



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ DESTEKLİ MİKRO ŞEBEKE TASARIMI VE
BÖLGESEL BAZDA ANALİZİ: KAMU BİNASI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İLHAN ŞİRİN

DANIŞMAN: PROF. DR. SUNAY TÜRKDOĞAN

**YALOVA
OCAK 2025**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

YENİLENEBİLİR ENERJİ DESTEKLİ MİKRO ŞEBEKE TASARIMI VE BÖLGESEL
BAZDA ANALİZİ: KAMU BİNASI ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İLHAN ŞİRİN
218105023

DANIŞMAN: PROF. DR. SUNAY TÜRKDOĞAN

YALOVA
OCAK 2025

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “ YENİLENEBİLİR ENERJİ DESTEKLİ MİKRO ŞEBEKE TASARIMI VE BÖLGESEL BAZDA ANALİZİ: KAMU BİNASI ÖRNEĞİ ” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İlhan ŞİRİN



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, tez çalışmamın tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, titizlikle yönlendiren, birlikte çalışmaktan onur duyduğum Sayın Hocam Prof. Dr. Sunay TÜRKDOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimi ve tez hazırlık çalışmaları sırasında büyük bir sabırla beni destekleyen, her zaman yanımda olan, gösterdiği sabır ve özveriden dolayı sevgili eşim Elk. Müh. Kübra ŞİRİN'e ve varlıklarıyla mutluluk kaynağımız olan canım kızlarım Selin ŞİRİN ve Ela ŞİRİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması desteklenmesine olanak sağlayan Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine (Proje No: 2021/YL/0001) teşekkür ederim.

Ocak – 2025

İlhan ŞİRİN

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Çalışması	4
1.2. Dünya’da Enerji Durumu	7
1.3. Türkiye’de Enerji Durumu	8
1.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	10
1.2.1. Güneş enerjisi	11
1.2.2. Rüzgâr enerjisi	13
1.2.3. Biyogaz enerjisi	14
1.2.4. Hidroelektrik enerjisi	15
1.2.5. Jeotermal enerjisi	16
1.5. Elektrikli Araçlar	16
1.6. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile İlgili Mevzuat ve Yönetmelikler	18
1.6.1. 5627 sayılı enerji verimliliği kanunu	18
1.6.2. Binalarda enerji performansı yönetmeliği	19
1.6.3. Kamu binalarında enerji tasarrufu ile ilgili 2019/18 sayılı Cumhurbaşkanlığı genelgesi	19
1.6.4. Kamu binalarında enerji tasarrufu ile ilgili 04/11/2023 tarihli Cumhurbaşkanlığı genelgesi	20
2. HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİ	21
2.1. Geleneksel Sistem Yapısı	21
2.1.1. Şebekeye bağlı sistemler (on-grid)	21
2.1.2. Şebekeden bağımsız sistemler (off-grid)	22
2.2. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi Elemanları	23
2.2.1. Güneş panelleri	23
2.2.2. Şarj regülatörleri	26
2.2.2.1. PWM şarj regülatörleri	26

2.3.2.2. MPPT şarj regülatörleri	27
2.2.3. Eviriciler – Dönüştürücü (İnverter)	27
2.2.4. Akü (Akümülatör)	28
3. MATERYAL VE METOD	29
3.1. Bursa İlinin Coğrafi Özellikleri	29
3.2. Bursa İlinin Güneş Enerjisinin Durumu	30
3.3. Bursa İlinin Rüzgâr Enerjisinin Durumu	31
3.4. Bursa Büyükşehir Belediyesi Ek Hizmet Binası ve Özellikleri	32
3.5. Yerleşke ve Fen İşleri Hizmet Binasına Ait Elektrik Tesisatı	33
3.6. Binanın Enerji Tüketimi:	35
3.7. Homer Simülasyon Programının Tanıtılması	38
3.8. Skellion - SketchUp Modelleme Programlarının Tanıtılması	39
3.9. Şebekeye Bağlı Satış Yapılamayan Hibrit Enerji Sistemi (Öz tüketim Modeli)	46
3.10. Şebekeye Bağlı Satış Yapılabilen Hibrit Enerji Sist. (Mahsuplaşma Yöntemi).....	54
3.11. Şebekeye Bağlı Hibrit Enerji Sist. Elektrikli Araç Şarj İst. Entegre Edilmesi .	63
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	73
EKLER	80
Ek.1- İşyeri İzin Belgesi	81
ÖZGEÇMİŞ	81

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

°C	: Santigrat derece
CO ₂	: Karbondioksit (carbon dioxide)
I _{ph}	: Fotovoltaik hücrenin fotovoltaik akımı
I _{pv}	: Fotovoltaik hücrenin çıkış akımı
kWh/m ²	: Kilo watt saat / metrekare (kilo watt hour / square meter)
kWh/m ² -yr	: Kilo watt saat / metrekare-yıl (kilo watt hour / square meter-year)
kWh/m ² /day	: kilowatt saat/metrekare/gün (kilo watt hour/squaremeter/day)
MTEP / Yıl	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol / Yıl
m ²	: Metrekare
RS	: Seri direnç
RP	: Paralel direnç
TL	: Türk lirası
V _{pv}	: Fotovoltaik hücrenin çıkış gerilimi

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Alternatif Akım (Alternative Current)
BEPA	: Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
COE	: Birim Enerji Maliyeti (Cost of Energy)
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPİAŞ	: Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
GEPA	: Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
HOMER	: Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo Watt Saat (Kilo Watt Hour)
kWh/m ²	: Kilo Watt Saat / Metre Kare (Kilo Watt Square Meter)
kVA	: Kilo Volt Amper
LED	: Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)
LCD	: Sıvı Kristal Ekran (Liquid Crystal Display)
LPG	: Likit Petrol Gazı (Liquified Petroleum Gas)
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MPPT	: Maksimum Güç Noktası Takipçisi (Maximum Power Point Tracking)
MW	: Megawatt
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NSEB	: Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar
NREL	: Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (National Renewable Energy Laboratory)
NPC	: Net Şimdiki Fiyat (Net Present Cost)
OSOS	: Otomatik Sayaç Okuma Sistemi
PV	: Fotovoltaik
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
REPA	: Rüzgâr Enerji Potansiyeli Atlası
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TL	: Türk Lirası
TWh	: Tera Watt Saat (Tera Watt Hour)
UEDAŞ	: Uludağ Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
UPS	: Kesintisiz Güç Kaynağı (Uninterruptible Power Supply)
V	: Volt
W	: Watt
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması



TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Yenilebilir enerji kurulu güç değişimi (teiaş sistem raporlarına göre) [32].....	11
Tablo 3.1. Yerleşkenin yıllık elektrik tüketimi (kWh).....	36
Tablo 3.2. UEDAŞ OSOS sisteminden alınan günlük elektrik tüketim tablosu	37
Tablo 3.3. 01/10/2023 Tarihli EPDK tarafından yayınlanan tarife tabloları [74].....	44
Tablo 3.4. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi optimizasyon sonuçları	47
Tablo 3.5. Sistem Kurulum Maliyeti.....	48
Tablo 3.6. Şebekeden alınan ve hibrit sistemden sağlanan enerji değerleri.....	50
Tablo 3.7. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi optimizasyon sonuçları	52
Tablo 3.8. Sistem kurulum maliyeti	52
Tablo 3.9. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi optimizasyon sonuçları	55
Tablo 3.10. Sistem Kurulum Maliyeti.....	56
Tablo 3.11. PV paneli çıkış değerleri	56
Tablo 3.12. Şebekeden enerji alış ve enerji veriş değerleri.....	57
Tablo 3.13. Farklı güçlerde PV yerleşimi için optimizasyon sonuçları	59
Tablo 3.14. Farklı şehirler için yapılan çalışmalar	60
Tablo 3.15. Sisteme ait aylık mahsuplaşma	60
Tablo 3.16. Sisteme ait yıllık mahsuplaşma.....	60
Tablo 3.17. Kamu yük profili ve mesken yük profili satın alınan ve şebekeye satılan enerji değerleri.....	62
Tablo 3.19. Sistem kurulum maliyeti	65
Tablo 3.20. Sisteme eklenen elektrik araç sarj istasyonları sonrasında şebekeden satın alınan ve şebekeye satılan enerji miktarı.....	66

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünya’da kaynaklara göre elektrik üretimi [28].	7
Şekil 1.2. Dünya’da yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretim payı	8
Şekil 1.3. Türkiye kurulu gücünün yıllara göre değişimi [30].	8
Şekil 1.4. Enerji kaynaklarına göre Türkiye kurulu gücü [30].	9
Şekil 1.5. Enerji kaynaklarına göre Türkiye kurulu gücü [30].	9
Şekil 1.6. Türkiye’de elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı [32].	10
Şekil 1.7. GEPA güneş enerjisi potansiyel atlası [33].	12
Şekil 1.8. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m ² gün) - Türkiye güneşlenme süreleri (Saat) [33].	12
Şekil 1.9. REPA rüzgar hızı dağılımı [19].	13
Şekil 1.10. Rüzgar enerjisine dayalı kurulu güç [39].	14
Şekil 1.11. Biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç [41].	15
Şekil 1.12. Hidrolik enerjisi kurulu güç değişimi [24].	15
Şekil 1.13. Jeotermal enerjisi kurulu güç değişimi [45].	16
Şekil 1.14. Elektrikli araç prensip şeması [47].	17
Şekil 1.15. Dünyada elektrik ve hibrit araç sayısı [48].	17
Şekil 1.16. Türkiye’de elektrikli ve hibrit araç sayısı [48].	18
Şekil 2.1. Şebekeye bağlı on-grid sistem	22
Şekil 2.2. Şebekeden bağımsız off-grid sistem	23
Şekil 2.3. Fotovoltaik modül yapısı	24
Şekil 2.4. PV hücre modeli.	24
Şekil 2.5. Optimum PV hücresi şeması.	25
Şekil 2.6. PV modül akım ve gerilim grafiği	25
Şekil 2.7. Monokristal ve polikristal panel görünümü	25
Şekil 2.8. PV panel garanti süreleri [61].	26
Şekil 2.9. MPPT ve PWM şarj regülatörü.	27
Şekil 2.10. Evirici (inverter).	27
Şekil 2.11. Solar akü	28
Şekil 3.1. Bursa ili için güneş enerjisi potansiyel atlası [67].	30
Şekil 3.2. Bursa ili güneşlenme süresi ve güneş ışıınım değerleri	31
Şekil 3.3. Bursa ili ortalama rüzgâr hızı dağılımı [68].	31
Şekil 3.4. Bursa büyükşehir belediyesi ek hizmet binası drone çekimi	32
Şekil 3.5. Bursa büyükşehir belediyesi ek hizmet binası drone çekimi	33
Şekil 3.6. Bursa büyükşehir belediyesi ek hizmet binası drone çekimi	33

Şekil 3.7. Bursa büyükşehir belediyesi ek hizmet binası drone çekimi	33
Şekil 3.8. Yerleşkeye ait tek-hat şeması.....	34
Şekil 3.9. UEDAŞ OSOS sistemi üzerinden alınan yerleşkeye ait aylık bazda elektrik tüketimi.....	35
Şekil 3.10. Haftalık elektrik tüketimi	35
Şekil 3.11. Günlük elektrik tüketim grafiği.....	37
Şekil 3.12. Temsili carport görseli	39
Şekil 3.13. Yerleşkenin 3 boyutlu modeli	40
Şekil 3.14. Yerleşkenin 3 boyutlu modeli	40
Şekil 3.15. Yerleşkenin 3 boyutlu modeli	41
Şekil 3.16. Tasarlanan sistemde kullanılacak PV panel [72].	41
Şekil 3.17. PV panele ait teknik veriler [72].	42
Şekil 3.18. Mevzuat gelişimi [73].	43
Şekil 3.19. HOMER Programı Üzerinden Giriş Yapılan Koordinat ve Adres Bilgileri	45
Şekil 3.20. Bursa ili için HOMER programı üzerinden alınan güneş ışıınımı ve rüzgâr hızı verileri	45
Şekil 3.21. Homer Programı Tarafından Tesise Ait Oluşturulan Günlük Yük Profili.....	45
Şekil 3.22. HOMER programı tarafından oluşturulan sezonluk yük profili	46
Şekil 3.23. HOMER programı tarafından yıllık yük profili	46
Şekil 3.24. Hibrit enerji sistem simülasyon modeli	46
Şekil 3.25. Sistem kurulum maliyeti	47
Şekil 3.26. Güneş enerji sistemi maliyeti.....	48
Şekil 3.27. Ortalama aylık elektrik üretimi	48
Şekil 3.28. PV panel güç çıkışı	49
Şekil 3.29. Şebekeden enerji alış grafikleri.....	49
Şekil 3.30. Dönüştürücü çıkış değerleri	50
Şekil 3.31. Sistem kurulum ve amortisman süresi arasındaki ilişki grafiği	51
Şekil 3.32. Güneş enerji sistemi maliyeti.....	52
Şekil 3.33. Ortalama aylık elektrik üretimi	53
Şekil 3.34. Şebekeden enerji alış grafikleri.....	53
Şekil 3.35. Şebekeden satın alınan enerjiye ait ısı haritası.....	53
Şekil 3.36. Sistem kurulum ve amortisman süresi arasındaki ilişki grafiği	54
Şekil 3.37. Sistem kurulum maliyeti	55
Şekil 3.38. Güneş enerji sistemi maliyeti.....	56
Şekil 3.39. PV paneli çıkış değerleri	56
Şekil 3.40. Şebekeden enerji alış ve enerji veriş grafikleri	57

