test edilen halojen lambaların termal görüntüleri: (a)Diall 46W. (b)Maxin 70W.



Şekil 3.22 : Test edilen CFL lambaların termal görüntüleri: (a)GE 15W. (b)Inflamm 20W. (c)Philips 12W-2700K. (d)Philips 12W-6500K. (e)Philips 20W.



Şekil 3.23 : Test edilen LED lambaların termal görüntüleri: (a)Osram 8,5W. (b)Osram 9W. (c)Pal 5W. (d)Philips 4W. (e)Philips 5,5W. (f)Philips 6W-2700K. (g)Philips 6W-6500K. (h)Xioami 10W.

Her bir lamba için en yüksek ve en düşük sıcaklık noktalarının değerleri Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 : Lambaların ölçülen termal karakteristik özellikleri.

Lambalar	Lambaların Termal Karakteristikleri [°C]					
	Minimum	Maximum	Ortalama	T _i	T _f	ΔT
Diall 46W (Halojen)	26,7	123,6	97,8	23	28,1	5,1
Maxin 70W (Halojen)	34,8	124,3	107,8	23	30,7	7,7
Philips 12W 2700 K (CFL)	49,2	105,3	76	23	24,4	1,4
Philips 12W 6500 K (CFL)	34,4	108,2	77,4	23	24,6	1,6
GE 15W (CFL)	29,3	114,2	74,3	23	24,2	1,2
Philips 20W (CFL)	32,8	105,9	79,6	23	24,9	1,9
Inflame 20W (CFL)	27,3	95,3	72,7	23	24,7	1,7
Philips 4W (LED)	26,2	68,9	53,1	23	23,4	0,4
Pal 5W (LED)	23,2	79,7	60,3	23	23,2	0,2
Philips 5,5W (LED)	21,7	69,8	45,5	23	23,3	0,3
Philips 6W 2700 K (LED)	24,4	67,9	48,5	23	23,4	0,4
Philips 6W 6500 K (LED)	21,7	66,8	47,8	23	23,4	0,4
Osram 8,5W (LED)	23,1	84,6	57,4	23	23,4	0,4
Osram 9W (LED)	27	92,9	63,9	23	23,5	0,5
Xioami 10W (Akıllı LED)	22,7	64,8	55,9	23	23,9	0,9

Çizelge 3.9 incelendiğinde, halojen lambaların maksimum sıcaklık değerlerinin 123,6°C-124,3°C arasında değiştiği görülmektedir. Halojen lambalar ısı yoluyla ışık ürettiği için, kullanılan enerjinin yaklaşık olarak %90'ı ısı üretmek için boşa harcanmaktadır. Ayrıca, her ne kadar halojen lambalar akkor filamanlı lambalardan

verimli olsa da CFL ve LED lambalarla kıyaslandığında oldukça verimsiz lambalardır çünkü ışık yaydıklarında yüksek miktarda ısı da üretmekte ve etrafa yaymaktadırlar.

CFL lambalar ısıyı $95,3^{\circ}\text{C}$ - $114,2^{\circ}\text{C}$ arasında dağıtmaktayken, LED lambalar ısıyı $68,8^{\circ}\text{C}$ - $92,9^{\circ}\text{C}$ arasında yaymaktadır. LED lambaların diğer lambalara göre daha az ısı ürettiği görülmektedir.

Lambaların ortam sıcaklığını ne ölçüde etkilediğini gözlemlemek için bir test daha yapılmıştır. İlk olarak 1m çapındaki Ulbricht küresinin içine bir termometre yerleştirilmiştir. Küre içerisine yerleştirilen termometreden sıcaklık değerleri okunmuştur. Her bir lambanın testine başlamadan önce kürenin içerisi 23°C 'ye getirilmiştir. Lambalar küre içerisine yerleştirilip enerjilendirildikten 1 saat sonra küre içerisindeki sıcaklık tekrar ölçülmüştür ve termometreden okunan değerler kaydedilmiştir.

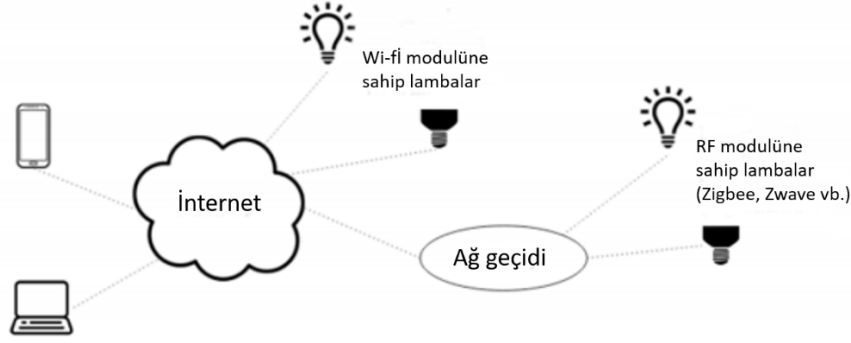
Çizelge 3.9'da gösterilen T_i parametresi 23°C başlangıç sıcaklığını, T_f ise bir saatlik süre sonundaki termometreden okunan değeri göstermektedir. ΔT ise sıcaklık farkını göstermektedir. Bütün lambalar için aynı işlemler tek tek uygulanmıştır. Tablodaki ΔT değerleri incelendiğinde, 1 saatlik süre içerisinde halojen lambaların ortam sıcaklığını 5°C - 7°C değiştirdiği görülmüştür. Bununla birlikte ortam sıcaklığını en az değiştiren lambaların LED lambalar olduğu görülmektedir. CFL lambaların da ortam sıcaklığını çok fazla değiştirmede yine Çizelge 3.9'dan anlaşılmaktadır.

CFL ve LED lambalar verimli lamba olduklarından çok düşük bir enerji ısıya dönüşmektedir. Elde edilen sonuçlarla LED lambaların bir saatlik süre sonunda ortam sıcaklığını ortalama $0,44^{\circ}\text{C}$ yükselttiği görülmüştür. Bu testler 1 m çapındaki dışarıdan izole bir küre içerisinde gerçekleştirmiştir. Kürenin boyutunun değişmesine bağlı olarak bu değerlerin değişebileceği unutulmamalıdır.

3.3 IoT Tabanlı Akıllı Aydınlatma Sistemleri

Akıllı aydınlatma sistemi, bir ağa bağlı olan ve herhangi bir merkezi sistemden veya uzaktan bir bulut aracılığıyla kontrol edilebilen ve izlenebilen sistemlerdir [145]. Akıllı aydınlatma sistemlerinin kullanımı son yıllarda hızla artmaktadır ve IoT teknolojisini mümkün kılan bir altyapı olma potansiyeline sahiptir. Binalar, ofisler ve endüstrilerdeki akıllı aydınlatma sistemleri enerji maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Günümüzde elektronik teknolojinin hızla ilerlemesi ve daha küçük boyutlarda çok daha gelişmiş teknolojilerin mevcut olması sebebiyle, herhangi bir nesneyi internete bağlamak ve mobil arayüzlerle kontrol etmek amacıyla endüstriyel standartlar hızla gelişmektedir. LED teknolojisinin hızla gelişimi, konut aydınlatmasında akkor lambalar yerine CFL'lerden sonra LED'lerin yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. IoT teknolojisinin de paralel olarak gelişmesiyle mevcut aydınlatma sistemleri kolayca kontrol edilebilmekte ve LED teknolojisi ile birlikte tasarruf ve enerji verimliliği anlamında teknolojik avantajlar sağlanmaktadır. Teknolojinin bu yönde gelişmesi akıllı LED lambalardan kaynaklanmaktadır ve bu nedenle akıllı aydınlatma sistemleri günlük hayatımıza hızlı bir şekilde giriş yapabirmiştir. Akıllı aydınlatma sistemleri maksimum düzeyde tasarruf sağlamakla beraber aynı zamanda kullanıcıların ihtiyaçlarına bağlı olarak aydınlatma ve renk anlamında uyarlanabilir çözümler sunmaktadır. IoT tabanlı yeni nesil aydınlatma kontrol sistemlerinde öncelikli olarak uzaktan bağlanabilirlik özelliği sayesinde kablo sorunu çözülmüştür. Bu şekilde hem kolay kurulum sağlanmakta hem de maliyetin azaltılması sağlanmaktadır. IoT tabanlı çözümlerde, aydınlatma noktalarından her biri, benzersiz tanımlayıcılarla (Unique Identifiers, UIDs) internetten doğrudan bulut sistemine ulaşmaktadır. Böylelikle tüm aydınlatma noktaları mobil ve web tabanlı uygulamalar tarafından ayrı ayrı kontrol edilebilmektedir. IoT sistemlerindeki benzersiz tanımlayıcı özelliği sayesinde sinyal doğrudan kontrol edildiği noktaya ulaşmaktadır. IoT tabanlı aydınlatma kontrolü, kablolama yerine belirli haberleşme protokolleriyle kablosuz iletişim sağlamaktadır. Kablosuz iletişim genellikle iki şekilde gerçekleşmektedir. Birincisi, lamba veya sensör gibi cihazların doğrudan kendi Wi-Fi modüllerine bağlanması şeklinde gerçekleşmektedir. İkincisi ise modemlerin kablolu veya kablosuz olarak bağlı olduğu bir ağ geçididir. Bu ağ geçidi Wi-Fi modülleri yerine genellikle 868 MHz veya 2,4 GHz bantlarındaki RF modüllerini

içermektedir. IoT tabanlı çalışan akıllı ampüller genellikle Zigbee adı verilen 2,4 GHz bandında çalışan kablosuz iletişim standardını kullanmaktadır [146]. Günümüzde her iki yöntem de kullanılmaktadır ve IoT teknolojisinin hala gelişmekte olması nedeniyle, tam bir standart altyapısı henüz oluşturulamamıştır. Meskenler için IoT tabanlı kontrol altyapısı Şekil 3.24’te gösterilmiştir.



Şekil 3.24 : Meskenlere yönelik IoT tabanlı aydınlatma sistemleri kontrol altyapısı.

Tez çalışmasının bu bölümünde 3 farklı test gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testler için benzer renk sıcaklıklarına ve ışık akılarına sahip birer adet halojen, CFL ve LED lamba ile aynı zamanda yine benzer özelliklere sahip iki adet akıllı LED lamba kullanılmıştır. Ölçümler İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi’nde bulunan Aydınlatma ve İç Tesisat Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler için 1m çaplı Ulbricht küresi olarak da bilinen entegre küreden faydalanılmıştır. Ulbricht küresi, bir lambanın verdiği ışık akısının saptanması için kullanılmaktadır. Fotometrik ölçmelerde kullanılan lambanın ışık akısı kesin bir biçimde bilinmelidir. Bu nedenle katalog değeri değil, Ulbricht küresi ölçüm sonucu esas alınmalıdır. Işık kaynağının lümen cinsinden ışık akısının ölçülmesinin yanı sıra lümen/watt cinsinden etkinlik faktörü parametrelerinin ölçülmesine de olanak tanımaktadır. Elektrik enerjisi kalite ölçümleri ve enerji kalitesi doğrulaması için PF9811 analizörü kullanılmıştır. PF9811 temel elektrik parametrelerini ölçmekle birlikte THD ölçümlerini de gerçekleştirmektedir. Ayrıca ışık akısı değerleri de Photo-2000Z lux metre (fotometre) ile kaydedilmiştir.

3.3.1 Akıllı LED lambaların güç tüketimine etkisi

Bu bölümde 2 farklı akıllı LED lamba kullanılarak 4 farklı senaryo için bazı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan 4 farklı senaryo aşağıda gösterilmiştir.

- Lambalar açık “ON” fakat internete bağlı değil “not connected”

- Lambalar açık “ON” ve internete bağlı “connected”
- Lambalar açık “ON” ve internete bağlı ve %50 loşlaştırılmış “connected with 50% of dim”
- Lambalar kapalı “OFF” fakat internete bağlı “connected”

Yukarıda verilen senaryolara göre A ve B olarak isimlendirilen 2 farklı akıllı LED lamba için ölçüm sonuçları Çizelge 3.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 : Akıllı lambara yönelik ölçüm değerleri.