Şekil 3.41. Aylık ortalama elektrik üretimi grafiğı	58
Şekil 3.42. Sistem kurulum ve amortisman süresi arasındaki ilişki grafiğı	58
Şekil 3.43. Farklı şehirler için yapılan çalışmlar	59
Şekil 3.44. Kamu binası yük profili	61
Şekil 3.45. Mesken yük profili	61
Şekil 3.46. Kamu yük profili aylık tüketim.....	62
Şekil 3.47. Mesken yük profili aylık tüketim.....	62
Şekil 3.48. Kamu binası şebekeden satın alınan ve şebekeye satılan enerji değerleri	62
Şekil 3.49. Mesken profili şebekeden satın alınan ve şebekeye satılan enerji değerleri.....	62
Şekil 3.50. Hibrit enerji sistem simülasyon modeli	63
Şekil 3.51. Hibrit enerji sistemine dahil edilen araç sarj istasyonlarına ait ısı haritası	64
Şekil 3.52. Sistem kurulum maliyeti	65
Şekil 3.53. 5 Adet Araç sarj istasyonu için toplam sarj süresi grafiğı	65

YENİLENEBİLİR ENERJİ DESTEKLİ MİKRO ŞEBEKE TASARIMI VE BÖLGESEL BAZDA ANALİZİ: KAMU BİNASI ÖRNEĞİ

ÖZET

Günümüzde üretilen elektrik enerjisinin büyük bölümü fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi hava kirliliği ve küresel ısınmayla birlikte ekolojik sisteme zarar vermektedir. Fosil yakıtların tükenebilir nitelikte enerji kaynaklarından olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının ise tükenme gibi bir sorununun olmaması, çevresel faktörlerde göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerjiyi popüler hale getirmiştir. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının doğasından kaynaklanan süreklilik probleminin giderilmesi amacıyla şebekeye bağlı ve ada modunda kullanılabilen hibrit yenilenebilir enerji sistemleri kullanılmaktadır. Kamu binalarının tüm yaşam dönemi düşünüldüğünde, enerji tüketimi en büyük maliyete sahip kalemlerden biridir ve enerji kullanımında yapılacak iyileştirmeler binanın yaşam dönemi masraflarının da büyük ölçüde azalmasını sağlayarak ülke ekonomisine önemli katkılarda bulunacaktır. Bu çalışmada Bursa ilinde referans alınan ve enerji ihtiyacı enterkonnekte sistem vasıtasıyla konvansiyonel enerji kaynaklarından sağlanan Bursa Büyükşehir Belediyesi Ek Hizmet Binasının enerji ihtiyacının hibrit yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılanması, mevcut enerji kaynaklarının potansiyelleri dikkate alınarak en uygun hibrit güç üretim sisteminin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada öncelikli olarak kamu binasının otomatik sayaç okuma sistemi (OSOS) üzerinden elektrik tüketimleri anlık bir şekilde reel olarak belirlenmiş ve kamu binasına ait yük profili hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında kamu binası SketchUp programında üç boyutlu olarak modellenerek Skelion programı ile gölgelenme ve performans analizleri dikkate alınarak optimum PV panel yerleşimleri yapılmıştır. Bu çalışmada simülasyon, optimizasyon ve duyarlılık analizleri HOMER yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, şebekeye enerji satışının yapılmadığı ve yalnızca öz tüketimin dikkate alındığı senaryolar analiz edilmiştir. İkinci olarak, üretilen fazla enerjinin şebekeye satıldığı, diğer bir ifadeyle mahsuplaşma yönteminin ele alındığı, bunun yanında farklı coğrafyalarda bulunan ve benzer özelliklere sahip kamu binaları için gerçekleştirilen analizler ile aylık ve yıllık mahsuplaşma gibi senaryolar değerlendirilmiştir. Üçüncü olarak, kamu binasına ait yük profiline elektrikli araç şarj istasyonlarının entegre edilmesi durumunda, enerji ihtiyacının hibrit yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması yönünde kapsamlı analizler yapılmıştır.

Yapılan çalışmalarda dağıtım şirketinden 1 kWh elektrik enerjisi alış bedelinin 0,127\$ olduğu dikkate alındığında şebekeye enerji satışı yapılamayan kamu binalarında elektrik enerjisi birim fiyatının 0,0748 \$ olarak hesaplandığı ve elektrik enerjisinin kWh başına % 41,10 daha ucuza elde edildiği, tasarlanan hibrit enerji sisteminde üretilen fazla elektriğin şebekeye geri satılması yönünde yapılan incelemede elektrik enerjisi birim fiyatının 0,0387 \$ olarak hesaplandığı ve elektrik enerjisinin kWh başına % 69,52 daha ucuza elde edildiği, ayrıca % 54,6 oranında daha temiz bir enerji elde edileceği, aynı özellikteki kamu binasının farklı coğrafyalarda yapılan analizlerde Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasında (GEPA) verilen güneş ışınım değerleri ile uygun sonuçlar elde edildiği bölgeler arasında %50 oranında enerji birim fiyatında azalma olduğu, hibrit enerji sistemine dahil edilen elektrikli araç şarj istasyonları ile oluşturulan modelde elektrik enerjisi birim fiyatının 0,0440 \$ olarak hesaplandığı ve elektrik enerjisinin kWh başına %65,35 daha ucuza elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Kamu Binalarında Enerji Verimliliği, Sürdürülebilirlik, Homer

DESIGN AND REGIONAL ANALYSIS OF A RENEWABLE ENERGY-SUPPORTED MICROGRID: A PUBLIC BUILDING EXAMPLE

ABSTRACT

A significant portion of the electricity produced today is derived from fossil fuels. Electricity generation from fossil fuels contributes to air pollution, global warming, and the resulting effects of climate change, thereby harming the ecological system. The decreasing lifespan and eventual depletion of fossil fuels, coupled with the inexhaustible nature of renewable energy sources, have made renewable energy increasingly popular. However, to address the intermittency issues inherent in renewable energy sources, hybrid renewable energy systems capable of operating in both grid-connected and islanded modes are utilized. Over the life cycle of public buildings, energy consumption constitutes one of the largest cost components. Improvements in energy usage can significantly reduce life cycle costs, thereby making substantial contributions to the national economy. In this study, the energy demand of the Bursa Metropolitan Municipality Additional Service Building, located in Bursa and currently supplied by conventional energy sources via the interconnected grid, was analyzed with the aim of meeting this demand using hybrid renewable energy sources. The study focused on determining the most suitable hybrid power generation system by considering the potentials of existing energy resources. Initially, the real-time electricity consumption of the public building was determined through its Automatic Meter Reading System (AMRS), and the load profile of the building was prepared. The building was modeled in three dimensions using the SketchUp software, and optimal placements of photovoltaic (PV) panels were determined using the Skelion software, considering shading and performance analyses.

Simulation, optimization, and sensitivity analyses of the hybrid energy systems designed in this study were performed using HOMER software. First, scenarios where energy sales to the grid were not allowed, and only self-consumption was considered were analyzed. Second, scenarios where surplus energy was sold to the grid, essentially evaluating net metering, were analyzed along with scenarios of monthly and annual net metering for similar public buildings located in different geographical regions. Third, comprehensive analyses were conducted on meeting the energy demand of the public building with hybrid renewable energy sources in scenarios where electric vehicle charging stations were integrated into the building's load profile.

In the studies conducted, considering that the purchase price of 1 kWh of electricity from the distribution company is \$0.127, it was calculated that the unit price of electricity in public buildings where energy cannot be sold back to the grid is \$0.0748, resulting in 41.10% cheaper electricity per kWh. In the analysis regarding the resale of excess electricity produced in the designed hybrid energy system back to the grid, the unit price of electricity was calculated as \$0.0387, providing electricity at 69.52% lower cost per kWh, along with 54.6% cleaner energy. Additionally, in the analyses conducted for similar public buildings in different geographic locations, regions that showed compatibility with the solar radiation values given in Turkey's Solar Energy Potential Atlas (SEPA) experienced a 50% reduction in unit energy prices. In the model that included electric vehicle charging stations as part of the hybrid energy system, the unit price of electricity was calculated as \$0.0440, indicating a 65.35% reduction in the cost of electricity per kWh.

Keywords: Renewable Energy, Energy Efficiency in Public Buildings, Sustainability, HOMER

1. GİRİŞ

Günümüzde üretilen elektrik enerjisinin büyük bölümü petrol, doğalgaz ve kömür gibi tükenbilir nitelikteki fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil kaynakların kullanımıyla birlikte açığa çıkan zehirli gazlar büyük ölçekli hava kirliliğine neden olmakta, ekolojik sisteme zarar vererek küresel ısınma, iklim değişikliği ve asit yağmurları gibi küresel çevre felaketlerine yol açmaktadır [1]. Dünyada artan nüfus, sanayileşme, teknolojik gelişmeler ve yaşam standartlarının artması ile enerji kaynaklarına olan talep hızla artmaktadır [2]. Artan enerji talebine paralel olarak fosil enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmakta olup, fosil kaynaklarının ömrünün azalması ve tükenecek olması bunun yanında belirli coğrafik alanlarda toplanmış olması nedenleri ile ülkelerde geleneksel enerji kaynaklarının yerine alternatif enerji kaynaklarının araştırılması yaygınlaşmıştır.

Rüzgâr, güneş, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin çevreci olması ve insan sağlığını olumsuz etkilememesi sebebiyle tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına talep hızlı bir şekilde artmaya ve birçok alanda uygulanmaya başlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenme gibi bir problemi yoktur; çünkü bu kaynaklar, doğanın döngülerine dayanarak kendini sürekli yenileyerek tükenmeden ve azalmadan var olmaya devam eder [3]. Yenilebilir enerji kaynaklarının ekolojik dengeye herhangi bir olumsuz etkisinin olmaması, çevreye zarar vermemeleri ve sürdürülebilir kaynaklar olmaları, aynı zamanda enerji arzında dış kaynaklara olan bağımlılığı azaltmaları en önemli özelliklerindendir. Bu avantajları sebebi ile hem ülkemizde hemde küresel ölçekte yenilenebilir enerji potansiyelinin ortaya konması önem arz etmektedir. Dolayısıyla yenilebilir enerji kaynaklarına ilişkin bir araştırma ve çalışma gerçekleştirilmiştir [4].

Türkiye gibi enerjisinin büyük bir kısmını dışarıdan karşılayan ülkelerde enerji tasarrufu için yapılacak yatırımın, aynı enerjiyi üretmekten çok daha düşük maliyetli olduğu bilinmektedir. Bu nedenle kamu binaları ve diğer yapılarda tüketilen enerjinin daha verimli bir şekilde değerlendirilmesi ülke ekonomisine ciddi bir katkı sağlayacak olup, hava kirliliği ve küresel ısınmayla birlikte ekolojik sisteme zarar veren fosil kaynak kullanımına olan ihtiyacı da azaltmaktadır. [5].

Yapılan akademik çalışmalar ve gelişen teknolojiyle birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin maliyeti konvansiyonel sistemlerden enerji üretimi yapılması ile rekabet edebilecek düzeye gelmektedir. Fakat yenilebilir enerji kaynaklarının doğasından kaynaklanan en büyük problem sürekliliktir. Elektrik enerjisi ihtiyacı süreklilik göstermektedir yani enerji

ihtiyacının sürekli ve kesintisiz olarak karşılanabilmesi gerekmektedir. Bu sorunun giderilmesi amacıyla farklı enerji depolama sistemleri kullanılmakta, üretilen enerjinin ve enerji depolama maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Günümüzde uygun maliyetli, çevre dostu, sürdürülebilir enerji kaynaklarında oluşan, on-grid ve off-grid şekilde kullanılabilen Hibrit Yenilebilir Enerji Sistemleri ilgi görmektedir [6].

Tüm dünyada ve ülkemizde hükümetler konvansiyonel kaynakların tüketiminden doğan zararlı etkilerin azaltılabilmesi için düzenlemeler yapmaktadır. Yapılan yasal düzenlemeler ve verilen teşvikler ile yenilenebilir kaynakların özendirilmesi ve kullanımlarının artırılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda enerjide arz güvenliğinin sağlanması, enerji maliyetlerinin sürdürülebilir kılınması, iklim değişikliği ile mücadelenin artırılması bakımından enerjinin verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasların düzenlendiği 5 Aralık 2008 tarih ve 27075 sayılı Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği yayınlanmıştır [7]. 16 Ağustos 2019 tarih ve 2019/18 sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi çıkarılmıştır. Genelge ile; yıllık toplam enerji tüketimi 250 TEP ve üzeri veya toplam inşaat alanı 10.000 m² ve üzeri kamu binalarında 2023 yılı sonuna kadar asgari %15 enerji verimliliği sağlanması hedeflenmektedir [8]. Kurumlar personellerine enerji verimliliği eğitimleri vermekte, enerji verimliliğinin sağlanması için projeler geliştirmektedir.

Kamu binaları toplumun çeşitli kesimlerinin yararlandığı, önemli bir kamu hizmeti sunan ve halkın kamu hizmetlerine erişimini sağlamak amacıyla devlete bağlı kurumlardan oluşan yapılardır [9]. Kamu binalarında toplam enerji tüketimlerinin %38'i elektrik enerjisi %62'sini ise yakıt tüketimi oluşturmaktadır [10]. Kamu binalarının tüm yaşam dönemi düşünüldüğünde, enerji tüketimi en büyük maliyete sahip kalemlerden biridir ve enerji kullanımında yapılacak iyileştirmeler binanın yaşam dönemi masraflarının da büyük ölçüde azalmasını sağlayarak ülke ekonomisine önemli katkılarda bulunacaktır [11]. Kamu binaları için uygun enerji politikalarının belirlenip uygulanması özellikle Türkiye gibi enerjide büyük ölçüde dışa bağımlı ülkelerde kalkınmalarının sürdürülebilirliği için kritik bir rol oynamaktadır [12].

Tasarlanacak hibrit enerji sistemleri, elektrikli araç sahiplerine şarj maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olmakla beraber, hibrit sistemlerde yük dağılımının optimize etmek için elektrikli araç şarj istasyonları kullanılmaktadır. Yenilenebilir hibrit enerji sistemleri, enerjinin daha düşük maliyetlerle temin edilmesini sağlayarak çevre kirliliğini azaltma açısından önemli faydalar sunmaktadır. Ayrıca, batarya enerji depolama sistemleri, enerjinin ve şebeke elektrik fiyatlarının düşük olduğu zamanlarda şebekeden alınan enerjiyi depolayarak,

bu enerjiyi PV üretiminin olmadığı ve şebeke elektrik fiyatlarının yüksek olduğu dönemlerde sisteme dahil edebilmekte ve verimliliği artırmaktadır [13].

Yapılan çalışmada Bursa İlinde yer alan kamu binasına ait enerji ihtiyacının hibrit enerji sistem ile yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılanması için tekno-ekonomik analizler yapılacaktır. Yapılacak çalışmalarda yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş ve rüzgâr enerjisi sayesinde enerjiye harcanan giderlerin azaltılması, çevreye duyarlı ve kamu kaynaklarının daha optimum kullanılması hedeflenmektedir.

Çalışma kapsamında öncelikle kamu binasına ait olarak günlük ve aylık elektrik tüketim değerleri bölgedeki elektrik dağıtım şirketi olan Uludağ Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi'nin OSOS (Otomatik Sayaç Okuma Sistemi) sistemi üzerinden temin edilerek, gerçek değerler üzerinden yük profili oluşturulmuştur. Daha sonra 3 farklı başlık altında olmak üzere, ilk olarak mimari ve statik projelerinden dolayı şebekeye geri enerji satışı yapılmaksızın şebekeye bağlı bir hibrit enerji sistemi üzerinde analizler yapılmıştır. İkinci olarak şebekeye bağlı bir sistemde yenilenebilir enerji kaynakları ile tasarlanan hibrit enerji sisteminde üretilen fazla enerjinin şebekeye geri satıldığı, diğer bir ifade ile mahsuplaşma yönteminin ele alındığı senaryolar değerlendirilmiştir. Üçüncü olarak kamu binasının hafta sonu çalışmadığı dikkate alındığından üretilen enerjinin hibrit sisteme dahil edilecek elektrikli araç şarj istasyonlarında kullanılması üzerine tasarım, performans ve ekonomik analizler yapılmıştır.

Yapılan çalışmalarda HOMER, SketchUp, Skelion programları ile yapılan optimizasyon sonuçlarına göre en uygun hibrit enerji sistemleri belirlenmiştir. Çalışmada öncelikli olarak Bursa İlinde bulunan bir kamu binası ele alınmış olsa da elde edilen yük profili diğer şehirlerde bulunan kamu binalarının yük profilleri ile aynı olacağı dikkate alındığında, farklı coğrafyalarda bulunan farklı şehirler için de modellenerek tekno-ekonomik analizler yapılmıştır.

Yapılan çalışma ile gerçek veriler üzerinden bir kamu binası için elde edilen yük profili dikkate alınarak hibrit enerji santrallerinin tasarımı ile ilgilenen araştırmacılara ulaşmayı, yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ve rüzgar enerjisi ile kullanılarak tasarlanacak hibrit enerji santralleri sayesinde elektrik enerjisi temin etmek amacıyla harcanan giderlerin azaltılarak kamu kaynaklarının daha ekonomik kullanılması, elde edilen veriler ışığında farklı coğrafya ve şehirler için de gelecekte yapılması planlanan hibrit enerji sistemleri için fayda sağlaması amaçlanmaktadır.

1.1. Literatür Çalışması

Ülkemizde ve dünyada yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanıldığı hibrit enerji sistemlerinde olan talebin her geçen gün artmakta olduğu, buna paralel olarak hibrit enerji sistemleri ile ilgili ekonomik, güvenilirlik ve verimlilik yönünden literatürde çalışmalar yapılmıştır.

Literatür taraması sonucunda fosil yakıtlarla elde edilen enerji ile yenilenebilir enerji kaynaklarını birleştiren hibrit güç üretim sistemlerinin farklı şekillerde kullanıldığı gözlenmiştir. HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) ve diğer farklı simülasyon programları aracılığı ile gerçeğe yakın değerler veren analizler yapıldığında hibrit enerji sistemlerinden daha yüksek verim elde edildiği görülmektedir.

Olatomiwa ve ark. Nijerya'da kırsal alanda bulunan telekomünikasyon baz istasyonunun enerji ihtiyacı için güneş/rüzgar hibrit sisteminin tekno-ekonomik analizini yapmışlardır. Mevcut baz istasyonunun enerjisi sadece dizel jeneratör ile karşılanmakta iken HOMER programı ile yapılan tekno-ekonomik analizlerde ekonomik açıdan en uygun hibrit sistemin PV/dizel/batarya hibrit sisteminin olduğu, sistemin dizel sisteme göre yılda 16 ton CO² emisyonunda azalma sağlayacağı hesaplanmıştır [14].

Engin çalışmasında, İzmir'de batarya yedekli PV-rüzgâr hibrid enerji sisteminin uygulanabilirliği incelemiştir. Günlük ortalama tüketimi 12.1 kWh ve en yüksek tüketimi 3.7 kW olan mesken yük profiline göre HOMER yazılımı ile rüzgâr hızı, güneş ışınımı ve sıcaklık verilerine göre boyutlandırılan sistemin duyarlılık analizi yapılmıştır. Yapılan analizlerde PV-rüzgâr sisteminin enerji üretimi için uygun olmadığını belirtmiştir. Bunun nedeni olarak; üretilen enerjinin maliyetinin 0.85\$/kWh olduğunu ve şebekeden satın alınanın ise 0.10 -0.12 \$/kWh aralığında olduğunu göstermiştir [15].

Başaran çalışmasında, Adnan Menderes Üniversitesi Söke Meslek Yüksekokulu'na hibrit güç sisteminin tasarımı yapmıştır. Günde ortalama 10 saat çalışan çevre aydınlatma sisteminin enerjisinin PV/Rüzgar enerjisi kullanılmasıyla hibrit enerji sistemi tasarlanmıştır. Fotovoltaik sistemin kurulumu yapıp enerji üretir hale getirilmiş, rüzgar güç sistemi için ise MATLAB/Simulink ortamında simülasyonlar yapılmıştır. Buna göre fotovoltaik sistemin kendini amorti etme süresi 12 yıl, fotovoltaik sisteme ilave edilmesi planlanan rüzgar türbininin kendini amorti etme süresi 8 yıl olarak hesaplanmıştır [16].

Mamur ve ark. Bir kamu binası olan Kozlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nin PV/ Rüzgar yenilenebilir enerji kaynakları ile hibrit bir enerji sisteminin fizibilitesini gerçekleştirmişlerdir. Kamu binasının yıllık elektrik enerjisi giderleri dikkate alınarak oluşturulan rüzgâr ve güneş

hibrit şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji kaynağı için HOMER programı ile yapılan optimizasyon ve analizler sonucunda 23 kW PV panel ve 36 kW rüzgar türbini ile şebeke bağlantılı hibrit yenilenebilir enerji sisteminin Kozlu Endüstri Meslek Lisesi'nin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabileceği belirlenmiştir. Kurulan sistemin 7,8 yıl sonra kendini amorti edebileceği belirlenmiştir [17].

Yılmaz ve ark. İzmir ilinde bulunan günlük 24.000 kWh elektrik tüketimine sahip endüstriyel bölgenin enerji ihtiyacının karşılanması için yenilebilir enerji sistemlerinden oluşan beş farklı senaryo tasarlamıştır. Yapılan çalışmada elektrik tüketimi ve enerji potansiyeli yüksek olan bölgelere, çevreye duyarlı yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı hibrit enerji sistemlerinin kurulmasının çevresel ve ekonomik açıdan avantajlı olduğu, kurulan sistemin amortisman süresi 7,53 yıl olarak hesaplandığı, yıllık CO² salınımında %82'lik bir düşüş olduğu görülmektedir [18].

Türkdoğan ve ark. Yalova İlinde bazı kamu binalarının güneş enerjisi potansiyellerini analiz etmek için binaların mevcut ve geliştirilmiş mimari durumlarında, yenilenebilir enerji sistemlerinden üretilebilecek elektrik enerji potansiyelini ortaya koymuşlardır. Basit değişikliklerle modifiye edilen mimari planın, enerji üretim potansiyelini %242,82, eğimli çatı inşası ile elde edilebilecek enerji potansiyelinin ise %592,48'e kadar arttırdığı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir [19].

Riayatsyah ve ark. Sumatra adasının ucunda yer alan Syiah Kuala Üniversitesi için şebekeye bağlı PV, rüzgar türbinleri ve akü paketlerinin tekno-ekonomik performans ve optimizasyon analizini yapmayı amaçlamıştır. 682 kW gücünde PV panel, 100 kW gücünde rüzgar türbini ve 431 kW inverter ile şebekeye bağlanarak ihtiyaç duyulan elektriğin %82'sini yenilenebilir enerji sistemlerinden karşılanabileceği görülmüştür [20].

Çağrı ÇAKMAK ve ark. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin elektrik enerjisi ihtiyacının hibrit sistemle karşılanma amacı doğrultusunda ekonomik analiz temelli optimizasyon çalışması yapılmıştır. Hibrit enerji sistemi kurulmasıyla enerji talebinin %52,21'ini rüzgar, %10,88 'ini güneş ve %36,92'sini şebekeden karşılanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Enerji talebinin büyük çoğunluğunun rüzgar enerjisinden karşılanmasından ötürü birim maliyet analizlerine sadece rüzgar enerjisi ve şebekenin dahil edildiği modellerde eklenerek karşılaştırma yapılmıştır. Bu kapsamda amortisman süreleri hesaplandığında sadece rüzgar enerjisinin kullanıldığı sistem 6 yılda kendini amorti ederken, hibrit sistem 7 yılda amorti etmektedir [21].

Abtullah TUĞCU ve ark. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi çatısına şebeke bağlantılı (On-Grid) güneş enerjisi sistemi için PVsyst, SketchUp, Skelion yazılımlar ile 3B tasarımı, gölgeleme ve performans analizleri yapılmışlardır. Yapılan analizler sonucunda santralin kurulum maliyeti 5,7 yılda amortisman süresine ulaştığı, santralden üretilen enerjinin maliyetinin 0,046 \$/kWh olduğu bilgisine ulaşılmıştır [22].

Nada Al Safarini ve ark. BAE'nin Ras Al Khaimah kentinde kurulacak güneş santralinin gücünü tespit etmek için simülasyonlar gerçekleştirmiştir. PV panellerinden gelen güç çıkışlarını simüle etmek için SketchUp Skelion ve PVsyst kullanmışlardır. Buna göre yapılan tasarımı, gölgeleme ve performans analizleri değerlendirildiğinde % 15,03 oranında güç verimi artışı göstermiştir [23].

Türkdoğan ve ark. çalışmalarında 40 haneli 160 kişiden oluşan topluluk için şebekeden bağımsız şekilde elektrik ve ısıtma yüklerinin karşılanabilmesi için hibrit enerji sisteminin HOMER programında tekno-ekonomik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan sonuçlara göre sistemde bataryaların aktif bir şekilde kullanıldığı, jeneratör atık ısını kullanmanın sisteme katkıda bulunduğu, seçilen sistemin kurulum maliyetinin 215.985\$ olduğu, tüm projenin net bugünkü maliyetinin 598.958\$ olduğu, birim enerji maliyetinin ise 0,0164\$ olduğu belirlenmiştir [24].

Çakmak ve ark. çalışmalarında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin elektrik enerjisi ihtiyacının hibrit sistemle karşılanma amacı doğrultusunda ekonomik analiz temelli optimizasyon çalışmaları gerçekleştirmiştir. Yapılan analizlerde tesisin kurulması durumunda enerji talebinin yaklaşık %67,2'lik kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmış olacağı, hibrit sistem ile yıllık 41.206 \$'lık ekonomik avantaj sağlanmış olacağı, tasarlanan sistemin 7 yılda kendisini amorti edeceği belirlenmiştir [25].