Ölçüm Değerleri	Lamba A				Lamba B			
	Senaryo I	Senaryo II	Senaryo III	Senaryo IV	Senaryo I	Senaryo II	Senaryo III	Senaryo IV
Güç [W]	9,71	9,73	5,47	0,94	8,87	8,99	2,88	0,68
Işık Akısı [lm]	920,12	920,74	476,7	-	784,34	784,41	261,2	-
Etkinlik Faktörü [lm/W]	94,76	94,62	87,13	-	88,43	87,25	90,69	-
Güç Faktörü	0,857	0,857	0,795	0,78	0,579	0,58	0,511	0,388
Renk Sıcaklığı [K]	3372	3383	3377	-	2734	2745	2738	-
Renksel Geriverim İndeksi CRI	81,5	81,5	81,4	-	81,4	81,4	81,3	-

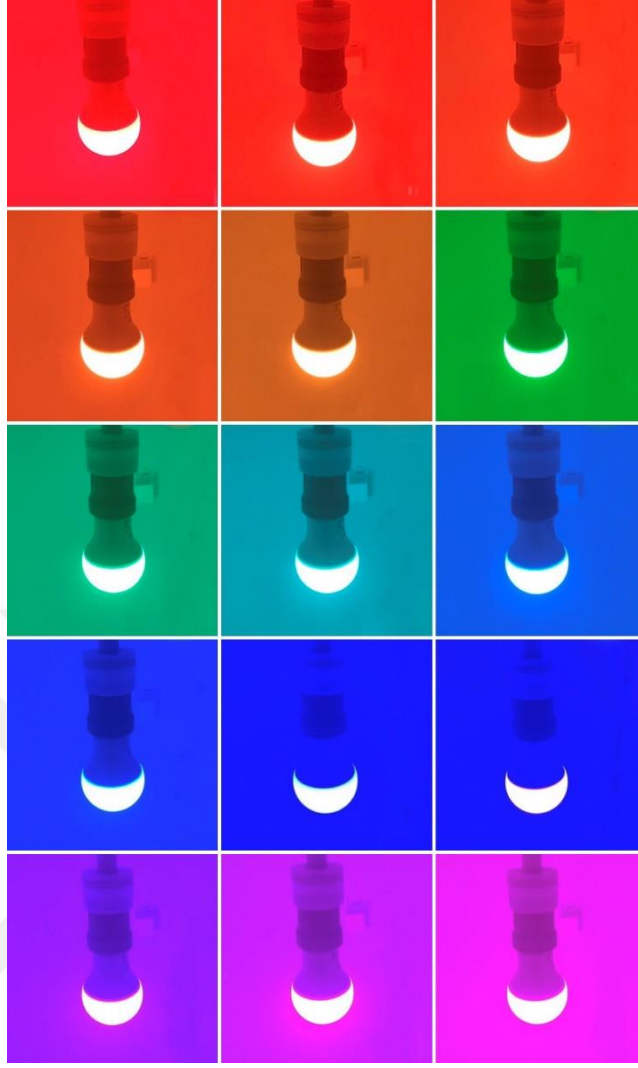
Çizelge 3.10’a göre senaryo 1 lambaların açık fakat internete bağlı olmadığını, senaryo 2 lambaların açık ve aynı zamanda internete de bağlı olduğunu, senaryo 3 lambaların açık ve %50 loşlaştırıldığını ve aynı zamanda internete bağlı olduğunu, senaryo 4 ise lambaların kapalı fakat internete bağlı olduğunu göstermektedir. Katalog değerlerine göre Lamba A 10W gücünde, 800 lm ışık akısına sahip ve renk sıcaklığı 2700 K- 6500 K arasında iken, Lamba B 9W gücünde 806 lm ışık akısına sahip ve renk sıcaklığı 2700 K- 6500 K arasında değişen bir lambadır. 2 akıllı lambanın da 16 milyon renk seçeneğine sahip olmasından dolayı renk sıcaklığı 2700 K – 6500 K arasında değişmektedir. Akıllı LED lambaların nominal güç değerleri ile ölçüm sonucu elde edilen güç değerlerinin neredeyse aynı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte nominal ışık akısı değerlerinin ölçüm değerlerinden biraz farklılaştığı gözlemlenmiştir. Çizelge 3.10 incelendiğinde lambalar %50 loşlaştırıldığında etkinlik

faktörünün değiştiği gözlemlenmiştir. Lamba A için etkinlik faktörünün %50 loşlaştırıldığında 94,62'den 87,13'e azaldığı gözlemlenirken lamba B için 87,25 değerinden 90,69 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. Güç faktörünün ise lambalar %50 loşlaştırıldığında hem lamba A hem de lamba B için biraz azaldığı gözlemlenmiştir. Çizelge 3.10'a göre her iki lambanın da %50 oranında loşlaştırılması veya lambanın internete bağlı olması durumunda renk sıcaklığının ve renksel geriverim indeksinin değişmediği gözlemlenmiştir. Ölçümlerden elde edilen diğer sonuç ise lambalar standby'da kaldığı durumda yaklaşık 1 W güç tüketmeye devam etmektedir.

Lambaların kapalı ve internete bağlı olduğu durumda lamba A'nın tükettiği güç değeri 0,94 W iken lamba B'nin tükettiği güç değeri 0,68'dir. Akıllı LED lambalar enerjilendirilmese bile internete bağlı olduğundan dolayı yaklaşık olarak lamba başına 1 W'lık güç tüketimine neden oldukları gözlemlenmiştir. Akıllı LED lambaların enerjilendirilmediği durumda bile fazladan yaklaşık 1W'lık güç tüketimine sahip olması, akıllı LED lambaların güç tüketimi konusundaki dezavantajlarından biridir.

3.3.2 Akıllı LED tarafından sağlanan farklı ışık renklerinin güç tüketimine etkisi

Bu bölümde akıllı LED lambaların farklı ışık renklerinin güç tüketimine etkisi incelenmiştir. Akıllı LED lambalar kullanıcılara yaklaşık olarak 16 milyon RGB (Red, Green, Blue) renk seçeneği sunmaktadır. Her bir değer 0 ile 255 arasında değişmektedir. Toplam renk seçeneği ise RGB için $256 \times 256 \times 256$ olmak üzere yaklaşık olarak 16 milyon seçeneğe ulaşmaktadır. Örneğin her bir RGB rengi 0 değerine getirildiğinde siyah renk üretilirken her bir RGB rengi 255 değerine getirildiğinde beyaz renk üretilmektedir. Kullanıcılar, tercihlerine göre uygun bir ortam yaratmak için sıcak ile soğuk beyaz ışık da dahil olmak üzere 16 milyon renk arasından birini seçebilmektedir. Tek bir akıllı RGB LED lambanın sağladığı 16 milyon renk seçeneği içerisinde seçilen 15 ışık rengi Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.25 : 16 milyon renk seçeneği içerisinde seçilen 15 ışık renginin gösterimi.

Seçilen ışık renklerinin ne kadar güç tükettiği Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 : Farklı ışık renklerine göre akıllı LED lambanın güç tüketim değerleri.

Renk	Kırmızı	Turuncu	Yeşil	Mavi	Mor	Pembe	Beyaz
Güç [W]	4,23	4,77	4,32	4,35	6,76	4,52	9,71

Kırmızı, yeşil veya mavi ışık renginin seçilmesiyle akıllı LED lambanın yaklaşık olarak 4,3 W güç tükettiği; turuncu veya mor ışık renginin seçilmesiyle, akıllı LED lamba sırasıyla 4,77 W ve 6,76 W güç harcadığı gözlemlenmiştir. Beyaz ışık renginin seçilmesiyle de akıllı RGB LED lambanın 9,71 W güç tükettiği görülmüştür. Sağlıklı bir insan sadece dalga boyu 380 nm ile 780 nm arasında değişen (mor, mavi, yeşil, sarı, turuncu, kırmızı) ve renk olarak tanımlanan kısmını görebilmektedir. Bu aralığa

görünür ışık da denmektedir. Bu dalga boyu arasındaki ışıkların toplamı da insanlar tarafından beyaz olarak algılanmaktadır. Beyaz ışık renginin gözle görülebilen spektrum renklerinin toplamı olduğundan beyaz ışık renginde en fazla güç tüketimi olmaktadır.

Benzer bir çalışma farklı bir akıllı RGB LED lamba için de denenmiştir. Tek bir akıllı RGB LED lambanın sağladığı 16 milyon renk seçeneği içerisinde seçilen 6 ışık rengi Şekil 3.26’da gösterilmiştir.



Şekil 3.26 : 16 milyon renk seçeneği içerisinde seçilen 6 ışık renginin gösterimi.

Seçilen ışık renklerine göre lambanın güç tüketimi Çizelge 3.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 : Aydınlatma kaynağının değişen ışık renklerinin güç tüketimine etkisi.

Renk	Kırmızı	Turuncu	Yeşil	Mavi	Mor	Pembe	Beyaz
Güç [W]	4,03	4,53	4,14	4,19	6,25	4,37	8,87

2 farklı akıllı LED aydınlatma kaynağı için benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Çizelge 3.12’ye göre kırmızı, yeşil ve mavi ışık renginin seçilmesine bağlı olarak aydınlatma kaynağının yaklaşık 4,1 W güç tüketimine sebep olduğu görülmüştür. Turuncu ve mor ışık renginin seçilmesiyle akıllı LED lambanın sırasıyla 4,53 ve 6,25 W güç harcadığı ölçüm sonuçlarından görülmüştür. Buna ek olarak en fazla güç tüketiminin beyaz ışık renginin seçilmesiyle olduğu gözlemlenmiştir. Beyaz ışık renginin seçilmesine bağlı olarak test edilen akıllı LED lambanın güç tüketimi 8,87 W olarak ölçülmüştür.

3.3.3 Enerji tasarrufuna ilişkin farklı tipteki lambaların karşılaştırmalı analizi

İnternet altyapısı nedeniyle, akıllı LED lambalar normal LED lambalara göre daha düşük etkinlik faktörüne sahip olup aynı zamanda da kapatıldıklarında yaklaşık 1 W güç tüketmektedirler. Bu dezavantajlarına rağmen mobil arayüzler aracılığı ile uzaktan açma/kapama ve loşlaştırma özellikleri sayesinde oluşturulacak olan senaryolara göre halojen, CFL ve LED lambalara göre daha fazla enerji tasarrufu sağlayabilirler. Akıllı LED lambaların halojen, CFL ve LED lambalara göre ne kadar enerji tasarrufu sağlayacakları bu çalışmada elde edilen ölçüm ve araştırma sonuçları kullanılarak oluşturulan senaryolar içerisinde incelenecektir. Geleneksel akkor lambalarla karşılaştırıldığında halojen lambalar, CFL, LED lambalar %25-%80 daha az enerji tüketirler ve 3-25 kat daha uzun yaşam ömrüne sahiptirler. Özellikle CFL ve LED lambalar yüksek enerji tasarrufu konusunda öne çıkmaktadırlar. LED lambaların CFL lambalara göre en büyük avantajı ise ömür süresidir ve LED lambalar CFL lambalarla kıyaslandığında yaklaşık 5 kat daha uzun yaşam ömrüne sahiptirler.

Benzer ışık akısına ve renk sıcaklığına sahip halojen, CFL, LED ve akıllı LED lambaya yönelik laboratuvar ortamında ölçülen karakteristik özellikler Çizelge 3.13'te gösterilmiştir.

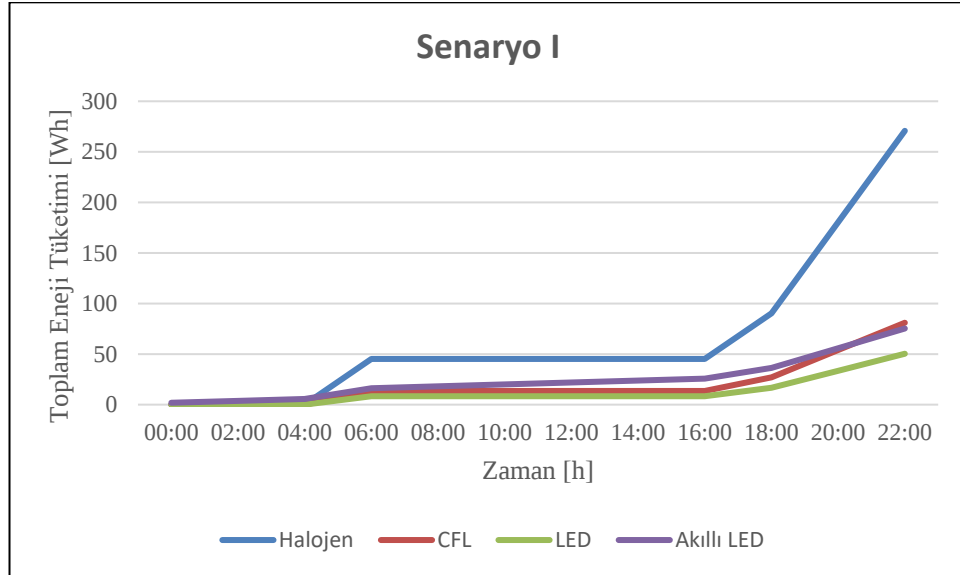
Çizelge 3.13 incelendiğinde, en yüksek etkinlik faktörüne ve en düşük güç tüketimine sahip lambanın LED lamba olduğu görülmektedir. Akıllı LED lambalar internet altyapısı nedeniyle LED lambalardan daha düşük bir etkinlik faktörüne ve daha yüksek bir güç tüketimine sahip olsa da, akıllı LED lambaların uzaktan kontrol edilebilme ve loşlaştırılabilme özellikleri sayesinde LED lambalardan daha fazla enerji tasarrufu sağlayabilmeleri mümkündür. Uzaktan kontrol ve loşlaştırılma özelliklerini de göz önüne alınarak test edilen lambalar için farklı senaryolar oluşturulmuştur. Temel referans senaryoya göre kullanıcının sabah 07:00'de kalkıp 08:00'de evi terk ettiği, akşam 19:00'da eve dönüp gece 00:00'de uyuduğu varsayılmıştır. Bu bağlamda test edilen lamba sabah 07:00-08:00 saatleri arasında ve akşam 19:00-24:00 saatleri arasında günde toplam 6 saat kullanılmıştır.

Çizelge 3.13 : Test edilmiş lambaların karakteristik özellikleri.

	Halojen	CFL	LED	Akıllı LED
Karakteristik Özellikler				
Güç [W]	45,13	13,50	8,39	9,73
Işık Akısı [lm]	802,32	849,30	785,29	820,12
Etkinlik Faktörü [lm/W]	17,77	62,91	93,5	84,28
Loşlaştırma	Evet	Hayır	Hayır	Evet
Renk Sıcaklığı [K]	2800	2700	2700	2700-6500
Lamba Ömrü [h]	2000	10000	25000	25000
Güç Faktörü	1	0,599	0,569	0,857

Bu yaşam döngüsüne göre 3 farklı senaryo oluşturulmuştur.

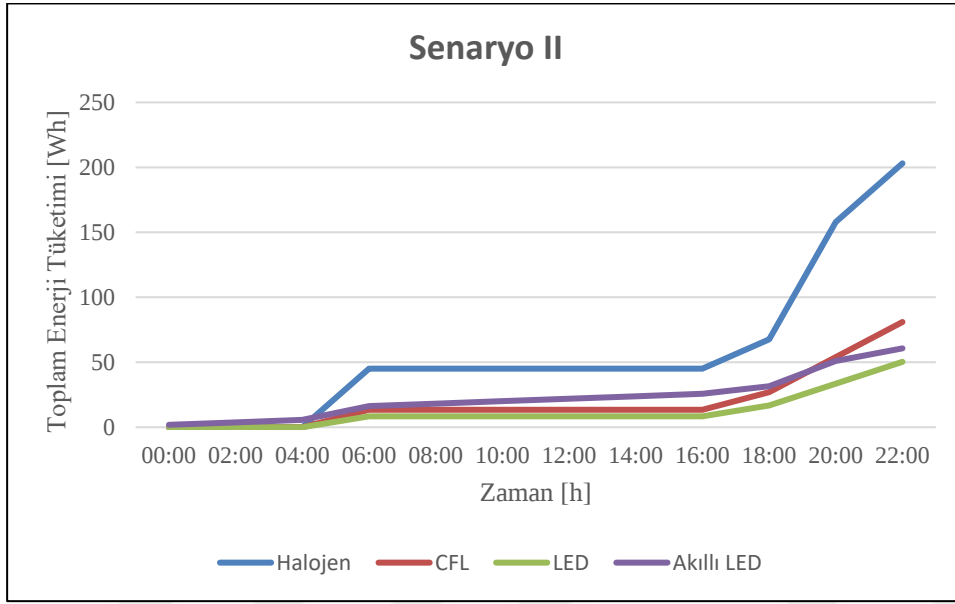
Birinci senaryoda her bir lambanın 07:00-08:00 ve 19:00-24:00 saatleri arasında günde toplam 6 saat kullanıldığı varsayılmıştır. Birinci senaryoya göre lambaların saatlik bazda günlük enerji tüketimi Şekil 3.27’de gösterilmiştir.



Şekil 3.27 : Senaryo I için test edilen lambaların enerji tüketimleri.

Şekil 3.27'ye göre akıllı LED lambanın halojen lambaya göre yaklaşık %72 ve CFL'ye göre yaklaşık %7 enerji tasarrufu sağladığı görülmüşüne rağmen LED lambadan daha fazla enerji tüketimine sebep olduğu görülmüştür.

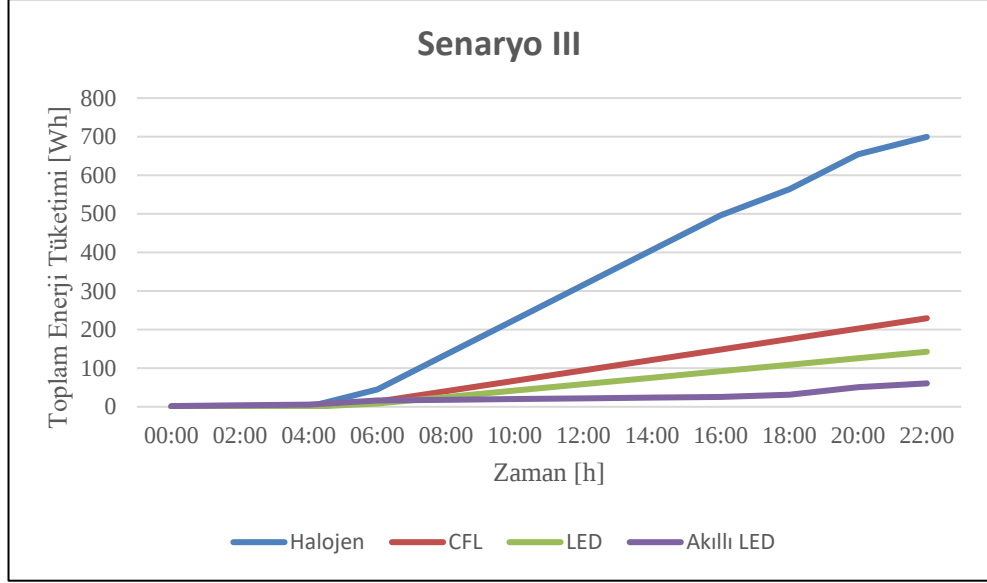
İkinci senaryoda loşlaştırılabilir halojen ve akıllı LED lambalar akşam 3 saat boyunca %50 oranında loşlaştırılarak kullanılmıştır. İkinci senaryoya göre lambaların saatlik bazda günlük enerji tüketimi Şekil 3.28'te gösterilmiştir.



Şekil 3.28 : Senaryo II için test edilen lambaların enerji tüketimleri.

Şekil 3.28'e göre akıllı LED lamba; halojen ve CFL lambaya göre sırasıyla %70'e ve %25'e varan enerji tasarrufu sağlamıştır. Ancak, her ne kadar akıllı LED lamba %50 oranında loşlaştırılmış olsa da LED lamba ile kıyaslandığında halen daha yüksek enerji tüketimine sahiptir.

Üçüncü senaryoda ikinci senaryoya ek olarak, kullanıcının evden 08:00'de ayrıldığında lambaları kapatmayı unuttuğu varsayılmıştır. Bu sebeple halojen, CFL ve LED lambalar 08:00-19:00 saatleri arasında açık konumdadır fakat; akıllı LED lamba uzaktan kontrol edilebilme özelliği kullanılarak kapalı konuma getirilmiştir. Üçüncü senaryoya göre lambaların saatlik bazda günlük enerji tüketimi Şekil 3.29'da gösterilmiştir.



Şekil 3.29 : Senaryo III için test edilen lambaların enerji tüketimleri.

Şekil 3.29'a göre akıllı LED lamba; halojen, CFL ve LED lambalarına göre sırasıyla %91,32, %75,55 ve %57,44 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır. Akıllı LED lambaların belirli bir oranda loşlaştırıldığı ve uzaktan kontrol edilebilme özelliği birlikte kullanıldığında en düşük enerji tüketimine sahip olduğu görülmüştür.



4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında akıllı şebekeler kapsamında hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin bölgelere göre karşılaştırmalı analizine, Türkiye’de akıllı ev sistemlerinin benimsenmesi etkileyen faktörlere ve hangi faktörlerin etki değerlerinin yüksek olduğuna, aydınlatma sistemlerinin termal ile harmonik analizlerine ve son olarak akıllı aydınlatma sistemlerinin meskenlerde kullanılan farklı tip aydınlatma sistemleri ile enerji tasarrufu yönünden karşılaştırmalı analizine yer verilmiştir.

Türkiye'nin yüksek güneş ışıınımı ve rüzgar hızına rağmen, çatı üstü fotovoltaik sistemler ve rüzgar türbinleri Türkiye’de yeterince yaygınlaşmamıştır; bu sebeple, Türkiye’de yenilenebilir enerji fırsatlarından yeterince faydalanılamamaktadır. Türkiye’de güneş ve rüzgar enerjisi kullanarak yenilenebilir enerji üzerine yapılan çalışmaların eksikliği nedeniyle, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES’lerin tekno-ekonomik ve çevresel etkileri HOMER Pro yazılımı kullanılarak tez kapsamında incelenmiştir. Türkiye'nin bölgesel güneş ışıınımı ve rüzgar hızı çeşitliliği nedeniyle, Türkiye'nin farklı bölgelerinde bulunan illerde HRES analizleri gerçekleştirilmiştir. Türkiye'nin yedi bölgesindeki en yüksek, ortanca ve en düşük güneş ışıınımını dikkate alarak ve toplamda 21 il seçilerek HRES analizleri gerçekleştirilmiştir. Dört kişilik bir ailenin günlük tüketimi, ortalama olarak 13,26 kWh olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen HRES analizlerin temel sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Şebekeye bağlı HRES göz önüne alındığında, test edilen birçok il için en uygun çözümün Grid/PV/WT olduğu görülmüştür. Ayrıca, rüzgar hızının düşük veya yetersiz olduğu bazı illerde teknik açıdan en uygun çözümün Grid/PV olduğu görülmüştür.
- Şebekeye bağlı HRES’in aksine, şebekden bağımsız HRES göz önünde bulundurulduğunda test edilen bütün iller için en uygun kombinasyonun PV/WT/DG/BESS olduğu bulunmuştur.

- Şebekeye bağlı HRES için NPC değeri 2.504,00\$-8.951,00\$ arasında değişmektedir. Bununla birlikte Grid/PV/WT çözümünün Grid/PV çözümünden daha düşük NPC değerine sahip olduğu bulunmuştur.
- Şebekeye bağlı HRES'e kıyasla, şebekeden bağımsız HRES için NPC değeri oldukça yüksektir. 2022 yılında gerçekleştirilen benzetim sonuçlarına göre NPC değeri, şebekeden bağımsız HRES için rüzgar hızı ve güneş ışınlımındaki değişikliklere bağlı olarak 23.372,00\$ ile 40.858,00\$ arasında değişmektedir.
- Şebekeden bağımsız HRES dikkate alındığında en düşük ve en yüksek NPC değerine sahip illerin sırasıyla Çanakkale ve Artvin olduğu görülmüştür. Marmara Bölgesi'ndeki Çanakkale iline yönelik HRES 3,76 kW PV dizisi, 6,90 kW DG, 1,80 kW WT ve 22,6 kWh batarya bileşenlerinden oluşmaktadır. Bununla birlikte Artvin iline yönelik HRES ise 5 kW PV dizisi, her biri 1,80 kW olan iki adet WT ünitesi, 6,90 kW DG ve 40,2 kWh batarya sisteminden oluşmaktadır.
- Şebekeye bağlı HRES göz önüne alındığında şebekeden bağımsız HRES gibi en düşük ve en yüksek NPC değerine sahip iki ilin sırasıyla Çanakkale ve Artvin olduğu görülmüştür. Çanakkale ili için HRES 5 kW PV, 1,80 kW WT ve 3 kW dönüştürücüyle optimum olarak tasarlanmıştır. Öte yandan, Artvin ise yalnızca 5 kW PV dizisi ve 3 kW dönüştürücü içeren HRES'e sahiptir.
- Çevresel açıdan analizler incelendiğinde şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerinin şebekeden bağımsız yenilenebilir enerji sistemlerine göre daha yüksek oranda CO₂ emisyonuna sebep olduğu görülmüştür.
- Şebekeden bağımsız HRES dikkate alındığında Marmara ve Ege bölgelerindeki sistemlerin; Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki sistemlerle kıyaslandığında yüksek rüzgar hızına sahip olması nedeniyle daha düşük CO₂ emisyonlarına sahip olduğu görülmüştür.
- Şebekeye bağlı HRES için CO₂ emisyonları yıllık 1.041 kg-2.122 kg arasında değişirken, şebekeden bağımsız HRES için CO₂ emisyonları yıllık 182 kg-503 kg arasında değişmektedir.

Şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı HRES için gerçekleştirilen hassasiyet analizlerine ilişkin bulgular aşağıda sunulmuştur.

- PV ve WT'nin sermaye maliyetindeki artış veya azalış şebekeden bağımsız HRES için sistem konfigürasyonunu değiştirmemektedir. PV/WT/DG/BESS sistemleri bütün iller için tekno-ekonomik uygulanabilir bir çözümdür. Buna karşılık, şebekeye bağlı HRES için PV ve WT'nin sermaye maliyetindeki değişime bağlı olarak sistem konfigürasyonun değiştiği görülmüştür.
- PV ve WT'nin sermaye maliyetinin artması, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız HRES dikkate alındığında test edilen bütün iller için NPC ve CO₂ emisyonlarında artışa neden olmuştur. Şebekeden bağımsız HRES göz önünde bulundurulduğunda, Çanakkale ilinde NPC ve CO₂ emisyonunda sırasıyla %40,07 ve %63,97'lik bir artış görülürken; Artvin ilinde sırasıyla %38,44 ve %53,57'lik artış gözlemlenmiştir.
- Artvin iline yönelik sermaye maliyeti çarpanı katsayısının 0,5-3 arasında değişimi şebekeye bağlı HRES için CO₂ emisyon oranında %44,18'lik bir artışa sebep olurken, Çanakkale ili şebekeye bağlı HRES için CO₂ emisyonunda %44,52'lik bir artışa sebep olmuştur.
- Hem şebekeden bağımsız hem de şebekeye bağlı HRES için güneş ışıınımı ve rüzgar hızının artmasıyla CO₂ miktarının azaldığı görülmüştür.
- Çanakkale ilinde güneş ışıınımı ve rüzgar hızının artmasına bağlı olarak şebekeden bağımsız HRES için NPC ve CO₂ emisyonunda sırasıyla %9,30 ve %9,23 azalma görülürken; Artvin ilindeki azalmanın daha belirgin olduğu ve NPC ile CO₂ emisyonunda sırasıyla %25,58 ve %66,95 azalma meydana geldiği görülmüştür. Şebeye bağlı HRES dikkate alındığında ise Çanakkale'deki HRES'e yönelik NPC değerinde daha yüksek oranda bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalma Artvin ilindeki HRES'ten yaklaşık olarak %3,59 kat daha fazladır.
- Duyarlılık analizi benzetim sonuçlarına göre daha yüksek rüzgar hızı ve güneş enerjisi potansiyeli sahip illerin/bölgelerin parametre değişikliklerinden daha az etkilendiği görülmüştür.
- Şebekeden bağımsız HRES için depolama sistemlerindeki sermaye maliyetinin azalması, NPC ve COE değerlerinin de düşmesine olanak sağlamıştır. Yakın gelecekte batarya maliyetlerinin düşmesi beklendiğinden batarya tabanlı

yenilenebilir enerji sistemlerinin yatırım maliyetlerinin de azalması beklenmektedir.