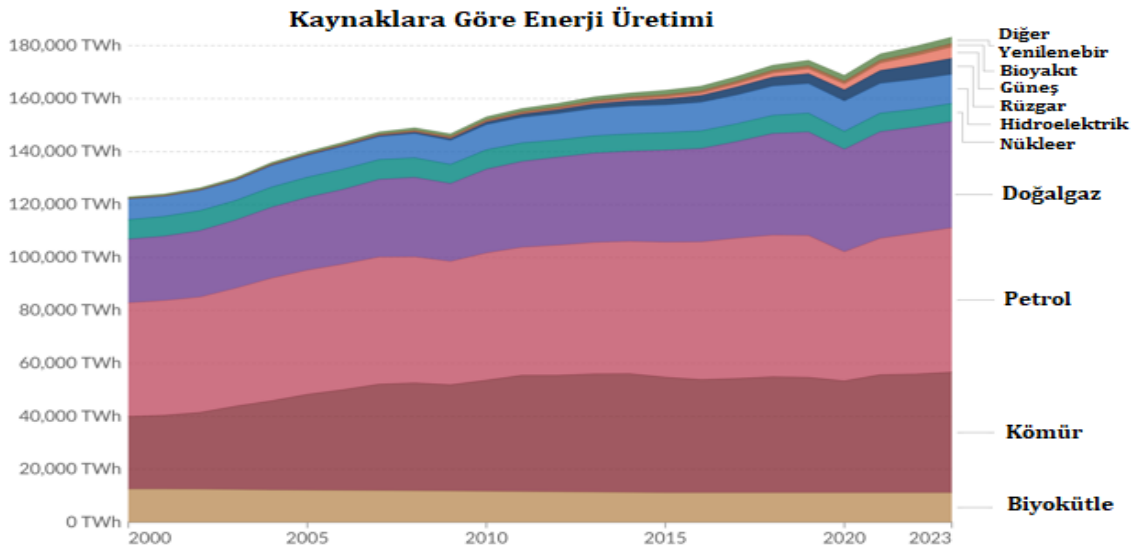
Aykut Fatih Güven ve ark. 220 hane ve 590 kişiden oluşan, Muğla ili Köyceğiz ilçesinde dağıtım şebekesinden bağımsız olarak farklı senaryolar ele alınarak yapılan araştırmalarında en uygun senaryoya göre enerji birim maliyeti 0,152 \$ olarak belirlenmiştir. Senaryo bileşenlerine göre PV panel % 78.9, rüzgar türbini % 1.52, biyogaz jeneratörü % 1.15 ve yakıt hücresi jeneratörü % 18.4 olacak şekilde ihtiyaç olan toplam enerjiyi karşılamıştır [26].

İpek Çetinbaş ve ark. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nde elektrik tüketim maliyetinin azaltılmasına yönelik fotovoltaik (PV) ve enerji depolama biriminden oluşan bir mikro şebeke tasarımı yapmıştır. Yapılan analiz ve simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde toplam elektrik

enerjisi maliyetinde %43,16 ile %54,12 arasında bir tasarruf elde edildiği ve sistemin kendisini yaklaşık 34 ila 41 ay arasında amorti ettiği anlaşılmıştır [27].

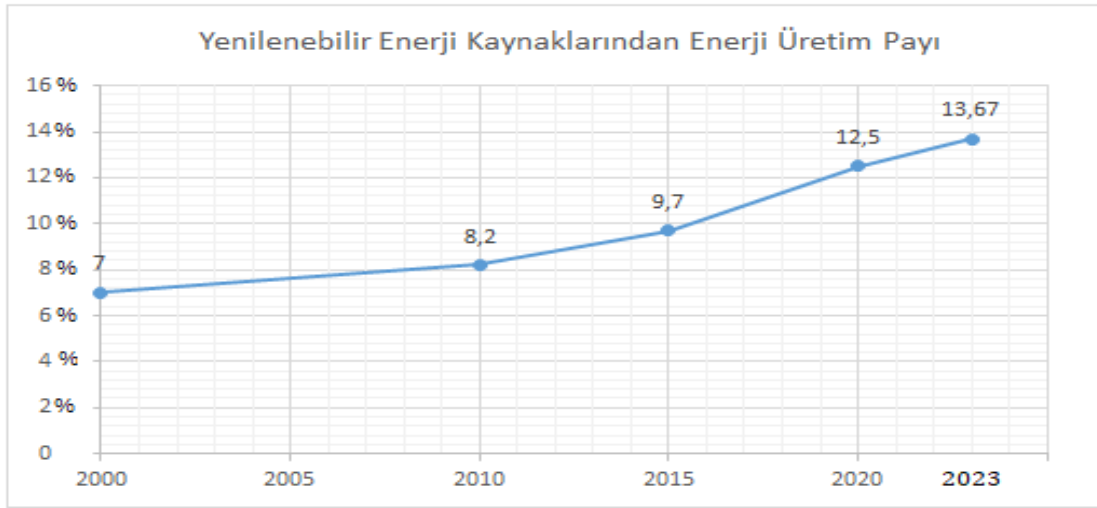
1.2. Dünya’da Enerji Durumu

Farklı enerji kaynaklarından üretilen elektrik miktarları Şekilde 1.1 ‘de verilmiştir. Buna göre kömür, petrol, doğalgazdan elde edilen elektrik enerjisinde yıllara göre artış olduğu görülmektedir. 2023 yılında petrol kaynaklarından elektrik üretimi 54.564 TWh ile ilk sırada olduğu, ikinci sırada 45.565 TWh elektrik üretiminde kömür kullandığı, üçüncü sırada ise 40.103 TWh elektrik üretiminde doğalgaz kullanıldığı görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları açısından durum incelendiğinde ise 2023 yılında en fazla elektrik üretiminin 11.014 TWh ile hidroelektrik santralleri ile sağlandığı, rüzgar enerjisinden 6.040 TWh, güneş enerjisinden ise 4.264 TWh elektrik üretimi yapıldığı görülmektedir.



Şekil 1.1. Dünya’da kaynaklara göre elektrik üretimi [28].

Küresel çapta kaynaklara göre elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik üretim payları aşağıda belirtilen Şekilde 1.2 ‘de gösterilmiştir. Buna göre 2000 yılında temiz enerjiden elde edilen elektrik üretimi toplam üretimin % 7 seviyelerinde iken, 2023 yılı itibari ile yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen temiz enerjinin dünya genelinde elektrik üretimindeki payı ise %13,67 seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Bu bağlamda son yıllarda güneş, rüzgar ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde ciddi bir artış olduğu tespit edilmiştir [29].



Şekil 1.2. Dünya’da yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretim payı

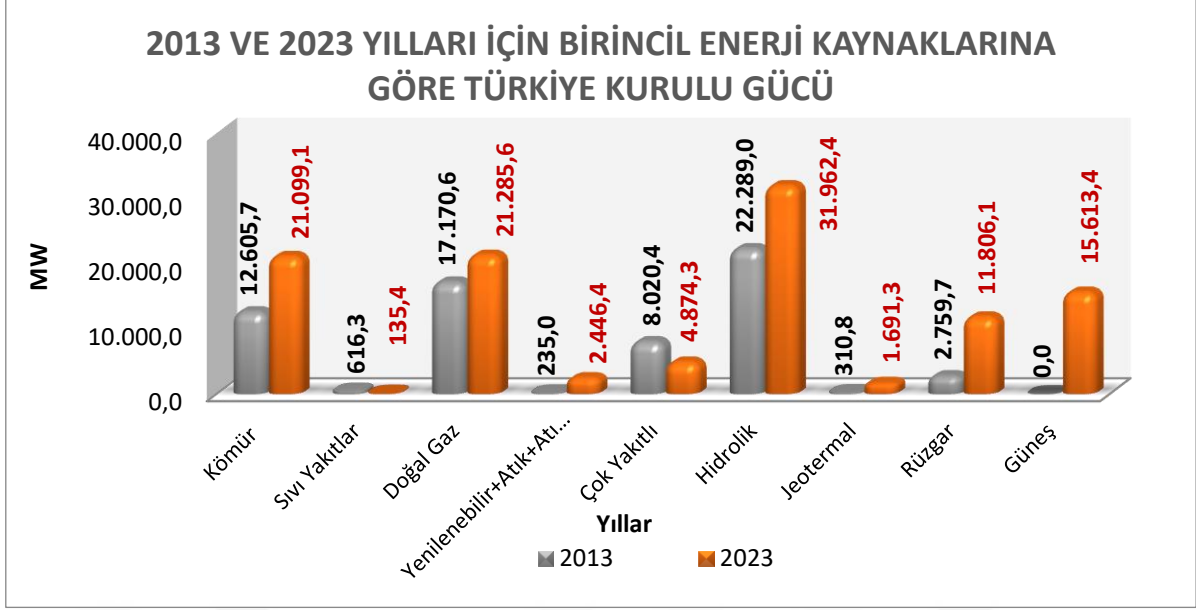
Dünya genelinde ve Türkiye’de enerji üretim durumu incelendiğinde, konvansiyonel enerji kaynakları arasında en fazla elektrik üretiminin kömürden, yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise en fazla elektrik üretiminin hidroelektrik enerjiden sağlandığı tespit edilmiştir.

1.3. Türkiye’de Enerji Durumu

Türkiye’de son yıllarda yaşanan hızlı ekonomik ve nüfus artışı paralel olarak enerji talebinde güçlü bir büyümeye yol açmakla beraber enerji ithalatında da artışa neden olmaktadır. Türkiye’de kurulu elektrik gücünün yıllara göre gelişimi Şekil 1.3’te gösterilmiştir. Buna göre 2000 yılında 27.264 MW kurulu güce sahip olan Türkiye’nin, 2023 yılı itibari ile kurulu gücünün 110.914 MW seviyelerinde olduğu görülmektedir.

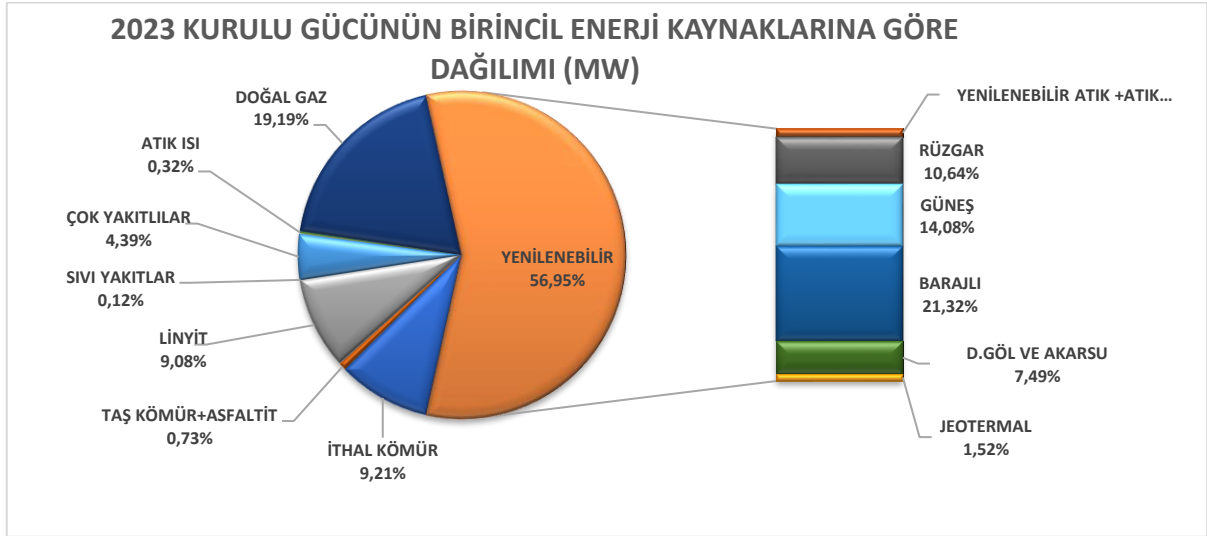


Şekil 1.3. Türkiye kurulu gücünün yıllara göre değişimi [30].



Şekil 1.4. Enerji kaynaklarına göre Türkiye kurulu gücü [30].

Türkiye’de enerji kaynaklarına göre üretim miktarı yukarıda belirtilen Şekil 1.4’de gösterilmiştir. Buna göre kurulu gücün gelişimine bakıldığında 2013 yılında toplam kurulu güç 64.004 MW seviyelerinde iken 2023 yılında toplam kurulu gücün 110.911 MW seviyelerine ulaştığı, diğer bir ifade ile 2013 yılındaki kurulu elektrik gücü 2023 yılında %73 artış göstermiştir. Enerji kaynaklarının Türkiye’nin kurulu gücüne katkısına bakıldığında hidroelektrik enerjisi ile 31.962 MW gücünde enerji sağlandığı ve % 28,8 paya sahip olduğu, doğalgaz enerjisi ile 21.285 MW enerji sağlandığı ve %19,19 paya sahip olduğu, güneş enerjisi ile 15.613 MW enerji sağlandığı ve %14,08 paya sahip olduğu, rüzgar enerjisi ile 11.806 MW enerji sağlandığı ve %10,64 paya sahip olduğu görülmektedir.



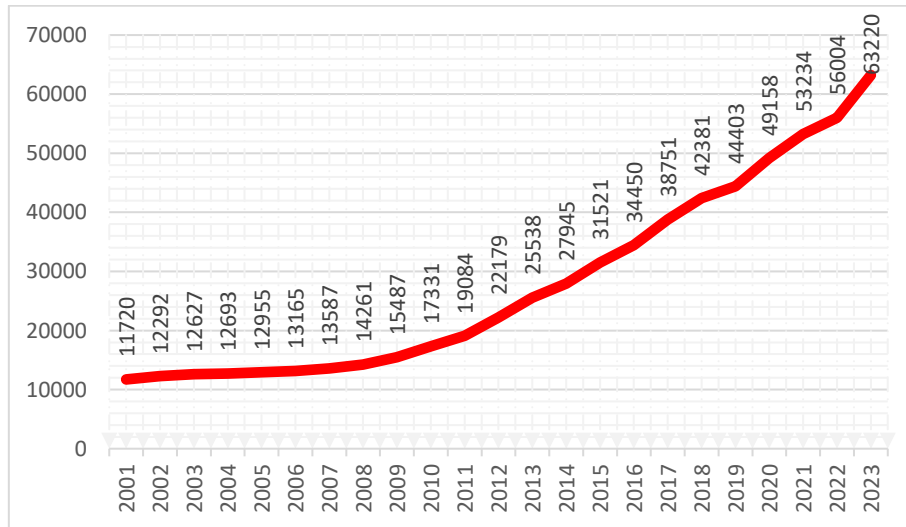
Şekil 1.5. Enerji kaynaklarına göre Türkiye kurulu gücü [30].