Akıllı ev sistemleri de akıllı şebekeler kapsamında incelenen araştırma alanlarından biridir. Akıllı ev sistemlerinin benimsenmesini etkileyen faktörlerin tüketici algıları üzerinden analizi ve akıllı ev sistemlerinin benimsenmesini etkileyen faktörler Teknoloji Benimseme/Kabul Modeli kapsamında incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre kabul edilen hipotezler aşağıda listelenmiştir.

- **H1.** Akıllı evleri kullanmaya yönelik tutum, akıllı evleri kullanma niyeti üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.
- **H2.** Algılanan fayda (kullanışlılık), akıllı evleri kullanma niyeti üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.
- **H3.** Algılanan fayda (kullanışlılık), akıllı evlerin kullanımına yönelik tutum üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.
- **H5.** Algılanan kullanım kolaylığı, akıllı evlerin algılanan faydası üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.
- **H6.** Algılanan eğlence, akıllı evlerin algılanan kullanım kolaylığı üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.
- **H7.** Algılanan bağlanabilirlik, akıllı evlerin algılanan kullanım kolaylığı üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.
- **H10.** Algılanan güvenilirlik, akıllı evlerin faydası üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.
- **H11.** Algılanan güvenlik, akıllı evlerin faydası üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.
- **H12.** Algılanan uyumluluk, akıllı evlerin faydası üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.
- **H13.** Algılanan maliyet, akıllı evleri kullanma niyeti üzerinde negatif bir etkiye sahiptir.
- **H14.** Algılanan yenilikçilik, akıllı evleri kullanma niyeti üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

Reddedilen hipotezler aşağıda maddeler halinde listelenmiştir.

- **H4.** Algılanan kullanım kolaylığı, akıllı evlerin kullanımına yönelik tutum üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.
- **H8.** Test edebilirlik, akıllı evlerin algılanan kullanım kolaylığı üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.
- **H9.** Algılanan kontrol, akıllı evlerin algılanan faydası üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahiptir.

Analiz sonuçları algılanan faydanın; tutum ve niyet üzerinde en etkili yordayıcı/gösterge olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte kullanma niyeti üzerinde tutum, algılanan fayda, algılanan yenilikçilik ve algılanan maliyetin önemi bir etkisi olduğu ortaya çıksa da en fazla etkiyi algılanan fayda ve tutum sergilemiştir. Bununla birlikte her ne kadar akıllı ev sistemlerinin pahalı olduğu bilinse de kullanma niyeti üzerinde bir etkisi olduğu ama diğer faktörlerden daha düşük seviyede olduğu görülmüştür. Katılımcılar açısından akıllı evlerin benimsenmesinde bu sistemlerin yenilikçi olması maliyetin getirmiş olduğu dezavantajdan daha önemlidir. Algılanan kullanım kolaylığı yönünden algılanan eğlence ve algılanan bağlanabilirliğin benzer etkilere sahip olduğu görülmüştür. Algılanan fayda açısından incelendiğinde ise cihazların birbiri ile uyumlu olması algılanan güvenilirlik ve algılanan güvenliğe göre daha yüksek bir etkiye sahip olduğu sonucu görülmektedir.

Lambaların bir grup olarak değerlendirilmesi birçok küçük harmonik kaynağın oluşması anlamına gelmektedir. Herhangi bir sistemin akım harmonikleri ölçülürken bileşenlerin açı değerleriyle birlikte ölçülmesi gerekmektedir. Farklı cihazların ürettikleri harmonikli bileşenler açı farklılıklarından dolayı birbirlerini sönümleyerek daha düşük seviyede harmonik üretime sebep olabilir. Çeşitlilik faktörü olarak adlandırılan bu duruma ilişkin sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Çeşitlilik faktörünün harmonik akım bozunumları üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla farklı lamba gruplarıyla deneysel testler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, lamba sayısının artmasına bağlı olarak çeşitlilik faktörünün azaldığını göstermiştir.
- 3 LED lamba içeren Grup-A; 0,769 çeşitlilik faktörüne sahipken, 7 LED lamba içeren Grup-F; 0,595 çeşitlilik faktörüne sahiptir. Grup-A'nın Grup-F'den daha

fazla harmonik enjekte ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Buna ek olarak, CFL lambalarla LED lambalar birlikte kullanıldığında çeşitlilik faktörünün daha da azaldığı görülmüştür.

IoT tabanlı akıllı cihazlar binalardaki enerji tüketimini azaltmak ve enerji tasarrufunu sağlamak için fırsat olarak görülmektedir. Akıllı evlerde kullanılan IoT tabanlı cihazlardan biri de akıllı LED lambalardır. Her ne kadar akıllı LED lambaların kullanımı yaygınlaşsa da halojen, CFL ve LED lambalara göre avantajları ve dezavantajları net olarak bilinmemektedir. Bu sebeple özellikle enerji tüketimi konusunda farklı tipteki lambalarla karşılaştırmalı analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- İki akıllı LED lamba üzerinde yapılan ölçümlere göre, bu cihazlar kapatılsa bile, Wi-Fi modüllerine sahip oldukları için yaklaşık olarak 1 W güç tüketmektedirler. Bu nedenle, akıllı LED lambaların etkinlik faktörleri standart LED lambalardan daha düşüktür ve akıllı LED lambaların toplam enerji tüketimi standart LED lambalarla karşılaştırıldığında kullanım sürelerine bağlı olarak daha yüksek olabilmektedir.
- Akıllı bir LED lambanın güç tüketiminin ayarlanan renk ayarına veya renk kombinasyonuna bağlı olarak değiştiği söylenebilir. Sonuçlar incelendiğinde; kırmızı, yeşil veya mavi renk seçildiğinde, akıllı LED lambanın yaklaşık olarak 4,3 W güç tükettiği; turuncu, mor veya beyaz seçildiğinde ise, akıllı LED lambanın sırasıyla 4,77 W, 6,76 W ve 9,71 W'lık güç tüketimine sebep olduğu gözlemlenmiştir. Beyaz ışık görünür spektrumun tüm dalga boylarını içerdiğinden, en fazla güç beyaz ışık seçildiğinde harcanmaktadır.
- Enerji tasarrufu açısından halojen, CFL, LED ve akıllı LED arasında kapsamlı bir karşılaştırma yapılmış ve üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Sonuçlara göre, akıllı LED lamba sadece loşlaştırıldığında ve uzaktan kontrol edildiğinde test edilen lambalar içerisinde en düşük güç tüketimini sağlayacağı görülmüştür. Bu durumda akıllı LED lamba loşlaştırılıp uzaktan kontrol edildiğinde; halojen, CFL ve LED lambalara kıyasla sırasıyla % 91,32, % 75,55 ve % 57,44 enerji tasarrufu sağlamıştır.
- Diğer durumlarda, akıllı LED lambaların enerji tasarrufundan ziyade kullanıcılara daha fazla konfor sunabileceği söylenebilir.

Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerine yönelik gelecekte aşağıdaki uygulamalar düşünölebilir.

- HRES tasarımında kullanılan fotovoltaiik panellere ve rüzgar türbinlerine ek olarak biyokötle ve jeotermal enerji gibi diğeri yenilenebilir enerji kaynakları da analizlere dahil edilebilir.
- HRES kapsamındaki yük talebi bütün bölge ve şehirler için aynı kabul edilmiştir. Dizel jeneratörler, rüzgar türbinleri ve fotovoltaiik paneller değışen konut yük profiline göre daha hassas bir şekilde boyutlandırılabilir. Değışen yük profiline göre şebekeye bağı ve şebekeden bağımsız HRES'in karşılaştırılmalı analizi gerçekteştirilebilir.
- Duyarlılık analizlerinde yük değışiminin, fotovoltaiik panellerin verimlilik değışiminin ve ortam sıcaklığıının değışiminin NPC ve COE üzerindeki etkisi incelenebilir.
- Yenilenebilir enerji sistemlerinin fizibilitesi ile performansını değıerlendirmek ve sistem tasarımını optimize etmek için Homer Pro yazılımına ek olarak RETScreen, PVSyst ve SAM gibi alternatif yazılımlar kullanılabilir. Her bir yazılımın girdileri ve çıktıları Homer Pro yazılımından farklılık göstermektedir. PVSyst yazılımının kullanılması ile fotovoltaiik panellerin kurulacağı alan belirlenerek boyutlandırmalar daha hassas yapılabilir. Farklı programlar kullanılarak analizlere ilişkin daha gerçekteşi sonuçlar elde edilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Qazi, A., Hussain, F., Rahim, N. ABD., Hardaker, G., Alghazzawi, D., Shaban, K., & Haruna, K.** (2019). Towards sustainable energy: a systematic review of renewable energy sources, technologies, and public opinions. *IEEE Access*, 7, 63837–63851. doi: [10.1109/ACCESS.2019.2906402](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906402)
- [2] **URL-1** <<https://www.businessinsider.com/energy-sources-since-1776-chart-2013-7>>, erişim tarihi 06.05.2023
- [3] **Wilson, A. B.** (2016). *World Energy Outlook 2016*.
- [4] **URL-2** <<https://www.iea.org/reports/turkey-2021>, erişim tarihi 12.04.2023
- [5] **Welsby, D., Price, J., Pye, S., & Ekins, P.** (2021). Unextractable fossil fuels in a 1.5 °C world. *Nature*, 597(7875), 230–234. doi: [10.1038/s41586-021-03821-8](https://doi.org/10.1038/s41586-021-03821-8)
- [6] **Van Thanh, N.** (2022). Sustainable energy source selection for industrial complex in Vietnam: a fuzzy MCDM approach. *IEEE Access*, 10, 50692–50701. doi: [10.1109/ACCESS.2022.3173609](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3173609)
- [7] **Huang, M.-T., & Zhai, P.-M.** (2021). Achieving Paris Agreement temperature goals requires carbon neutrality by middle century with far-reaching transitions in the whole society. *Advances in Climate Change Research*, 12(2), 281–286. doi: [10.1016/j.accre.2021.03.004](https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.03.004)
- [8] **Fonta, P.** (2017). The “Paris agreement” on climate change: An opportunity for cement sector to further reduce its CO₂ emissions. *2017 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Technical Conference*, 1–8. doi: [10.1109/CITCON.2017.7951864](https://doi.org/10.1109/CITCON.2017.7951864)
- [9] **İlkiliç, Z.** (2016). Türkiye’de rüzgar enerjisi ve rüzgar enerji sistemlerinin gelişimi. *Journal of Life Sciences*, 6(2).
- [10] **Bihari, S. P., Sadhu, P. K., Sarita, K., Khan, B., Arya, L. D., Saket, R. K., & Kothari, D. P.** (2021). A comprehensive review of microgrid control mechanism and impact assessment for hybrid renewable energy integration. *IEEE Access*, 9, 88942–88958. doi: [10.1109/ACCESS.2021.3090266](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3090266)
- [11] **Ladu, N. S. D., Subburaj, S. K., & Samikannu, R.** (2021). A review of renewable energy resources. Its potentials, benefits, and challenges in South Sudan. *2021 International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)*, 1–6. doi: [10.1109/ICAECA52838.2021.9675574](https://doi.org/10.1109/ICAECA52838.2021.9675574)

- [12] **Kamal, T., Hassan, S. Z., Hui Li, Mumtaz, S., & Khan, L.** (2016). Energy management and control of grid-connected wind/fuel cell/battery Hybrid Renewable Energy System. *2016 International Conference on Intelligent Systems Engineering (ICISE)*, 161–166. doi: [10.1109/INTELSE.2016.7475114](https://doi.org/10.1109/INTELSE.2016.7475114)
- [13] **Abdullah, M. A., Agalgaonkar, A. P., & Muttaqi, K. M.** (2014). Assessment of energy supply and continuity of service in distribution network with renewable distributed generation. *Applied Energy*, 113, 1015–1026. doi: [10.1016/j.apenergy.2013.08.040](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.040)
- [14] **Gajewski, P., & Pieńkowski, K.** (2021). Control of the hybrid renewable energy system with wind turbine, photovoltaic panels and battery energy storage. *Energies*, 14(6), 1595. doi: [10.3390/en14061595](https://doi.org/10.3390/en14061595)
- [15] **Iqbal, M., Azam, M., Naeem, M., Khwaja, A. S., & Anpalagan, A.** (2014). Optimization classification, algorithms and tools for renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 640–654. doi: [10.1016/j.rser.2014.07.120](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.120)
- [16] **Enerji, T. C., & Bakanlığı, T. K.** (2017). Ulusal enerji verimliliği eylem planı 2017-2023. Kasım, Ankara.
- [17] **Soğukpınar, F., Erkal, G., & Özer, H.** (2021). Simülasyon yaklaşımıyla Türkiye’de yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik talebi öngörüsü. *OPUS International Journal of Society Researches*, 18(42), 5314-5344. doi: [10.26466/opus.899204](https://doi.org/10.26466/opus.899204)
- [18] **Türkdoğan, S., Mercan, M. T., & Çatal, T.** (2020). Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: Teknik ve ekonomik analizleri. *European Journal of Science and Technology*, 476–485. doi: [10.31590/ejosat.688048](https://doi.org/10.31590/ejosat.688048)
- [19] **Obuah, E. C., Ahiakwo, C. O., Okowa, E. U., & Diema, E. J.** (2020). Analysis of autonomous hybrid wind/photovoltaic renewable energy system with load variation. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 4(2), 44.
- [20] **Bulut, F., Lüy, M., & Çam, E.** (2017). The effects of incentives on renewable energy resources for home users. *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 4(2), 94-100.
- [21] **Duman, A. C., & Güler, Ö.** (2020). Economic analysis of grid-connected residential rooftop PV systems in Turkey. *Renewable Energy*, 148, 697–711. doi: [10.1016/j.renene.2019.10.157](https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.157)
- [22] **Mekonnen, T., Bhandari, R., & Ramayya, V.** (2021). Modeling, analysis and optimization of grid-integrated and islanded solar pv systems for the ethiopian residential sector: Considering an emerging utility tariff plan for 2021 and beyond. *Energies*, 14(11), 3360. doi: [10.3390/en14113360](https://doi.org/10.3390/en14113360)

- [23] **Tomar, V., & Tiwari, G. N.** (2017). Techno-economic evaluation of grid connected PV system for households with feed in tariff and time of day tariff regulation in New Delhi – A sustainable approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 822–835. doi: [10.1016/j.rser.2016.11.263](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.263)
- [24] **Imam, A. A., Al-Turki, Y. A., & R., S. K.** (2019). Techno-economic feasibility assessment of grid-connected pv systems for residential buildings in Saudi Arabia—A case study. *Sustainability*, 12(1), 262. doi: [10.3390/su12010262](https://doi.org/10.3390/su12010262)
- [25] **Yilmaz, S., & Dincer, F.** (2017). Optimal design of hybrid pv-diesel-battery systems for isolated lands: A case study for Kilis, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 344–352. doi: [10.1016/j.rser.2017.04.037](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.037)
- [26] **Amrollahi, M. H., & Bathaee, S. M. T.** (2017). Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind generation together with energy storage system in a stand-alone micro-grid subjected to demand response. *Applied Energy*, 202, 66–77. doi: [10.1016/j.apenergy.2017.05.116](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.116)
- [27] **Ajlan, A., Tan, C. W., & Abdilahi, A. M.** (2017). Assessment of environmental and economic perspectives for renewable-based hybrid power system in Yemen. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 559–570. doi: [10.1016/j.rser.2016.11.024](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.024)
- [28] **Janko, S. A., Arnold, M. R., & Johnson, N. G.** (2016). Implications of high-penetration renewables for ratepayers and utilities in the residential solar photovoltaic (PV) market. *Applied Energy*, 180, 37–51. doi: [10.1016/j.apenergy.2016.07.041](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.041)
- [29] **Zahboune, H., Zouggar, S., Krajacic, G., Varbanov, P. S., Elhafyani, M., & Ziani, E.** (2016). Optimal hybrid renewable energy design in autonomous system using Modified Electric System Cascade Analysis and Homer software. *Energy Conversion and Management*, 126, 909–922. doi: [10.1016/j.enconman.2016.08.061](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.061)
- [30] **Kästel, P., & Gilroy-Scott, B.** (2015). Economics of pooling small local electricity prosumers—LCOE & self-consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 718–729. doi: [10.1016/j.rser.2015.06.057](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.057)
- [31] **Hernández-Torres, D., Urdaneta Urdaneta, A. J., & De Oliveira-De Jesus, P.** (2015). A hierarchical methodology for the integral net energy design of small-scale hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 100–110. doi: [10.1016/j.rser.2015.07.008](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.008)
- [32] **Ghasemi, A., Asrari, A., Zarif, M., & Abdelwahed, S.** (2013). Techno-economic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic–diesel–battery systems for rural electrification in eastern part of Iran—A step toward sustainable rural development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 456–462. doi: [10.1016/j.rser.2013.08.011](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.011)

- [33] **Lao, C., & Chungpaibulpatana, S.** (2017). Techno-economic analysis of hybrid system for rural electrification in Cambodia. *Energy Procedia*, 138, 524–529. doi: [10.1016/j.egypro.2017.10.239](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.239)
- [34] **Rahmat, M. A. A., Abd Hamid, A. S., Lu, Y., Ishak, M. A. A., Suheel, S. Z., Fazlizan, A., & Ibrahim, A.** (2022). An analysis of renewable energy technology integration investments in Malaysia using homer pro. *Sustainability*, 14(20), 13684. doi: [10.3390/su142013684](https://doi.org/10.3390/su142013684)
- [35] **Shahzad, M. K., Zahid, A., ur Rashid, T., Rehan, M. A., Ali, M., & Ahmad, M.** (2017). Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software. *Renewable Energy*, 106, 264–273. doi: [10.1016/j.renene.2017.01.033](https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.033)
- [36] **Kusakana, K., Munda, J. L., & Jimoh, A. A.** (2009). Feasibility study of a hybrid PV-micro hydro system for rural electrification. *AFRICON 2009*, 1–5. doi: [10.1109/AFRICON.2009.5308185](https://doi.org/10.1109/AFRICON.2009.5308185)
- [37] **Al-Ammar, E. A., Habib, H. U. R., Kotb, K. M., Wang, S., Ko, W., Elmorshedy, M. F., & Waqar, A.** (2020). Residential community load management based on optimal design of standalone hres with model predictive control. *IEEE Access*, 8, 12542–12572. doi: [10.1109/ACCESS.2020.2965250](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2965250)
- [38] **Habib, H. U. R., Wang, S., Elkadeem, M. R., & Elmorshedy, M. F.** (2019). Design optimization and model predictive control of a standalone hybrid renewable energy system: A case study on a small residential load in Pakistan. *IEEE Access*, 7, 117369–117390. doi: [10.1109/ACCESS.2019.2936789](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2936789)
- [39] **Jia, X., Du, H., Zou, H., & He, G.** (2020). Assessing the effectiveness of China's net-metering subsidies for household distributed photovoltaic systems. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121161. doi: [10.1016/j.jclepro.2020.121161](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121161)
- [40] **Guelleh, H. O., Patel, R., Kara-Zaitri, C., & Mujtaba, I. M.** (2023). Grid connected hybrid renewable energy systems for urban households in Djibouti: An economic evaluation. *South African Journal of Chemical Engineering*, 43, 215–231. doi: [10.1016/j.sajce.2022.11.001](https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.11.001)
- [41] **Liu, G., Rasul, M. G., Amanullah, M. T. O., & Khan, M. M. K.** (2012). Techno-economic simulation and optimization of residential grid-connected PV system for the Queensland climate. *Renewable Energy*, 45, 146–155. doi: [10.1016/j.renene.2012.02.029](https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.02.029)
- [42] **Rehman, S., Habib, H. U. R., Wang, S., Buker, M. S., Alhems, L. M., & Al Garni, H. Z.** (2020). Optimal design and model predictive control of standalone HRES: A real case study for residential demand side management. *IEEE Access*, 8, 29767–29814. doi: [10.1109/ACCESS.2020.2972302](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2972302)
- [43] **Miao, C., Teng, K., Wang, Y., & Jiang, L.** (2020). Technoeconomic analysis on a hybrid power system for the uk household using renewable energy: A case study. *Energies*, 13(12), 3231. doi: [10.3390/en13123231](https://doi.org/10.3390/en13123231)

- [44] **Balbin, J. R., Bautista, J. R. T., Manalansan, E. J. S., & Tumaliuan, J. P.** (2020). Hybrid renewable energy system model using homer as support to the power crisis in the philippines. *2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*, 1–6. doi: [10.1109/HNICEM51456.2020.9399990](https://doi.org/10.1109/HNICEM51456.2020.9399990)
- [45] **Miah, Md. S., Momen Swazal, Md. A., Mittro, S., & Islam, Md. M.** (2020). Design of a grid-tied solar plant using homer pro and an optimal home energy management system. *2020 IEEE International Conference for Innovation in Technology (INOCON)*, 1–7. doi: [10.1109/INOCON50539.2020.9298367](https://doi.org/10.1109/INOCON50539.2020.9298367)
- [46] **Adali, S., & Yalili Kiliç, M.** (2021). Evsel elektrik ihtiyacının hibrit yenilenebilir enerji sistemleriyle karşılanması: Bursa örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 520-526. doi: [10.28948/ngumuh.943002](https://doi.org/10.28948/ngumuh.943002)
- [47] **Nurunnabi, Md., Roy, N. K., Hossain, E., & Pota, H. R.** (2019). Size optimization and sensitivity analysis of hybrid wind/pv micro-grids- a case study for Bangladesh. *IEEE Access*, 7, 150120–150140. doi: [10.1109/ACCESS.2019.2945937](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2945937)
- [48] **Yalili Kiliç, M., & Adali, S.** (2021). Bir apartmanın elektrik ihtiyacının fotovoltaiik enerji sistemiyle karşılanması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1), 13-20. doi: [10.17798/bitlisfen.943628](https://doi.org/10.17798/bitlisfen.943628)
- [49] **Aziz, A., Tajuddin, M., Adzman, M., Ramli, M., & Mekhilef, S.** (2019). Energy management and optimization of a pv/diesel/battery hybrid energy system using a combined dispatch strategy. *Sustainability*, 11(3), 683. doi: [10.3390/su11030683](https://doi.org/10.3390/su11030683)
- [50] **Diemuodeke, E. O., Addo, A., Oko, C. O. C., Mulugetta, Y., & Ojapah, M. M.** (2019). Optimal mapping of hybrid renewable energy systems for locations using multi-criteria decision-making algorithm. *Renewable Energy*, 134, 461–477. doi: [10.1016/j.renene.2018.11.055](https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.055)
- [51] **Amupolo, A., Nambundunga, S., Chowdhury, D. S. P., & Grün, G.** (2022). Techno-economic feasibility of off-grid renewable energy electrification schemes: A case study of an informal settlement in Namibia. *Energies*, 15(12), 4235. doi: [10.3390/en15124235](https://doi.org/10.3390/en15124235)
- [52] **Dabas, Y. H. M.** (2021). *Design and analysis of a dc stand-alone photovoltaic-battery system for a rural house in Libya*. (Yüksek lisans tezi). Memorial University of Newfoundland, Canada.
- [53] **Erdin, C., & Ozkaya, G.** (2019). Turkey's 2023 energy strategies and investment opportunities for renewable energy sources: Site selection based on electre. *Sustainability*, 11(7), 2136. doi: [10.3390/su11072136](https://doi.org/10.3390/su11072136)
- [54] **URL-3** <<https://enerji.gov.tr>>, erişim tarihi 16.02.2023.
- [55] **Kılıç, U., & Kekezoğlu, B.** (2022). A review of solar photovoltaic incentives and Policy: Selected countries and Turkey. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(5), 101669. doi: [10.1016/j.asej.2021.101669](https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.101669)

- [56] **Cengiz, M. S., & Mamis, M. S.** (2015). Thermal solar energy use and Turkey analysis. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 5(2). doi: [10.17678/beujst.89565](https://doi.org/10.17678/beujst.89565)
- [57] **Dindar, S.** (2022). A comprehensive analysis of strategies, challenges and policies on Turkish sustainable energy development. *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, 7(3), 231-250. doi: [10.30931/jetas.1132618](https://doi.org/10.30931/jetas.1132618)
- [58] **URL-4** <<https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>>, erişim tarihi 11.02.2023.
- [59] **Özkan, A., Uslu, Y., & GediKli, E.** (2022). Wind power in Turkey's potential renewable energy and the Danish model. *Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(2), 26–35. doi: [10.25294/auibfd.1111423](https://doi.org/10.25294/auibfd.1111423)
- [60] **Sulukun, E.** (2018). An analysis of centennial wind power targets of Turkey. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 26(5), 2726–2736. doi: [10.3906/elk-1802-185](https://doi.org/10.3906/elk-1802-185)
- [61] **Yapıcıoğlu, M. F., Sayan, H. H., & Terzioğlu, H.** (2019). Karabük ilindeki alçak gerilim dağıtım sistemlerinde elektrik tüketiminin analizi. *European Journal of Science and Technology*, 411–417. doi: [10.31590/ejosat.638375](https://doi.org/10.31590/ejosat.638375)
- [62] **Li, C., Zhou, D., & Zheng, Y.** (2018). Techno-economic comparative study of grid-connected PV power systems in five climate zones, China. *Energy*, 165, 1352–1369. doi: [10.1016/j.energy.2018.10.062](https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.062)
- [63] **Issi, F., & Kaplan, O.** (2018). The determination of load profiles and power consumptions of home appliances. *Energies*, 11(3), 607. doi: [10.3390/en11030607](https://doi.org/10.3390/en11030607)
- [64] **Özkan, U.** (2021). *Şebekeye bağlı çatı üstü fotovoltaik sistem tasarımı ve analizi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [65] **Purlu, M., Beyarslan, S., & Turkay, B. E.** (2021). Optimal design of hybrid grid-connected microgrid with renewable energy and storage in a rural area in Turkey by using homer. *2021 13th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 263–267. doi: [10.23919/ELECO54474.2021.9677788](https://doi.org/10.23919/ELECO54474.2021.9677788)
- [66] **Aziz, A. S., Tajuddin, M. F. N., Adzman, M. R., & Ramli, M. A.** (2018). Feasibility analysis of PV/diesel/battery hybrid energy system using multi-year module. *International Journal of Renewable Energy Research*, 8(4), 1980-93.
- [67] **Shafik, M. B., Rashed, G. I., & Chen, H.** (2020). Optimizing energy savings and operation of active distribution networks utilizing hybrid energy resources and soft open points: Case study in Sohag, Egypt. *IEEE Access*, 8, 28704–28717. doi: [10.1109/ACCESS.2020.2966909](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2966909)