1.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları, kullanım şekillerine göre yenilenebilir ve yenilenemez olarak iki gruba ayrılır. Ayrıca, enerji dönüşümüne bağlı olarak birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak da sınıflandırılabilirler. Kömür, petrol, doğal gaz, nükleer, biyokütle, hidrolik, güneş, rüzgar, dalga ve gel-git gibi herhangi bir dönüşüme ya da değişime uğramamış enerji kaynakları birincil (primer) enerji olarak isimlendirilir. Diğer yandan, elektrik, benzin, motorin, işlenmiş kömür, petrol, hava gazı ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) gibi, birincil enerji kaynaklarının işlenmesi sonucu ortaya çıkan enerji türleri ikincil (sekonder) enerji olarak adlandırılır [31].

Yenilenebilir enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi yenilenebilir enerji kaynağı olarak tanımlanır. Örnek vermek gerekirse güneşten elde edilen enerji ile çalışan bir ekipman bu enerjiyi tüketmiş olsa da tüketilen enerji toplam güneş enerjisinin yanında çok küçük kalmaktadır. Diğer bir deyişle enerjini üretimi için doğal süreçlerden yararlanan, kullanılan kaynakların tükenme hızından çok daha hızlı bir sürede kendine yenileyen kaynaklara yenilenebilir enerji kaynakları denilmektedir [32].

Türkiye’de son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artış göstermektedir. Türkiye’nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının gösterildiği Şekil 1.6’daki grafiklere göre 2001 yılında 11.720 MW gücünde elektrik üretimi sağlanırken 2022 yılında 56.004 MW gücünde elektrik üretimi yapıldığı görülmektedir. Buna tabloya göre Ayrıca TEİAŞ 2023 yılı sistem raporunda 110.914 MW ‘lık kurulu gücün yaklaşık %57’si yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır [32].



Şekil 1.6. Türkiye’de elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı [32].

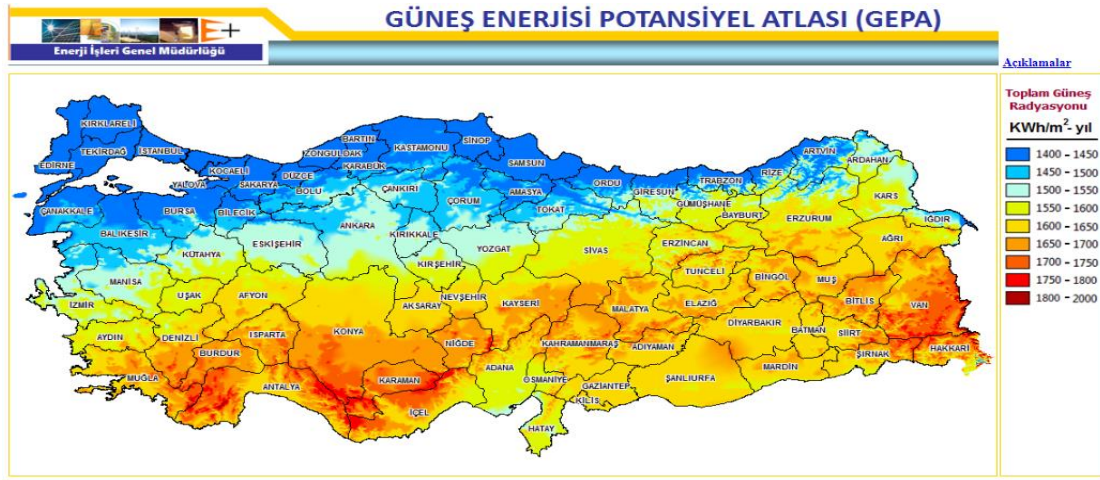
Tablo 1.1. Yenilenebilir enerji kurulu güç değişimi (teiaş sistem raporlarına göre) [32].

YIL	HİDRO ELEKTRİK	JEOTERMAL	RÜZGAR	GÜNEŞ	BİYOKÜTLE	TOPLAM
2001	11673	18	19	-	10	11720
2002	12241	18	19	-	14	12292
2003	12579	15	19	-	14	12627
2004	12645	15	19	-	14	12693
2005	12906	15	20	-	14	12955
2006	13063	23	59	-	20	13165
2007	13395	23	148	-	21	13587
2008	13829	30	364	-	38	14261
2009	14553	77	792	-	65	15487
2010	15831	94	1320	-	86	17331
2011	17137	114	1729	-	104	19084
2012	19609	162	2261	-	147	22179
2013	22289	311	2760	-	178	25538
2014	23643	405	3630	40	227	27945
2015	25868	624	4503	249	277	31521
2016	26681	821	5751	833	364	34450
2017	27273	1064	6516	3421	477	38751
2018	28291	1283	7005	5063	739	42381
2019	28502	1514	7591	5995	801	44403
2020	30983	1561	8832	6667	1115	49158
2021	31492	1676	10607	7815	1644	53234
2022	31571	1691	11396	9425	1921	56004
2023	31955	1685	11801	15616	2163	63220

1.2.1 Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ısıma enerjisidir. Güneş, yaklaşık $3,9 \times 10^{26}$ W güç yayan, temiz ve tükenmez bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşten yayılan bu enerjinin çok az bir miktarı Dünyaya ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyindeki her metrekareye ortalama 1.367 W güç düşmektedir. Atmosfere gelen bu ışımanın genellikle X ışınlarından ve ultraviyole ışınlarından oluşan bir kısmını emerken bir kısmını ise yansıtmaktadır[33]. Güneş, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt kaynağıdır. Güneş enerji sistemlerinin yaygınlaşması durumunda enerji konusunda dışa bağımlılık azalacak ve bu sayede ekonomik ve çevresel fayda sağlanmış olacaktır [34].

Güneş enerjisinden hem doğrudan hem de dolaylı yollarla bir çok farklı alanda yararlanılmaktadır. Güneş enerjisi doğal etkileri, ısı etkisi ve elektrik etkisiyle enerji döngüsünün önemli bir bileşenidir. Güneş ışınları, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmek üzere PV hücreleri kullanılarak güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılmaktadır [35]. Güneş paneli sisteminde elektronları atomdan ayırmak için fotonlar kullanılarak atomların ayırma işlemi de elektrik yaratır. Güneş panelleri gelen güneş ışığını ısı yerine elektriğe dönüştüren silikondan yapılan fotovoltaiik hücreler içerir. Panellerde bulunan hücreler sayesinde doğru akım oluşmaya başlar.



Şekil 1.7. GEPA güneş enerjisi potansiyel atlası [33].



Şekil 1.8. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m² gün) - Türkiye güneşlenme süreleri (Saat) [33].

Güneş enerjisi potansiyeli olarak Türkiye coğrafi konumu nedeniyle verimli enerji üretebilecek önemli bir güneş enerji potansiyeline sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olup ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1.527,46 kWh/m2 olarak hesaplanmıştır [33].

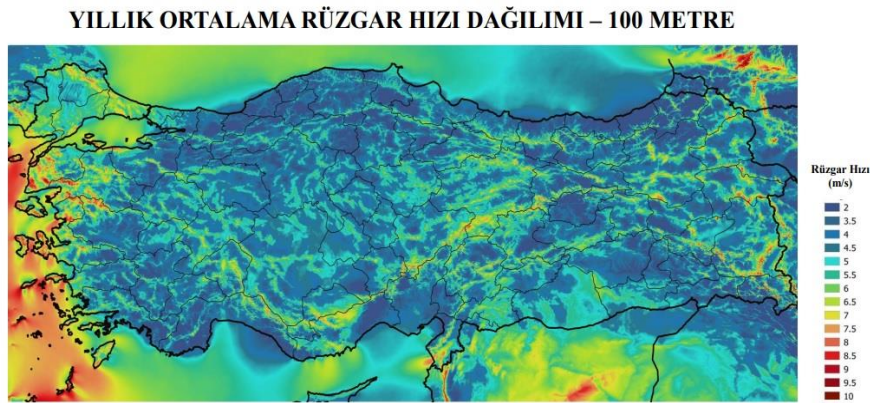
GEPA tarafından hazırlanan ve Şekil 1.8’de belirtilen Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat (günlük toplamı 7,5 saattir), yani günlük toplam olarak 4.2 kWh/m² değerinde belirlenmiştir [36]. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasına göre ülkemizde en fazla güneş alan bölgeler Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgesi, Karadeniz bölgesi ise en az güneş alan bölgedir.

1.2.2 Rüzgâr enerjisi

Güneşten kaynaklanan rüzgar enerjisi, sürdürülebilir ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin %2’si kadar küçük bir miktarı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Rüzgâr enerjisi güneş kaynaklı radyasyonun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Güneşin, atmosferi ve yer yüzeyini farklı ısıtması sonucunda oluşan basınç farkı nedeniyle hava akımı oluşur ve bu hava akımlarının yer değişimi ile rüzgâr oluşur. Yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak rüzgârın özellikleri, zamansal ve yöresel değişiklik gösterir [37].

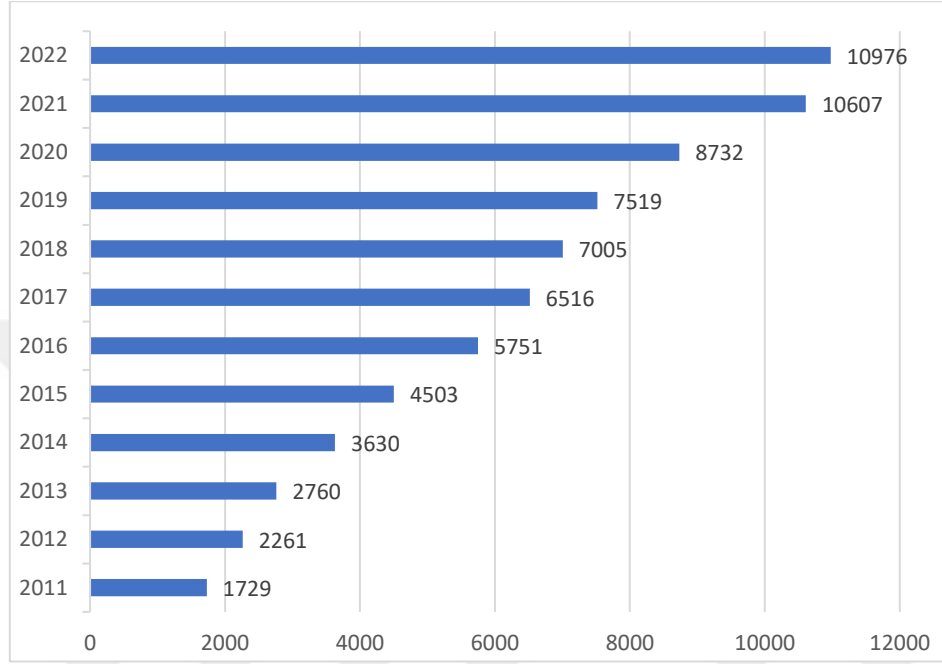
Rüzgâr enerjisi, bölgelerarası sıcaklık ve basınç farklılıklarının oluşturduğu hava hareketlerinin, uygun sistemler yoluyla süpürülerek mekanik enerji elde edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Elde edilen mekanik enerji, ihtiyaca göre belirlenen büyüklükteki jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve şebekeye bağlanarak kullanıma hazır duruma getirilmektedir.

Ülkemizde, rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi her yıl giderek artmaktadır. T.C. Enerji ve Tabii kaynakları Bakanlığı tarafından yayınlanan Rüzgâr Enerjisine Dayalı Kurulu Güç oranı ile ilgili grafik şekil 2.2’de belirtilmiştir. Ayrıca ülkemizde ortalama rüzgâr hızı dağılımı da aşağıdaki grafikte belirtilmiştir [38].



Şekil 1.9. REPA rüzgar hızı dağılımı [19].

Türkiye’de rüzgar enerjisinden elektrik üretimi her geçen yıl artarak devam etmektedir. Şekil 1.10’da ülkemizde rüzgar enerjisine dayalı kurulu güç değerleri belirtilmiştir. Buna göre, 2011 yılında 1.729 MW olan kurulu güç, 2022 yılı itibariyle 10.976 MW seviyelerine yükselmiştir. Bununla beraber 2022 yılı itibari ile TEİAŞ kapasite raporuna göre rüzgar enerji kurulu gücünün toplam kurulu güçteki oranı %10,98’dir.