- [68] **Kumar, A., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. C.** (2018). Multiyear load growth based techno-financial evaluation of a microgrid for an academic institution. *IEEE Access*, 6, 37533–37555. doi: [10.1109/ACCESS.2018.2849411](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2849411)
- [69] **Rodrigues, S., Torabikalaki, R., Faria, F., Cafôfo, N., Chen, X., Ivaki, A. R., Mata-Lima, H., & Morgado-Dias, F.** (2016). Economic feasibility analysis of small scale PV systems in different countries. *Solar Energy*, 131, 81–95. doi: [10.1016/j.solener.2016.02.019](https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.02.019)
- [70] **Li, Y., Gao, W., & Ruan, Y.** (2018). Performance investigation of grid-connected residential PV-battery system focusing on enhancing self-consumption and peak shaving in Kyushu, Japan. *Renewable Energy*, 127, 514–523. doi: [10.1016/j.renene.2018.04.074](https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.04.074)
- [71] **Mayr, D., Schmidt, J., & Schmid, E.** (2014). The potentials of a reverse auction in allocating subsidies for cost-effective roof-top photovoltaic system deployment. *Energy Policy*, 69, 555–565. doi: [10.1016/j.enpol.2014.01.029](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.029)
- [72] **Demirci, A., Öztürk, Z., & Tercan, S. M.** (2023). Decision-making between hybrid renewable energy configurations and grid extension in rural areas for different climate zones. *Energy*, 262, 125402. doi: [10.1016/j.energy.2022.125402](https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125402)
- [73] **Mauler, L., Duffner, F., Zeier, W. G., & Leker, J.** (2021). Battery cost forecasting: A review of methods and results with an outlook to 2050. *Energy & Environmental Science*, 14(9), 4712–4739. doi: [10.1039/D1EE01530C](https://doi.org/10.1039/D1EE01530C)
- [74] **Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G.** (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. doi: [10.1016/j.comnet.2010.05.010](https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010)
- [75] **Mashal, I., Alsaryrah, O., Chung, T.-Y., Yang, C.-Z., Kuo, W.-H., & Agrawal, D. P.** (2015). Choices for interaction with things on Internet and underlying issues. *Ad Hoc Networks*, 28, 68–90. doi: [10.1016/j.adhoc.2014.12.006](https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2014.12.006)
- [76] **Marikyan, D., Papagiannidis, S., & Alamanos, E.** (2019). A systematic review of the smart home literature: A user perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 138, 139–154. doi: [10.1016/j.techfore.2018.08.015](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.015)
- [77] **Alsaryrah, O., Mashal, I., & Chung, T.-Y.** (2018). Bi-Objective Optimization for Energy Aware Internet of Things Service Composition. *IEEE Access*, 6, 26809–26819. doi: [10.1109/ACCESS.2018.2836334](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2836334)
- [78] **Augusto, J. C., & Nugent, C. D.** (2006). Smart Homes Can Be Smarter Designing Smart Homes (Vol. 4008, pp. 1–15). Springer Berlin Heidelberg. doi: [10.1007/11788485_1](https://doi.org/10.1007/11788485_1)
- [79] **Kelly, S. D. T., Suryadevara, N. K., & Mukhopadhyay, S. C.** (2013). Towards the Implementation of IoT for Environmental Condition Monitoring in Homes. *IEEE Sensors Journal*, 13(10), 3846–3853. doi: [10.1109/JSEN.2013.2263379](https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2263379)

- [80] **Al-Sarawi, S., Anbar, M., Abdullah, R., & Al Hawari, A. B.** (2020). Internet of Things Market Analysis Forecasts, 2020–2030. *2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4)*, 449–453. doi: [10.1109/WorldS450073.2020.9210375](https://doi.org/10.1109/WorldS450073.2020.9210375)
- [81] **Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M.** (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. doi: [10.1109/COMST.2015.2444095](https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095)
- [82] **Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., & Aharon, D.** (2015). Unlocking the potential of the Internet of Things. *McKinsey Global Institute*, 1.
- [83] **Mashal, I., & Shuhaiber, A.** (2019). What makes Jordanian residents buy smart home devices?: A factorial investigation using PLS-SEM. *Kybernetes*, 48(8), 1681–1698. doi: [10.1108/K-01-2018-0008](https://doi.org/10.1108/K-01-2018-0008)
- [84] **Davis, F. D.** (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319. doi: [10.2307/249008](https://doi.org/10.2307/249008)
- [85] **University of Michigan, & Bagozzi, R.** (2007). The Legacy of the Technology Acceptance Model and a Proposal for a Paradigm Shift. *Journal of the Association for Information Systems*, 8(4), 244–254. doi: [10.17705/1jais.00122](https://doi.org/10.17705/1jais.00122)
- [86] **Wilson, C., Hargreaves, T., & Hauxwell-Baldwin, R.** (2015). Smart homes and their users: A systematic analysis and key challenges. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(2), 463–476. doi: [10.1007/s00779-014-0813-0](https://doi.org/10.1007/s00779-014-0813-0)
- [87] **Yang, H., Lee, H., & Zo, H.** (2017). User acceptance of smart home services: An extension of the theory of planned behavior. *Industrial Management & Data Systems*, 117(1), 68–89. doi: [10.1108/IMDS-01-2016-0017](https://doi.org/10.1108/IMDS-01-2016-0017)
- [88] **Kim, S., & Yoon, J.** (2016). An exploratory study on consumer's needs on smart home in Korea. In Design, User Experience, and Usability: Technological Contexts. *5th International Conference, DUXU 2016, Held as Part of HCI International 2016, Toronto, Canada, Proceedings, Part III 5* (Vol. 9748, pp. 337–345). Springer International Publishing. doi: [10.1007/978-3-319-40406-6_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-40406-6_32)
- [89] **Balta-Ozkan, N., Amerighi, O., & Boteler, B.** (2014). A comparison of consumer perceptions towards smart homes in the UK, Germany and Italy: Reflections for policy and future research. *Technology Analysis & Strategic Management*, 26(10), 1176–1195. doi: [10.1080/09537325.2014.975788](https://doi.org/10.1080/09537325.2014.975788)
- [90] **Coughlan, T., Brown, M., Mortier, R., Houghton, R. J., Goulden, M., & Lawson, G.** (2012). Exploring acceptance and consequences of the internet of things in the home. *2012 IEEE International Conference on Green Computing and Communications*, 148–155. doi: [10.1109/GreenCom.2012.32](https://doi.org/10.1109/GreenCom.2012.32)

- [91] **URL-5** <<https://www.simonandschuster.com/books/Diffusion-of-Innovations-5th-Edition/Everett-M-Rogers/9780743222099>>, erişim tarihi 16.05.2023.
- [92] **Fishbein, M., & Ajzen, I.** (1975). Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research. *Addison-Wesley Publishing Company*.
- [93] **Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R.** (1989). User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models. *Management Science*, 35(8), 982–1003. doi: [10.1287/mnsc.35.8.982](https://doi.org/10.1287/mnsc.35.8.982)
- [94] **Gagnon, M.-P., Godin, G., Gagné, C., Fortin, J.-P., Lamothe, L., Reinhartz, D., & Cloutier, A.** (2003). An adaptation of the theory of interpersonal behaviour to the study of telemedicine adoption by physicians. *International Journal of Medical Informatics*, 71(2–3), 103–115. doi: [10.1016/S1386-5056\(03\)00094-7](https://doi.org/10.1016/S1386-5056(03)00094-7)
- [95] **Venkatesh, V., & Davis, F. D.** (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: four longitudinal field studies. *Management Science*, 46(2), 186–204. doi: [10.1287/mnsc.46.2.186.11926](https://doi.org/10.1287/mnsc.46.2.186.11926)
- [96] **Venkatesh, Morris, Davis, & Davis.** (2003). User acceptance of information technology: toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425. doi: [10.2307/30036540](https://doi.org/10.2307/30036540)
- [97] **Marangoz, M., & Coskun, T.** (2019). Hedonik ve faydacı tüketim davranışları ölçeğinin geliştirilmesi: güvenilirlik ve geçerlik çalışması. *Business and Economics Research Journal*, 10(2), 517–539. doi: [10.20409/berj.2019.183](https://doi.org/10.20409/berj.2019.183)
- [98] **Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R.** (1992). Extrinsic and intrinsic motivation to use computers in the workplace1. *Journal of Applied Social Psychology*, 22(14), 1111–1132. doi: [10.1111/j.1559-1816.1992.tb00945.x](https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1992.tb00945.x)
- [99] **Van Der Heijden, H.** (2003). Factors influencing the usage of websites: The case of a generic portal in The Netherlands. *Information & Management*, 40(6), 541–549. doi: [10.1016/S0378-7206\(02\)00079-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7206(02)00079-4)
- [100] **Rese, A., Schreiber, S., & Baier, D.** (2014). Technology acceptance modeling of augmented reality at the point of sale: Can surveys be replaced by an analysis of online reviews? *Journal of Retailing and Consumer Services*, 21(5), 869–876. doi: [10.1016/j.jretconser.2014.02.011](https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2014.02.011)
- [101] **Park, E., & Del Pobil, A. P.** (2013). Users' attitudes toward service robots in South Korea. *Industrial Robot: An International Journal*, 40(1), 77–87. doi: [10.1108/01439911311294273](https://doi.org/10.1108/01439911311294273)
- [102] **Shin, D.-H., & Kim, W.-Y.** (2008). Applying the technology acceptance model and flow theory to cyworld user behavior: implication of the Web2.0 user acceptance. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 11(3), 378–382. <https://doi.org/10.1089/cpb.2007.0117>

- [103] **Boyd, D. M., & Ellison, N. B.** (2007). Social network sites: definition, history, and scholarship. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 13(1), 210–230. doi: [10.1111/j.1083-6101.2007.00393.x](https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.2007.00393.x)
- [104] **Lee, Y. H., Hsieh, Y. C., & Hsu, C. N.** (2011). Adding innovation diffusion theory to the technology acceptance model: Supporting employees' intentions to use e-learning systems. *Journal of Educational Technology & Society*, 14(4), 124-137.
- [105] **Lu, Y., Zhou, T., & Wang, B.** (2009). Exploring Chinese users' acceptance of instant messaging using the theory of planned behavior, the technology acceptance model, and the flow theory. *Computers in Human Behavior*, 25(1), 29–39. doi: [10.1016/j.chb.2008.06.002](https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.06.002)
- [106] **Mehrabian, A., & Russell, J. A.** (1973). A measure of arousal seeking tendency. *Environment and Behavior*, 5(3), 315.
- [107] **Park, E., Kim, H., & Ohm, J. Y.** (2015). Understanding driver adoption of car navigation systems using the extended technology acceptance model. *Behaviour & Information Technology*, 34(7), 741–751. doi: [10.1080/0144929X.2014.963672](https://doi.org/10.1080/0144929X.2014.963672)
- [108] **Wixom, B. H., & Todd, P. A.** (2005). A theoretical integration of user satisfaction and technology acceptance. *Information Systems Research*, 16(1), 85–102.
- [109] **Gould, J. D., & Lewis, C.** (1985). Designing for usability: key principles and what designers think. *Communications of the ACM*, 28(3), 300-311.
- [110] **Chung, B. Y., Skibniewski, M. J., Lucas, H. C., & Kwak, Y. H.** (2008). Analyzing enterprise resource planning system implementation success factors in the engineering–construction industry. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 22(6), 373–382. doi: [10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2008\)22:6\(373\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2008)22:6(373))
- [111] **Yousafzai, S. Y., Foxall, G. R., & Pallister, J. G.** (2010). Explaining internet banking behavior: theory of reasoned action, theory of planned behavior, or technology acceptance model?. *Journal of Applied Social Psychology*, 40(5), 1172–1202. doi: [10.1111/j.1559-1816.2010.00615.x](https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2010.00615.x)
- [112] **Chang, Y., Dong, X., & Sun, W.** (2014). Influence of characteristics of the internet of things on consumer purchase intention. *Social Behavior and Personality: An International Journal*, 42(2), 321–330. doi: [10.2224/sbp.2014.42.2.321](https://doi.org/10.2224/sbp.2014.42.2.321)
- [113] **Onur, A. E.** (2018). *Akıllı ev sistemlerinin benimsenmesini etkileyen faktörlerin tüketici algıları üzerinden analizi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [114] **Balta-Ozkan, N., Boteler, B., & Amerighi, O.** (2014). European smart home market development: Public views on technical and economic aspects across the United Kingdom, Germany and Italy. *Energy Research & Social Science*, 3, 65–77. doi: [10.1016/j.erss.2014.07.007](https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.07.007)

- [115] **Crespo, Á. H., de los Salmones Sánchez, M. M. G., & del Bosque, I. R.** (2013). Influence of users' perceived compatibility and their prior experience on B2C e-commerce acceptance. In T. Matsuo & R. Colomo-Palacios (Eds.), *Electronic Business and Marketing: New Trends on its Process and Applications* (pp. 103–123). Springer. doi: [10.1007/978-3-642-37932-1_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-37932-1_8)
- [116] **Kim, S. H.** (2008). Moderating effects of Job Relevance and Experience on mobile wireless technology acceptance: Adoption of a smartphone by individuals. *Information & Management*, 45(6), 387–393. doi: [10.1016/j.im.2008.05.002](https://doi.org/10.1016/j.im.2008.05.002)
- [117] **Wessels, L., & Drennan, J.** (2010). An investigation of consumer acceptance of M-banking. *International Journal of Bank Marketing*, 28(7), 547–568. doi: [10.1108/02652321011085194](https://doi.org/10.1108/02652321011085194)
- [118] **Bertrand, M., & Bouchard, S.** (2008). Applying the technology acceptance model to VR with people who are favorable to its use. *Journal of Cyber Therapy & Rehabilitation*, 1(2), 200–210.
- [119] **Son, H., Park, Y., Kim, C., & Chou, J.-S.** (2012). Toward an understanding of construction professionals' acceptance of mobile computing devices in South Korea: An extension of the technology acceptance model. *Automation in Construction*, 28, 82–90. doi: [10.1016/j.autcon.2012.07.002](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.07.002)
- [120] **Hong, J.-C., Lin, P.-H., & Hsieh, P.-C.** (2017). The effect of consumer innovativeness on perceived value and continuance intention to use smartwatch. *Computers in Human Behavior*, 67, 264–272. doi: [10.1016/j.chb.2016.11.001](https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.11.001)
- [121] **Lu, J., Yao, J. E., & Yu, C.-S.** (2005). Personal innovativeness, social influences and adoption of wireless Internet services via mobile technology. *The Journal of Strategic Information Systems*, 14(3), 245–268. doi: [10.1016/j.jsis.2005.07.003](https://doi.org/10.1016/j.jsis.2005.07.003)
- [122] **Moore, B. J.** (1991). Money supply endogeneity: “reserve price setting” or “reserve quantity setting”? *Journal of Post Keynesian Economics*, 13(3), 404–413. doi: [10.1080/01603477.1991.11489857](https://doi.org/10.1080/01603477.1991.11489857)
- [123] **Taber, K. S.** (2018). The use of cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in Science Education*, 48(6), 1273–1296. doi: [10.1007/s11165-016-9602-2](https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2)
- [124] **D'Agostino, D., Cuniberti, B., & Bertoldi, P.** (2017). Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings. *Energy and Buildings*, 153, 72–86. doi: [10.1016/j.enbuild.2017.07.062](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.062)
- [125] **Ayan, O., & Emre Turkey, B.** (2022). A comparative study on harmonic analysis and thermal performance of different types of lamps for residential building. *Energy Reports*, 8, 932–945. doi: [10.1016/j.egyr.2022.05.271](https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.05.271)

- [126] **Gil-De-Castro, A., Medina-Gracia, R., Ronnberg, S. K., Blanco, A. M., & Meyer, J.** (2018). Differences in the performance between CFL and LED lamps under different voltage distortions. *2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 1–6. doi: [10.1109/ICHQP.2018.8378918](https://doi.org/10.1109/ICHQP.2018.8378918)
- [127] **Uddin, S., Shareef, H., & Mohamed, A.** (2013). Power quality performance of energy-efficient low-wattage LED lamps. *Measurement*, 46(10), 3783–3795. doi: [10.1016/j.measurement.2013.07.022](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.07.022)
- [128] **Cuk, V., Cobben, J. F. G., Kling, W. L., & Timens, R. B.** (2010). An analysis of diversity factors applied to harmonic emission limits for energy saving lamps. *Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power-ICHQP 2010*, 1–6. doi: [10.1109/ICHQP.2010.5625406](https://doi.org/10.1109/ICHQP.2010.5625406)
- [129] **Mansoor, A., Grady, W. M., Chowdhury, A. H., & Samotyi, M. J.** (1995). An investigation of harmonics attenuation and diversity among distributed single-phase power electronic loads. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 10(1), 467–473. doi: [10.1109/61.368365](https://doi.org/10.1109/61.368365)
- [130] **Maswood, A. I. & Zhu Jun.** (2003). Attenuation and diversity effect in harmonic current propagation study. *2003 IEEE Power Engineering Society General Meeting (IEEE Cat. No.03CH37491)*, 1480–1485. doi: [10.1109/PES.2003.1267374](https://doi.org/10.1109/PES.2003.1267374)
- [131] **Djokic, S. Z., & Collin, A. J.** (2014). Cancellation and attenuation of harmonics in low voltage networks. *2014 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 137–141. doi: [10.1109/ICHQP.2014.6842856](https://doi.org/10.1109/ICHQP.2014.6842856)
- [132] **Degroote, L., Renders, B., Meersman, B., & Vandeveld, L.** (2007). Harmonic nonlinear analysis of three-phase four-wire distribution networks. In *19th International Conference on Electricity Distribution*.
- [133] **Blanco, A. M., Meller, J., & Schegner, P.** (2014). Calculation of phase angle diversity for time-varying harmonic currents from grid measurement. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(12), 790–795. doi: [10.24084/repqj12.490](https://doi.org/10.24084/repqj12.490)
- [134] **McLorn, G., Laverty, D., Morrow, D. J., & McLoone, S.** (2019). Load and harmonic distortion characterization of modern low-energy lighting under applied voltage variation. *Electric Power Systems Research*, 169, 124–138. doi: [10.1016/j.epsr.2018.12.029](https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.12.029)
- [135] **El-Saadany, E. F., & Salama, M. M. A.** (1998). Reduction of the net harmonic current produced by single-phase non-linear loads due to attenuation and diversity effects. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 20(4), 259–268. doi: [10.1016/S0142-0615\(98\)00007-6](https://doi.org/10.1016/S0142-0615(98)00007-6)
- [136] **Gupta, S. D., Faruq, R., & Chowdhury, A. B.** (2016). A Comparative Study on Harmonics of Different Electric Bulbs. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 5(6), 156–166.

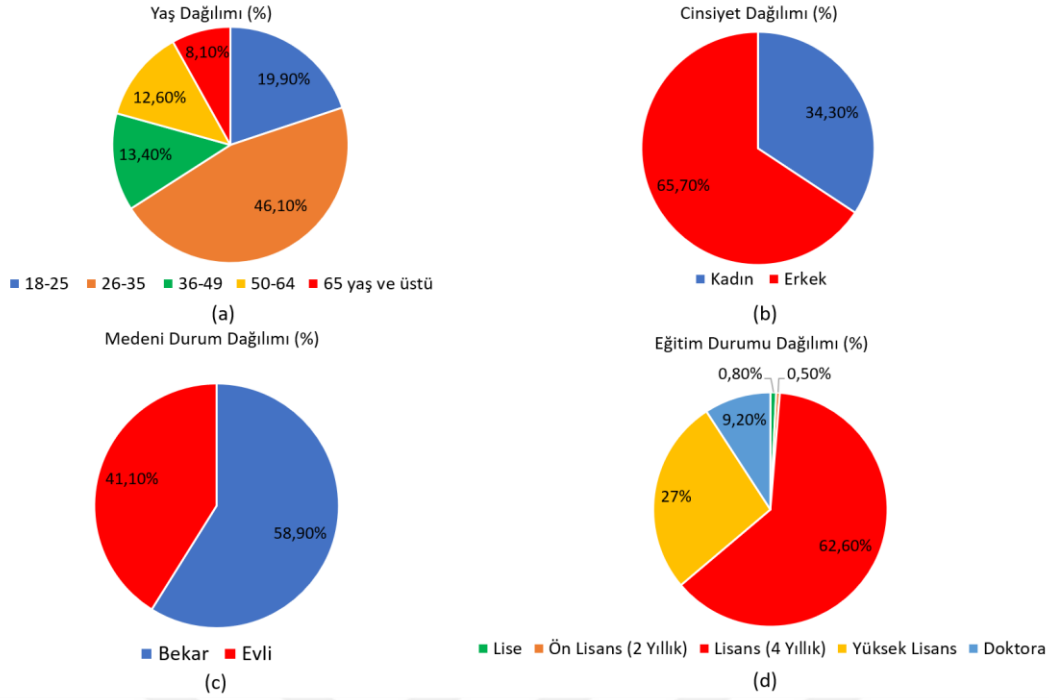
- [137] **Phannil, N., Jettanasen, C., & Ngaopitakkul, A.** (2018). Harmonics and reduction of energy consumption in lighting systems by using LED lamps. *Energies*, 11(11), 3169. doi: [10.3390/en11113169](https://doi.org/10.3390/en11113169)
- [138] **Dolara, A., & Leva, S.** (2012). Power quality and harmonic analysis of end user devices. *Energies*, 5(12), 5453–5466. doi: [10.3390/en5125453](https://doi.org/10.3390/en5125453)
- [139] **Islam, Mohd. S., Chowdhury, N. A., Sakil, A. K., Khandakar, A., Iqbal, A., & Abu-Rub, H.** (2015). Power quality effect of using incandescent, fluorescent, CFL and LED lamps on utility grid. *2015 First Workshop on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)*, 1–5. doi: [10.1109/SGRE.2015.7208731](https://doi.org/10.1109/SGRE.2015.7208731)
- [140] **Malgwi, A. I., & Amoo, A. L.** (2019). Modeling and simulation of compact fluorescent and light emitting diode lamps for harmonics analysis. *ATBU Journal of Science, Technology and Education*, 7(4), 141-147.
- [141] **Putz, Ł., & Nawrowski, R.** (2019). Research and analysis of selected LED lamps with E27 base in the field of harmonic distortion. *ITM Web of Conferences*, 28, 01010. doi: [10.1051/itmconf/20192801010](https://doi.org/10.1051/itmconf/20192801010)
- [142] **Gil-de-Castro, A., Ronnberg, S. K., Bollen, M. H. J., & Moreno-Munoz, A.** (2013). Harmonics from household equipment and different lamp technologies. *2013 International Conference-Workshop Compatibility And Power Electronics*, 1–6. doi: [10.1109/CPE.2013.6601119](https://doi.org/10.1109/CPE.2013.6601119)
- [143] **Oliveira, L., Fortes, M., Carvalho, D., Tomaz, R., Fragoso, A., & Queiroz, A.** (2017). Power quality analysis and thermal properties of the system associated with the change of fluorescent lamps for light emitting diode lamps. *CIREN - Open Access Proceedings Journal*, 2017(1), 800–804. doi: [10.1049/oap-cired.2017.0621](https://doi.org/10.1049/oap-cired.2017.0621)
- [144] **Bodart, M., Roisin, B., D'Herdt, P., Keppens, A., Hanselaer, P., Ryckaert, W. R., & Arnaud, D. G.** (2010). Performances of compact fluorescent lamps with integrated ballasts and comparison with incandescent lamps. *Light & Engineering*, 18(2).
- [145] **Ayan, O., & Turkay, B.** (2020). IoT-based energy efficiency in smart homes by smart lighting solutions. *2020 21st International Symposium on Electrical Apparatus & Technologies (SIELA)*, (pp. 1–5) IEEE. doi: [10.1109/SIELA49118.2020.9167065](https://doi.org/10.1109/SIELA49118.2020.9167065)
- [146] **Marsic, V., Amietszajew, T., Igit, P., Farammehr, S., & Fleming, J.** (2022). Wireless communication test on 868 MHz and 2.4 GHz from inside the 18650 li-ion enclosed metal shell. *Sensors*, 22(5), 1966. doi: [10.3390/s22051966](https://doi.org/10.3390/s22051966)



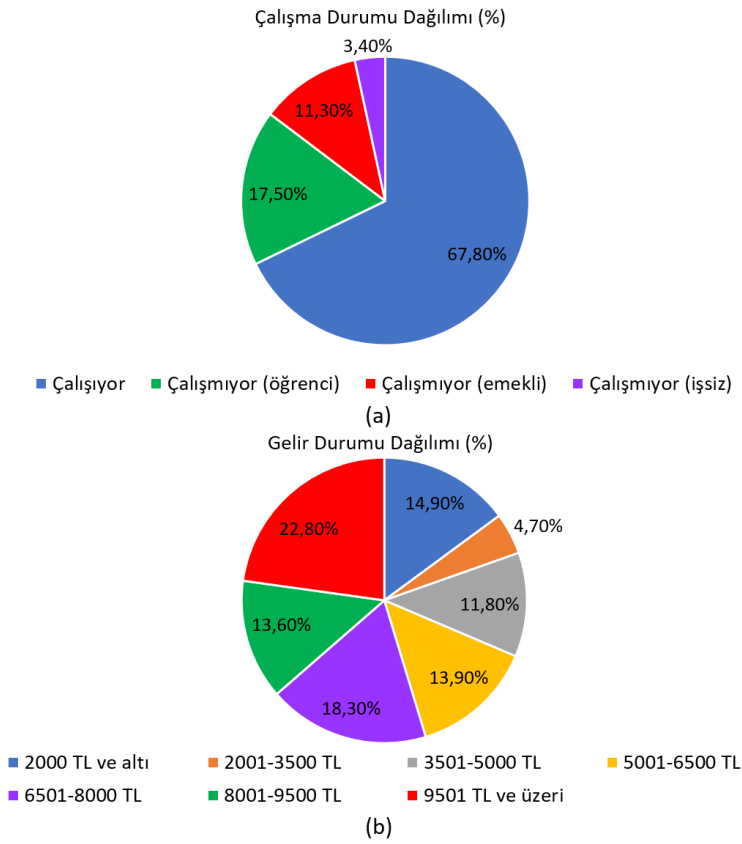
EKLER

EK A: Teknoloji kabul modeli kapsamında tanımlayıcı istatistikler.



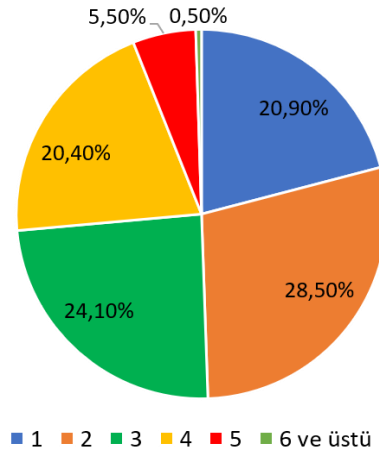


Şekil A.1 : Anket katılımcılarının demografik özellikleri: (a)yaş dağılımı. (b)cinsiyet dağılımı. (c)medeni durum dağılımı. (d)eğitim durumu dağılımı.