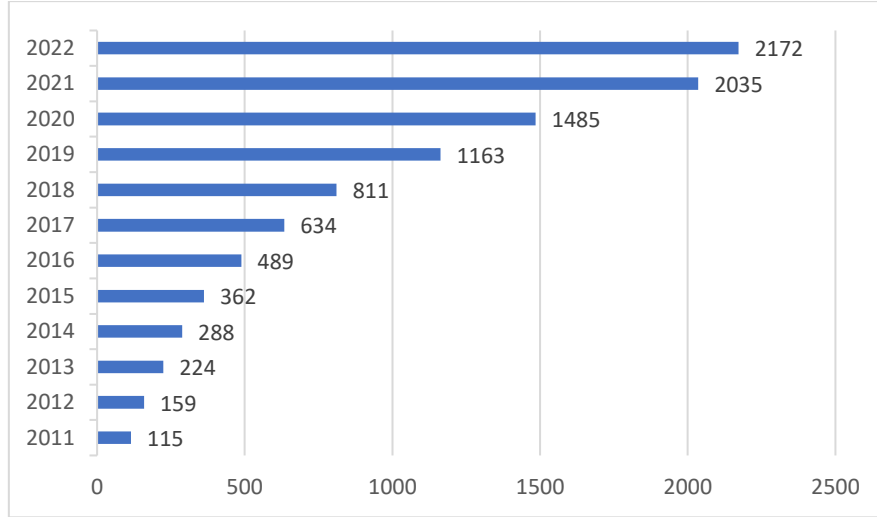


Şekil 1.10. Rüzgar enerjisine dayalı kurulu güç [39].

1.2.3. Biyogaz enerjisi

Doğal olarak oluşmuş bataklıklarda milyonlarca yıldır mikroorganizmalar, oksijensiz veya sınırlı oksijenli ortamda kendi metabolik faaliyetleri için organik ve inorganik maddeler kullanarak metan, karbon dioksit ve eser miktarda hidrojen, azot ve hidrojen sülfür içeren bir gaz karışımı oluştururlar. Bu gaz, bataklık gazı, gübre gazı veya biyogaz gibi isimlerle anılmaktadır. Bu proses, insanoğlunun çok sonra dikkatini çekmiş ve biyogaz üretim teknolojileri gelişmiştir. Biyogaz oluşumunda yaş biyokütle, mikrobiyolojik bakteri faaliyetleri ile parçalanır, oksijensiz ortamda biyokimyasal fermentasyon gerçekleşir [40].

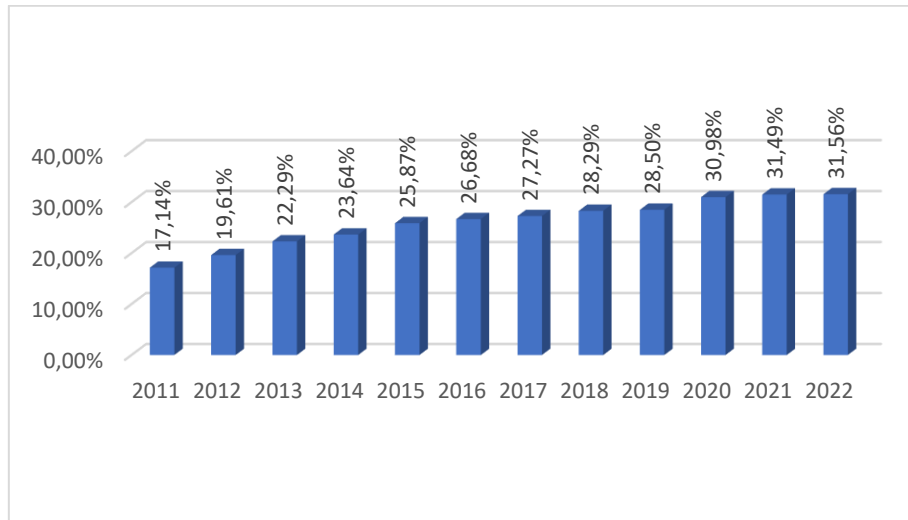
T.C. Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı tarafından yayınlanan ve biyokütle enerji potansiyelinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan (BEPA) verilerine göre toplanabileceği değerlendirilen atıklarımızın toplam ekonomik enerji eşdeğeri yaklaşık 3,9 MTEP/yıl’dır. Biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç Haziran 2022 sonu itibariyle 2.172 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %2.14 olup yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı aşağıdaki grafiklerde yer almaktadır.



Şekil 1.11. Biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç [41].

1.2.4. Hidroelektrik enerjisi

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en önemli potansiyellerden birisi su gücünün kullanıldığı hidroelektrik enerjisidir. Barajlarda suyun potansiyel enerjisinden faydalanılarak kinetik enerjiye dönüştürülmesi sonucu elde edilen bir enerji türüdür. Hidrolik enerjiden faydalanma oranı yağmur yağışlarına bağlı olarak değişmektedir Hidroelektrik santraller; çevreye uyumlu, temiz, yenilenebilir, yüksek verimli, yakıt gideri olmayan, uzun ömürlü, işletme gideri çok düşük dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır [42]. Haziran 2022 yılı itibari ile hidroelektrik enerjisine dayalı elektrik kurulu gücünün 31.558 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %31 olduğu, yıllara göre kurulu güç içerisindeki oranı aşağıda grafikte gösterilmiştir [43].



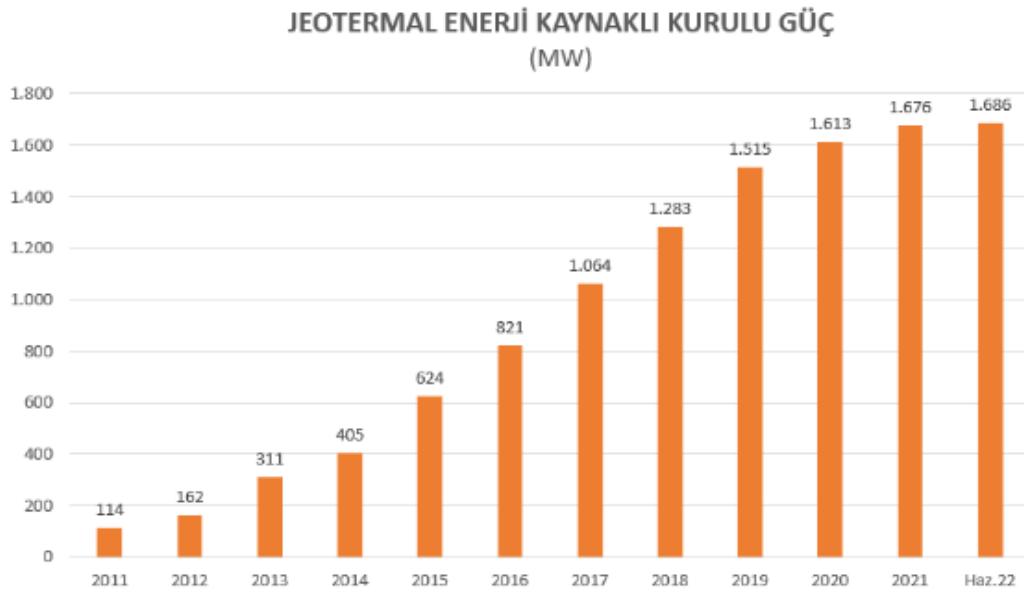
Şekil 1.12. Hidrolik enerjisi kurulu güç değişimi [24].

1.2.5. Jeotermal enerjisi

Jeotermal enerji, sıcaklığına bağlı olarak, başta elektrik üretimi, ısıtma ve tedavi amaçlı olmak üzere endüstride çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıkta bir jeotermal akışkandan entegre olarak bir çok alanda faydalanmak mümkündür. Jeotermal enerji hem düşük karbondioksit emisyon oranı ile hava kirliliği yaratmaması ve hem de yenilenebilir olması nedeniyle önemli bir alternatif enerji kaynağıdır. Güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığında jeotermal enerji kesintisiz olmasından dolayı avantajlı bir konuma sahiptir [44].

Jeotermal enerji; yerkabuğunun, çeşitli derinliklerinde bulunan birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları bölgesel atmosferik sıcaklıkların üzerinde olan, normal yer altı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuzlar, gazlar içeren sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir.

Hazne sıcaklığı 150 °C 'tan daha yüksek sıcaklıktaki jeotermal akışkandan elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bununla beraber buharlaşma noktaları düşük (Freon, izobütan vb.) gazlar kullanılarak 60 – 90 °C sıcaklıktaki sulardan da elektrik üretimi yapılabilmektedir [45].

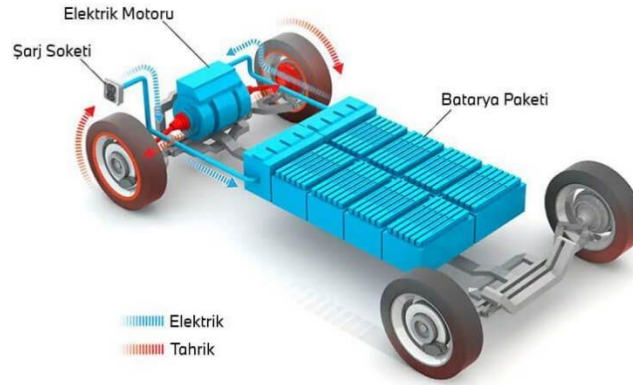


Şekil 1.13. Jeotermal enerjisi kurulu güç değişimi [45].

1.5. Elektrikli Araçlar

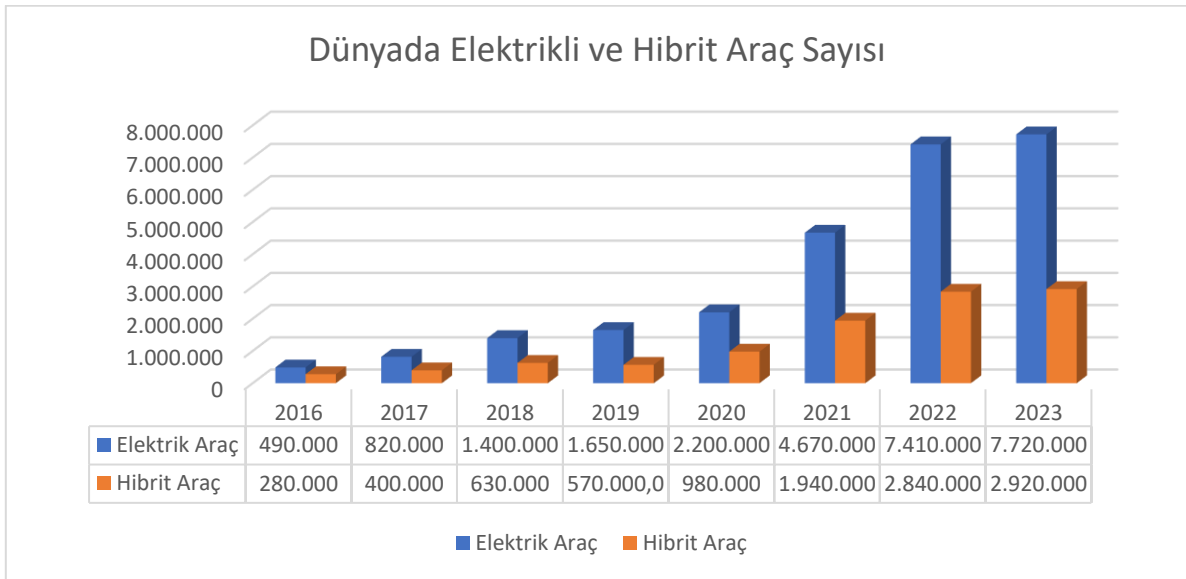
Dünya nüfusunun artması ile birlikte araç kullanımı ve insanların araç sahiplenmesi de artmaktadır . İçten yanmalı araçların CO² salınımına sebep olması ve çevreci olmaması, elektrikli araçların ise düşük karbon salınımı , sessiz sürüş ve enerji verimliliği gibi avantajları sayesinde elektrikli araçların gelecekte yaygın kullanımını zorunlu hale getirmektedir [46].

Elektrikli araçlar, içten yanmalı motor kullanmadan, elektrik motoru, batarya, güç elektroniği elemanları ve şarj cihazlarından oluşmaktadır. Bataryalardan sağlanan elektrik enerjisi ile motor tahriki sağlanmaktadır. Elektrikli araçlarda bataryalar hem şebekeden hem de sürüş esnasında frenleme ile şarj edilebilir.

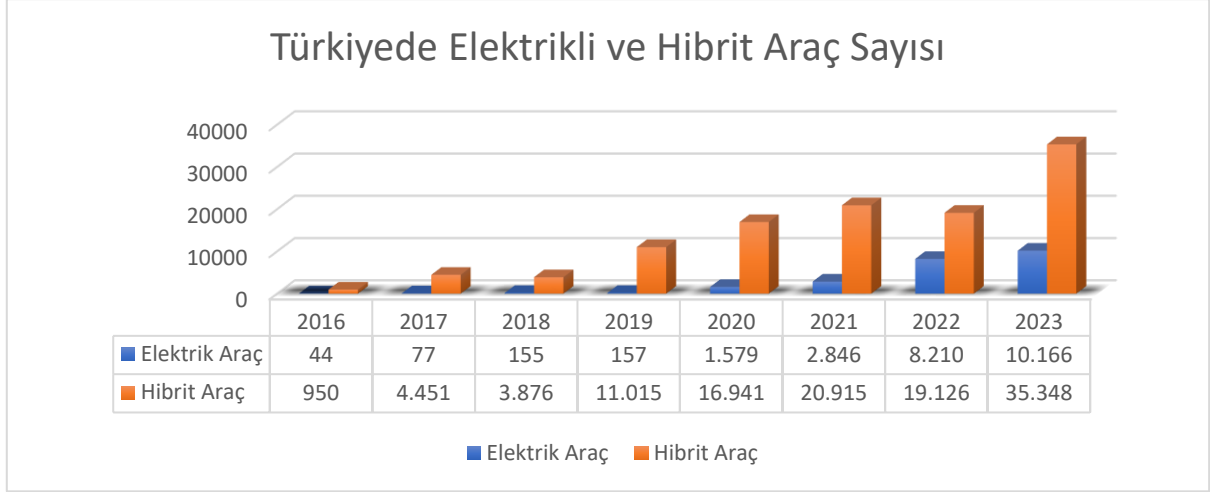


Şekil 1.14. Elektrikli araç prensip şeması [47].

Elektrikli araçlarda mekanik parçaların az olması sebebi ile arıza ve bakım ihtiyacının az olması, sessiz çalışması, elektrik motorunun geleneksel içten yanmalı motorlara göre daha ucuz ve basit yapıda olması, yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenebilmesi, hibrit çalışabilme özelliği, dünya çapında karbondioksit emisyonunun önemli bir bölümü ulaşım sektöründe kullanılan araçlar tarafından üretildiği ve atmosfere yayıldığı dikkate alındığında elektrikli araçların çevreye duyarlı olması elektrikli araçların avantajları arasında sayılabilir.



Şekil 1.15. Dünyada elektrik ve hibrit araç sayısı [48].



Şekil 1.16. Türkiye’de elektrikli ve hibrit araç sayısı [48].

1.6. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile İlgili Mevzuat ve Yönetmelikler

Ülkemizde gerek enerji verimliliği gerekse de kamu binalarında tasarruf tedbirleri kapsamında yasal düzenlemeler bulunmaktadır. Söz konusu kanunların amacı enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin azaltılması ve verimliliği artırılması amaçlanmaktadır. Söz konusu kanunlar ile ilgili bakanlıklar kanunun uygulanması için yönetmelikler, genelgeler yayımlayarak Türkiye’nin enerji verimliliği hakkında mevzuatı oluşturulmuştur. Tasarruf hedefleri kapsamında kapsamlı enerji verimliliği iyileştirmesi yapılan binalarda %50’nin üzerinde tasarruf sağlanabildiği belirtilmektedir [49]. Söz konusu yönetmeliklerin bazıları aşağıda belirtilmiştir.

1.6.1 5627 sayılı enerji verimliliği kanunu

5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu 02/05/2007 tarih 26510 sayılı resmi gazete yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu kanun ile enerjinin etkin bir şekilde kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması hedeflenmektedir. Kanun kapsamında enerjinin üretim ve tüketim aşamalarında toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usûl ve esaslar belirtilmektedir.

Kanun kapsamında kamu binaları ile ilgili olarak toplam inşaat alanı en az 20.000 m² veya yıllık enerji tüketimi 500 TEP ve üzeri binalarda enerji yöneticisi görevlendirilmesi gerektiği, binalardaki enerji verimliliğinin gelişimini bölge ve sektör bazında ortaya koyan envanter ve

geleceğe yönelik projeksiyonları içeren yıllık raporlar Genel Müdürlük tarafından hazırlanarak yayınlanması gerekmektedir.

Yine kanun kapsamında elektrik enerjisi üretim tesisleri ile iletim ve dağıtım şebekelerinde enerji verimliliğinin artırılmasına, talep tarafı yönetimine, termik santrallerin atık ısılarından yararlanılmasına, açık alan aydınlatmalarına, biyoyakıt ve hidrojen gibi alternatif yakıt kullanımının özendirilmesine ilişkin usûl ve esasların Bakanlık tarafından yürürlüğe konulacak yönetmelikle belirleneceği belirtilmiştir. Ayrıca enerji verimliliğini artırmak amacıyla hazırlanan projelere Bakanlık tarafından 15.000.000 TL geçmemek kaydıyla bedellerinin en fazla %30 oranında destekleneceği, enerji verimliliğinin artırılması amacına yönelik yönetmelik hükümlerine aykırı hareket edilmesi halinde idari yaptırımlar yapılacağı belirtilmektedir [50].

1.6.2 Binalarda enerji performansı yönetmeliği

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği 05/12/2018 tarih 27075 sayılı resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik kapsamında dış iklim şartları, iç mekan gereksinimleri, maliyet etkinliği dikkate alınarak binanın enerji kullanımlarının değerlendirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi ile ilgili uygulama ve esaslar belirlenmektedir [51].

Yönetmelik kapsamında enerji kimlik belgesinin hazırlanması, 1000 m²'nin üzerinde kullanım alanına sahip binalarda elektrik, ısı ve sıhhi sıcak su ihtiyacının kojenerasyon sistemi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim imkanlarının araştırılması, 10.000 m²'nin üzerinde olan ve merkezi ısıtma, soğutma, iklimlendirme sistemi ve aydınlatma sistemleri birlikte bulunan binalarda bilgisayar kontrollü bina otomasyon sistemi tesis edilmesi, NSEB (Neredeyse Sıfır Enerjili Bina) niteliğindeki binaların Enerji Kimlik Belgesindeki enerji performans sınıfının B veya daha iyi olması ve aynı zamanda binanın birincil enerji ihtiyacının en az %10'u oranında yenilenebilir enerji kullanımına sahip olması gerektiği belirtilmiştir.

1.6.3 Kamu Binalarında Enerji Tasarrufu ile İlgili 2019/18 Sayılı Cumhurbaşkanlığı

Genelgesi

Kamu kaynaklarının verimli kullanılması ve enerji maliyetlerinin kamu sektörü üzerindeki yükünün azaltılması amacıyla 18/4/2007 tarihli ve 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanununa göre enerji yöneticisi görevlendirmekle yükümlü olan (yıllık toplam enerji tüketimi 250 TEP

ve üzeri veya toplam inşaat alanı 10.000 m² ve üzeri) kamu binalarının 2023 yılı sonuna kadar asgari %15 enerji tasarrufu sağlaması hedeflenmektedir.

Tasarruf hedefleri kapsamında % 14 altında tasarruf sağlayanlar “başarısız”, % 14 ile % 16 arası tasarruf sağlayanlar “başarılı”, % 16 üzeri tasarruf sağlayanlar ise “üstün başarılı” olarak sınıflandırılacağı, başarısız olan ve gerekçeleri uygun görülmeyen kurum ve kuruluşlar, nihai değerlendirme yapılmak üzere Cumhurbaşkanlığına bildirileceği, binalarda bulunan uygun (gölgeleme, güney cephe vb kriterler dikkate alınarak) çatı alanlarına fotovoltaik panel kurulumuna yönelik fizibilite çalışmaları yapılması gerektiği belirtilmektedir [52].

1.6.4 Kamu Binalarında Enerji Tasarrufu ile İlgili 04/11/2023 Tarihli Cumhurbaşkanlığı Genelgesi

04/11/2023 tarih ve 2023/15 sayılı Cumhurbaşkanı Genelgesi ile kamu binaları için 2019/18 sayılı Cumhurbaşkanı Genelgesi ile belirlenen %15 enerji tasarruf hedefi, 2030 yılına kadar asgari %30 olacak şekilde güncellenmesi gerektiği belirtilmiştir .Genelge kapsamında dönem sonuna kadar TEP cinsinden hesaplanan referans tüketimden asgari %30 tasarruf sağlamak üzere enerji verimliliği önlemleri uygulanması gerektiği, %28 altında tasarruf sağlayanlar “başarısız”, %28 ile %32 arası tasarruf sağlayanlar “başarılı”, %32 üzeri tasarruf sağlayanlar ise “üstün başarılı” olarak sınıflandırılacağı, binalarda uygun çatı ve otopark alanlarına öz tüketimi karşılamak amacıyla fotovoltaik panel ile otoparklara elektrikli araçlar için şarj istasyonu kurulumu dönem sonuna kadar tamamlanacağı, kamu binalarında reaktif güç kontrol panoları iyileştirilmesi ve reaktif cezaların önüne geçilmesi gerektiği belirtilmiştir [53].

2. HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİ

Hibrit enerji sistemleri en az iki ve daha fazla enerji kaynağından enerji üretimini sağlayan sistemlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi miktarı talep edilen miktarı karşılamak için yeterli olmadığından alternatif enerji üreten sistemler ile tamamlanmaktadır. Yenilenebilir enerji sistemleri klasik enerji kaynakları ve elektrik enerjisi depolama üniteleri ile desteklenerek sürekliliği sağlanır. Bu şekilde sistem güvenilirliği ve sürekliliği sağlanacaktır [3].

PV güneş panellerinin ve rüzgâr türbinlerinin iklim şartlarına göre enerji üretim seviyelerinde farklılıklar meydana gelmektedir. Bu nedenle birbirlerinin eksikliklerini tamamlayacak bir şekilde sistemlerin birleştirilmesi ile daha fazla enerji sağlanmaktadır. Güneş enerjisinin sadece gündüz saatlerinde olması, rüzgârın sürekli olmaması bu sistemlerin bağımsız kullanılmasını kısıtlamakta olup, rüzgâr hızının yetersiz veya verimsiz olduğu durumlarda alternatif olarak güneş sistemi kullanılabilir. Böylelikle sistemin devamlılığı söz konusu olabilir [54].

Elektrik dağıtım şebekesine uzak olan küçük yerleşim birimlerinde enerji ihtiyacı karşılanmasında genellikle güneş-rüzgar hibrit enerji sistemlerine gereksinim duyulmaktadır. Sanayi siteleri gibi orta ölçekli yerleşim alanlarında ise enerji ihtiyacı rüzgar- mikro hidroelektrik üretim üniteleri ile sağlanırken enerjinin devamını sağlamak amacıyla da dizel jeneratörlerden faydalanılmaktadır [3].

Yenilenebilir enerji kaynakları ile oluşturulan hibrit enerji sistemlerinde talep edilen gücü karşılamanın yanında, şebeke bağlantılı sistemlerde üretilen enerji bataryalarda depo edilebileceği gibi aynı zamanda şebekeye satılabilir.

Yerel köylere elektrik sağlamak amacıyla iki veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynağını (küçük hidroelektrik, güneş, rüzgar, biyokütle vb.) kullanan sistem, entegre yenilenebilir enerji sistemi olarak bilinmektedir [55].

2.1. Geleneksel Sistem Yapısı

Hibrit enerji sistemleri kullanım şekillerine göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemlerdir.

2.1.1. Şebekeye bağlı sistemler (on-grid)

Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemleri bir elektrik iletim ve dağıtım sistemine bağlanan bağımsız ve merkezi olmayan sistemlerdir. Enerji hatlarına yakın yerlerde şebeke ve diğer

enerji kaynakları ile beraber kullanılmaktadırlar. On-Grid hibrit enerji sistemlerinde ihtiyaç duyulan anlık enerjinin yetersiz kalması durumunda şebekeden enerji alınabilir ve üretilen enerjinin fazla olması durumunda şebekeye satılabilir. Aynı zamanda sistem sadece şebekeyi beslemek içinde tasarlanabilir. Şebekeye bağlı sistemler genellikle şebekeye yakın konumlar için tercih edilmektedir ve şebekeden bağımsız çalışan sistemlere göre daha güvenilirlerdir [56].

Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan çift yönlü sayaçlar sayesinde şebeke tarafından gelen enerji ile hibrit sistem tarafından şebekeye verilen enerjinin farkı alınarak mahsuplaşma yöntemi üzerinden faturalandırma yapılır. Bir diğer önemli nokta EPDK tarafından yayınlan tarife üzerinden enerji alış fiyatı ile enerji satış fiyatı kıyaslanarak gereksiz boyutlandırma yapılmaması için optimizasyon analizi yapılması gerekmektedir.

Şebekeye bağlı On-Grid yenilenebilir enerji sistemleri sınırsız depolama kapasitesine sahip akü gibi davranmaktadır [36]. Bu sebeple yenilenebilir enerji sistemlerindeki süreklilik sorunu ortadan kalkmaktadır. Depolama ve süreklilik kapasitesinde herhangi bir sorun olmadığı göz önüne alındığında fazla enerjinin boşa atılmasına gerek kalmadan depolanabildiği düşünüldüğünde Off- Grid sistemlere göre daha avantajlıdır.



Şekil 2.1. Şebekeye bağlı on-grid sistem

2.1.2. Şebekeden bağımsız sistemler (off-grid)

Şebekeden bağımsız off-grid sistemler elektrik üretim tesislerine ya da dağıtım tesislerine uzak bölgelerde, elektriğin teknik ve ekonomik kısıtlar nedeniyle ulaşmadığı, bağ evleri, tarımsal sulama sistemleri, haberleşme ve yayın sistemleri, tabela, tekne vb. uygulama alanlarında şebekeden bağımsız olarak çalışan bölgelerde elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması için hibrit yenilenebilir enerji sistemleri kullanılmaktadır. Hibrit enerji sistemlerinde güneş, rüzgâr, hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını tek başına ya da hibrit bir şekilde kullanılabilmektedir [57].