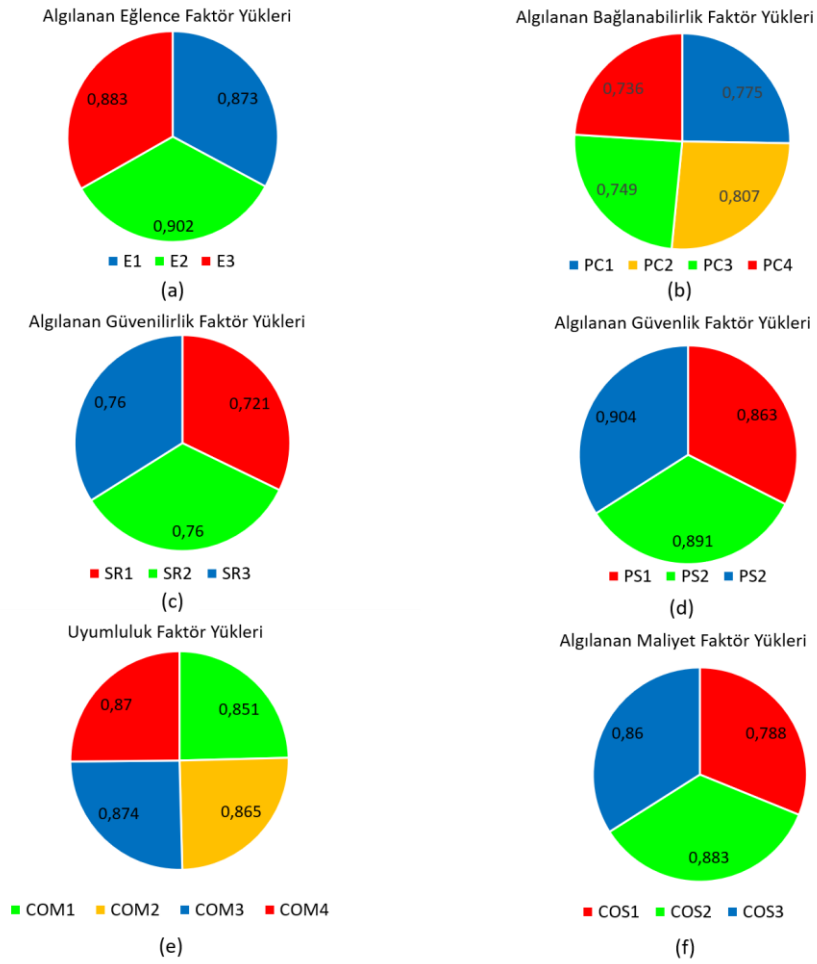


Şekil A.2 : Anketi cevaplayanların dağılımı: (a)çalışma durumu. (b)gelir durumu.

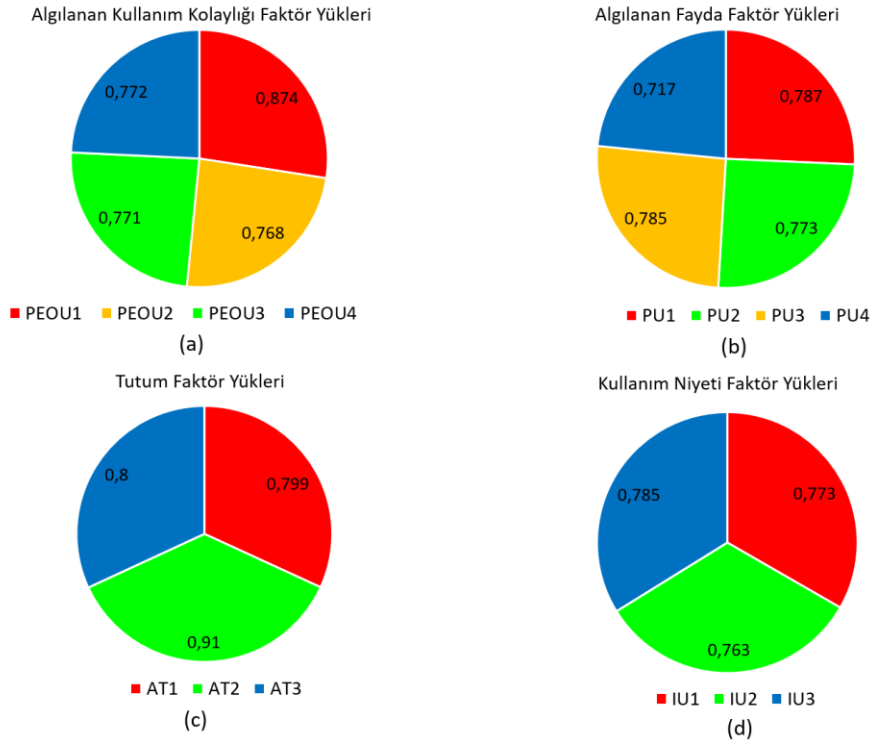
Hanede Yaşayan Kişi Sayısı Dağılımı (%)



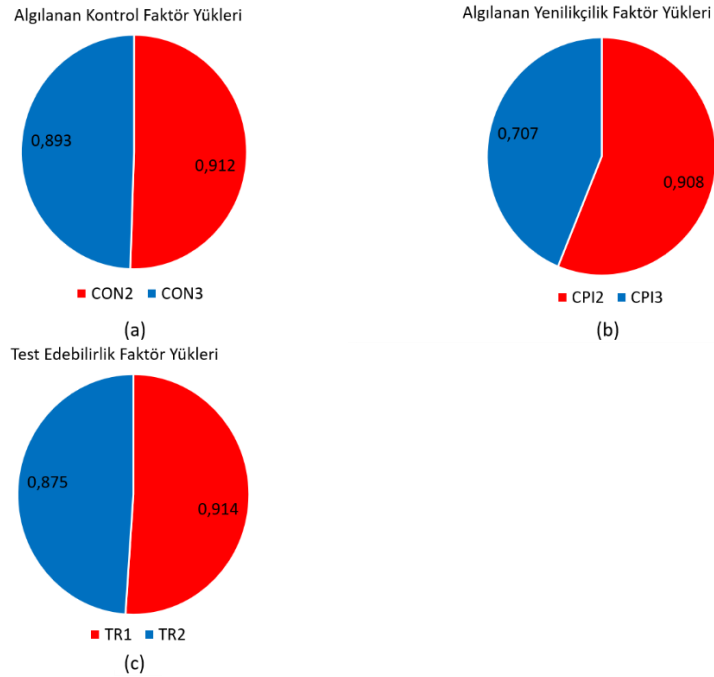
Şekil A.3 : Anket katılımcılarının birlikte yaşadığı kişi sayısı dağılımı.



Şekil A.4 : Faktör yükleri: (a)algılanan eğlence. (b)algılanan bağlanabilirlik. (c)algılanan güvenilirlik. (d)algılanan güvenlik. (e)uyumluluk. (f)algılanan maliyet.



Şekil A.5 : Temel faktör yükleri: (a)algılanan kullanım kolaylığı. (b)algılanan fayda. (c)tutum. (d)kullanım niyeti.



Şekil A.6 : Faktör yükleri: (a)algılanan kontrol. (b)algılanan yenilikçilik. (c)test edebilirlik.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Onur AYAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2015, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** :2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- (2021-devam) Aselsan A.Ş.'de Sistem Mühendisi olarak çalışmaktadır.
- (2016-2021) İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Ayan, O., & Turkey, B. E.** (2023). Techno-Economic Comparative Analysis of Grid-connected and Islanded Hybrid Renewable Energy Systems in 7 Climate Regions, Turkey. *IEEE Access*, 11, 48797-48825. doi: [10.1109/ACCESS.2023.3276776](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3276776)
- **Ayan, O., & Turkey, B. E.** (2022). A comparative study on harmonic analysis and thermal performance of different types of lamps for residential building. *Energy Reports*, 8, 932-945. doi: [10.1016/j.egyr.2022.05.271](https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.05.271)
- **Ayan, O., & Türkay, B.** (2021). Factors affecting the adoption of smart home systems in the context of technology acceptance model. In *2021 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)* (pp. 1-7). IEEE. doi: [10.1109/ASYU52992.2021.9599050](https://doi.org/10.1109/ASYU52992.2021.9599050)
- **Ayan, O., & Turkey, B.** (2020). IoT-based energy efficiency in smart homes by smart lighting solutions. In *2020 21st International Symposium on Electrical Apparatus & Technologies (SIELA)* (pp. 1-5). IEEE. doi: [10.1109/SIELA49118.2020.9167065](https://doi.org/10.1109/SIELA49118.2020.9167065)

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Özli, Ş., Çiftçi, H., **Ayan, O.**, & Turkey, B. E. (2019). Energy Quality Analysis of Grid-Connected Solar Inverter Topologies. In *2019 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)* (pp. 997-1001). IEEE. doi: [10.23919/ELECO47770.2019.8990392](https://doi.org/10.23919/ELECO47770.2019.8990392)
- Saçlı, M., **Ayan, O.**, Silsüpür, M., & Türkay, B. E. (2019). Power quality comparison of single-phase and three-phase inverter topologies for renewable energy systems. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 8(2), (pp. 174-183). IEEE. doi: [10.12720/sgce.8.2.174-183](https://doi.org/10.12720/sgce.8.2.174-183)
- **Ayan, O.**, & Turkey, B. (2018). Improvement of Home Energy Awareness through the Designed Graphical User Interface. In *2018 6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT)* (pp. 1-6). IEEE. doi: [10.1109/CEIT.2018.8751839](https://doi.org/10.1109/CEIT.2018.8751839)
- **Ayan, O.**, & Turkey, B. (2018). Smart thermostats for home automation systems and energy savings from smart thermostats. In *2018 6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT)* (pp. 1-6). IEEE. doi: [10.1109/CEIT.2018.8751790](https://doi.org/10.1109/CEIT.2018.8751790)
- Can, B., **Ayan, O.**, Silsüpür, M., & Türkay, B. E. (2018). Harmonic effects of electric vehicles on low voltage distribution transformers and power grid. In *2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-6). IEEE. doi: [10.1109/ISMSIT.2018.8566696](https://doi.org/10.1109/ISMSIT.2018.8566696)
- Günbati, H. Y., **Ayan, O.**, & Türkay, B. E. (2018). The Investigation of Economic and Technical Management Algorithms of Solar Energy Systems Based on Grid Connection. In *2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-7). IEEE. doi: [10.1109/ISMSIT.2018.8567295](https://doi.org/10.1109/ISMSIT.2018.8567295)
- **Ayan, O.**, Jafarzadeh, N., & Turkey, B. (2018). An examination of the effects of distributed generation on distribution systems by load flow analysis. In *2018 20th International symposium on electrical apparatus and technologies (SIELA)* (pp. 1-6). IEEE. doi: [10.1109/SIELA.2018.8447117](https://doi.org/10.1109/SIELA.2018.8447117)
- **Ayan, O.**, & Turkey, B. (2018). Energy management algorithm for peak demand reduction. In *2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)* (pp. 1-4). IEEE. doi: [10.1109/SIELA.2018.8447088](https://doi.org/10.1109/SIELA.2018.8447088)
- **Ayan, O.**, & Turkey, B. (2018). Domestic electrical load management in smart grids and classification of residential loads. In *2018 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE)* (pp. 279-283). IEEE. doi: [10.1109/ICEEE2.2018.8391346](https://doi.org/10.1109/ICEEE2.2018.8391346)
- Yıldız, B., Çiftçi, H., **Ayan, O.**, & Türkay, B. E. (2018). Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Etkisinin Maliyet Analizi ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. *Güç Sistemleri Konferansı* (pp. 7-12). doi: [10.5281/ZENODO.1482364](https://doi.org/10.5281/ZENODO.1482364)
- **Ayan, O.**, Demirez, D., Kızılöz, H. K., İnci, G., İşleyen, S., & Ergin, S. (2018). The detection of spoiled fruits on a conveyor belt using image processing techniques and OPC server software. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 4(1), 11-15. doi: [10.22399/ijcesen.398335](https://doi.org/10.22399/ijcesen.398335)

- **Ayan, O.,** & Turkey, B. E. (2017). Smart home energy management technologies based on demand side management and a review of smart plugs with smart thermostats. In *2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)* (pp. 1247-1252). IEEE.
- Saçlı, M., **Ayan, O.,** Silsüpür, M., & Turkey, B. E. (2017). Investigation of power quality analysis of three-phase inverter topologies for renewable energy systems. In *2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)* (pp. 1445-1449). IEEE.
- Delkhooni, M., **Ayan, O.,** Purlu, M., & Turkey, B. (2017). Optimal capacitor placement in radial distribution system using genetic algorithm method. In *2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)* (pp. 1491-1495). IEEE.
- **Ayan, O.,** & Turkey, B. E. (2017). Comparison of lighting technologies in residential area for energy conservation. In *2017 2nd International Conference Sustainable and Renewable Energy Engineering (ICSREE)* (pp. 116-120). IEEE. doi: [10.1109/ICSREE.2017.7951523](https://doi.org/10.1109/ICSREE.2017.7951523)
- Sevil, M., **Ayan, O.,** & Turkey, B. (2017). Economic and environmental load dispatch using genetic algorithm. In *2017 2nd International Conference Sustainable and Renewable Energy Engineering (ICSREE)* (pp. 53-57). IEEE. doi: [10.1109/ICSREE.2017.7951510](https://doi.org/10.1109/ICSREE.2017.7951510)