Şekil 2.2. Şebekeden bağımsız off-grid sistem

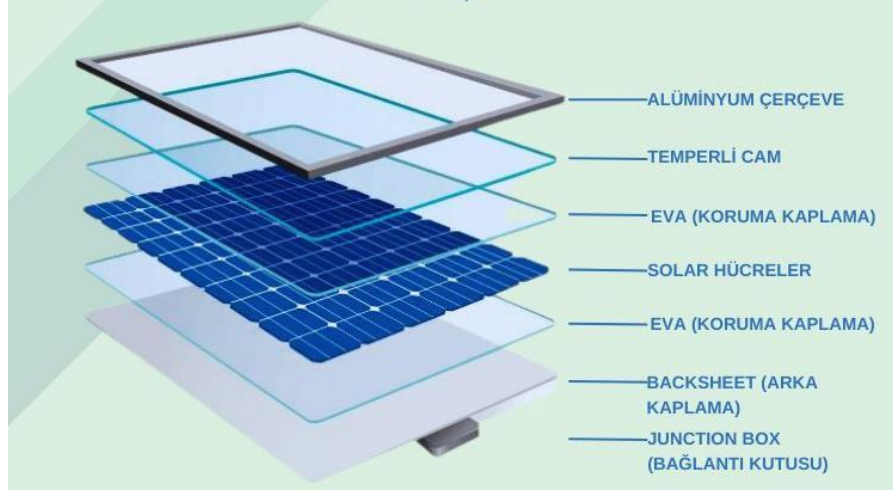
İhtiyaç yük talebi ile tasarlanan sistem ile mevcut enerji üretimi arasında genellikle bir eşleşme söz konusudur. Bu nedenle tasarlanan sistemde enerjinin sürekliliği ile ilgili güvenilir bir durum oluşur. Bu durum sistemde depolama veya başka bir yedek araç ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Off-grid sistemlerde sağlanan enerjinin yük ihtiyacını karşılayamamasını önlemek amacıyla dizel jeneratör veya depolama sistemi kullanılması gerekmektedir. Enerji depolama sistemi, sistemin sürekliliğini sağlama ve fazla üretilen enerjiyi depolamak için sistemde yer almaktadır [58]. Sistemde depolama sisteminin olmaması durumunda üretilen fazla enerjinin boşa atılması gerekir ve güvenilirliğin azalarak enerji ihtiyacının karşılanamama durumu ortaya çıkabilir [55].

2.2. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi Elemanları

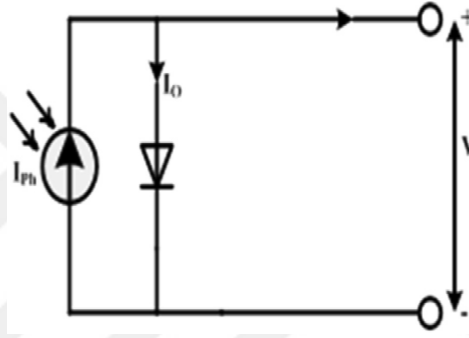
Hibrit enerji sisteminin bir parçası olan güneş enerji sistemlerinde, güneşten gelen enerjinin elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan ekipmanlar; güneş panelleri, akü, sistemin fonksiyonel ve opsiyonel ihtiyacına göre dönüştürücü ve şarj regülatörleri kullanılmaktadır.

2.2.1. Güneş panelleri

Güneşten aldığı ışınımı doğrudan elektrik enerjisine çeviren elemanlara PV sistem denilmektedir. Yarı iletken özelliğine sahip olan hücreler silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellurid ya da bakır indiyum diselenid gibi yarı iletken maddelerden meydana gelmektedir. Yarı iletken özelliğine sahip olan hücreler güneş ışığının ilettiği enerjiyi fotoelektrik tepkiden yararlanarak direk olarak enerjiye dönüştürmektedir [59].



Şekil 2.3. Fotovoltaik modül yapısı



Şekil 2.4. PV hücre modeli

PV modelin I_d akımı denklemleri aşağıda belirtilmiştir.

$$I = I_{ph} - I_d \quad (1)$$

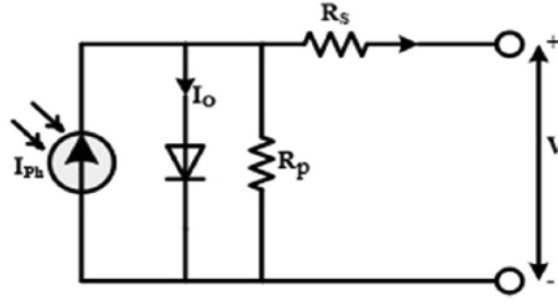
$$I_d = I_0 \left\{ e^{qV_d/aKT} - 1 \right\} \quad (2)$$

Belirtilen formülde elektron miktarı olarak belirtilen q 'nun değeri $1,6 \times 10^{-19}$ 'dir. K Boltzmann sabitinin değeri ise $1,3805 \times 10^{-23} J/K$ ' dir. Yine formülde V_d diyot gerilimi, I_0 kaçak akım, T ise Kelvin olarak sıcaklık değeridir.

Söz konusu denklemlerde Kirchoff Akımlar kanunu uygulandığında uç akımı I Denklem 3'deki gibi bulunur.

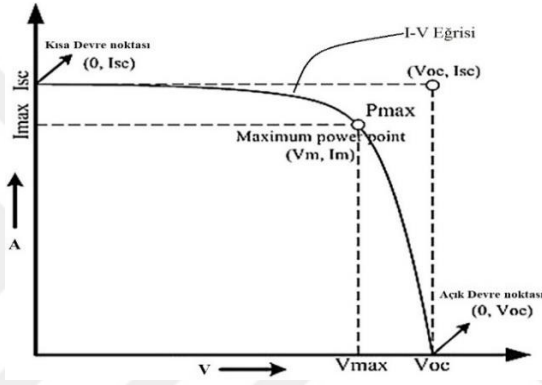
$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{qV_d/aKT} - 1 \right\} \quad (3)$$

Optimum bir PV hücrenin eşdeğer devresi aşağıda belirtilmiştir. Buna göre R_s seri direnci R_p ise şönt direnci temsil etmektedir



Şekil 2.5.Optimum PV hücresi şeması

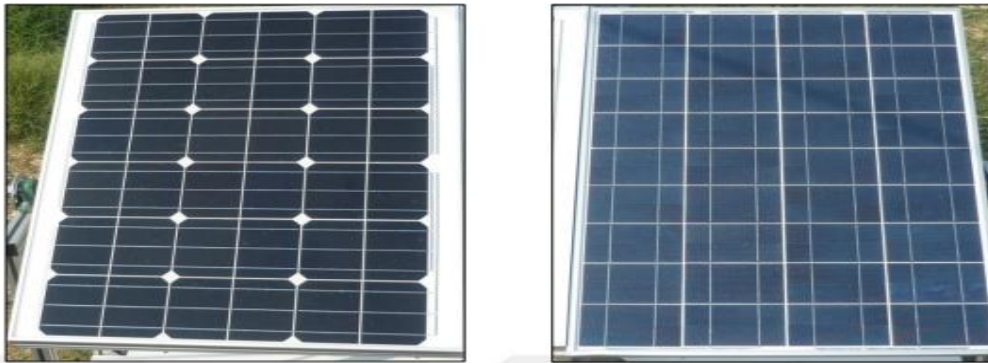
Yukarıda belirtilen devrede, Kirchhoff Akım ve Gerilim Yasaları uygulandığında model oluşturulmuş olur. Elde edilen devreler, yani hücreler, paralel ve seri bağlantılarla bir araya getirilerek PV modüllerini oluşturur.



Şekil 2.6. PV modül akım ve gerilim grafiği

Bir PV panelinin uçlarına potansiyometre bağlanarak gerilim ve akım arasındaki ilişki incelendiğinde, Şekil 2.6’da görüldüğü gibi doğrusal olmayan bir eğri elde edilir. [60].

Güneş panelleri genellikle tek kristal (monokristal), çoklu kristal (polikristal) olarak üretilmektedir. Monokristal ve polikristal panellerde dayanıklı olmasından dolayı silikon kullanılmakta olup, kristal güneş panellerinde kullanılan en önemli malzeme silisyumdur.



Şekil 2.7. Monokristal ve polikristal panel görünümü

Şekil 2.8, PV panel garanti süreleri hakkında bir grafik göstermektedir. Grafik, 'Yıl' (Yıl) ekseninde 0, 10 ve 25 yılları ile 'Verim' (Verim) ekseninde %80 verim ile etiketlenmiştir. Grafik, 0 ile 25 yılları arasında, %80 verim seviyesinde, bir PV panelin garanti süresi olduğunu göstermektedir.

Şekil 2.8. PV panel garanti süreleri [61].

2.2.2. Şarj regülatörleri

Yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ve rüzgâr enerjisinden yararlanılarak oluşturulan hibrit sistemlerin ürettiği enerji, her zaman kesintisiz bir şekilde kullanılamaz. Bu nedenle hibrit enerji santralinden gelen akım ve gerilim değerlerini düzenleyerek aküye iletilmesini, enerji depolama işlemini gerçekleştirmek ve kontrol etmek için kullanılan elemanlar şarj regülatörü olarak adlandırılmaktadır. Şarj Regülâtörleri, sistem durumunu dikkate alarak şarj ve deşarj işlemlerini yöneten, enerji dağılımını düzenleyen ve en uygun çalışma modunu otomatik olarak seçen akıllı elektronik devrelerdir [62].

Şarj regülatörlerinde bulunan mikroişlemciler sayesinde yenilenebilir enerji sistemlerinden elde edilen enerji, aküleri ve yükleri sürekli izleyerek enerji akışının maksimum verimle gerçekleşmesini sağlar. Ayrıca geliştirilen regülatör sistemlerinde olası kısa devre durumlarına karşı koruma sağlar. Şarj regülatörleri aynı zamanda akülerin derin şarj ve aşırı şarj gibi istenmeyen durumlara karşı korumaktadır.

2.2.2.1. PWM şarj regülatörleri

PWM şarj regülatörlerinin üzerinde yer alan LED’ler veya LCD ekran sayesinde akünün durumu, şarj seviyesi vb. bilgiler görülmektedir. Kapalı ve açık kurşun akülerinin optimum seviyede dolmasını sağlar. Düşük kapasiteli sistemler için PWM şarj regülatörü en çok tercih edilen cihazlardır.

2.2.2.2. MPPT şarj regülatörleri

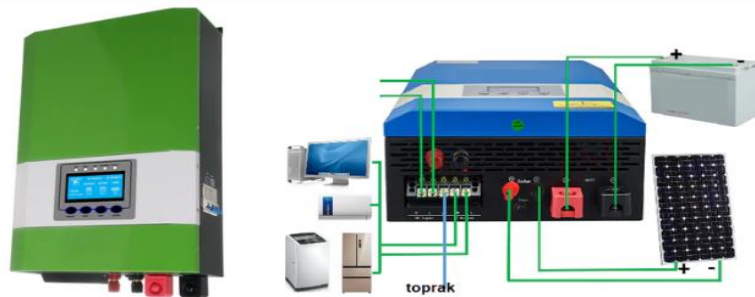
MPPT şarj regülatörleri yüksek akü kapasiteli sistemlerde kullanılmaktadır. Bu regülatörlerin verimleri, uygun gerilim değerleri aralıklarındaysa %98'e kadar çıkabilir. Maliyeti PWM'lere göre daha yüksek olmakla beraber, aküye uygun olarak çalıştığı için akünün ömrünü %50 uzatır.



Şekil 2.9. MPPT ve PWM şarj regülatörü

2.2.3. Eviriciler – Dönüştürücü (İnverter)

İnverter Türkçe anlamı ile evirici elektriksel bir güç dönüştürücü elemanıdır. İnverterler istenilen gerilim, güç ve frekans değerlerindeki AC akım elde edilmesini sağlar. Güneş enerji sistemlerinde DC (doğru akım) üretildiği için üretilen bu enerjinin akülerde depolanması gerekir. Akülerde depolanan 12V, 24V veya 48V doğru akım (DC) invertör yardımı ile temiz saf sinüs formunda monofaze 220V veya trifaze 380V AC gerilime çevrilir. İnvertörlerin çıkış gücüne ve çıkış dalga özelliklerine göre kare dalga, düzeltilmiş sinüs dalga ve tam sinüs dalga olmak üzere çeşitleri mevcuttur. Kullanım yerlerine göre depolamalı ve şebeke bağlantılı olmak üzere iki kullanım alanına ayrılırlar. Tam sinüs invertör şebeke elektriği ile aynı kalitede çıkış verip hiçbir elektrikli cihazın çalışmasında sorun çıkarmamaktadır. Birçok motorlu alet ilk çalışma anında normal güç tüketiminin birkaç katı güç çektiği için kullanılan invertör kısa süreler için bu güçte (Anlık Çekim Gücü) çalışma özelliğine sahip olmalıdır. Bu tip inverterler özellikle çok hassas elektronik cihazları çalıştırmak için kullanılabilir [63].



Şekil 2.10. Evirici (inverter)

2.2.4. Akü (Akümülatör)

Yenilenebilir enerji sistemlerinden elde edilen elektrik enerjisinin devamlılığını sağlayabilmek için uygun bir depolama ürünü olan aküler kullanılması gerekir. Güneş enerji sistemleri atmosferik olaylara bağlı olarak talep edilen elektrik enerjisini yeterli miktarda sağlayamayacağından dolayı güneş ışımalarının olmadığı zamanlarda yükün enerji talebini karşılayabilmek için akü vb. enerji depolama elemanları kullanılmaktadır. Aküler aldığı elektrik enerjisini kimyasal formda depolayabilen elektrokimyasal elemanlardır ve yenilenebilir enerji sistemlerinden üretilen enerjinin daha sonra kullanılması amacı ile depolanmasını sağlar [31]. Genelde güneş enerjisi ile enerji kullanımı arasında zamansal bir uyum olmadığından akümülatör, PV sistemin önemli bir parçasıdır. Meteorolojik ve mevsimsel şartlara bağımlı olarak yenilenebilir enerji sistemlerinde üretilen elektrik enerjisindeki değişikliklerin tüketici sisteme yansması önlenir.

Günümüz teknolojisinde hibrit enerji sistemlerinin güvenilir olması, zorlu ortamlardaki performansı, uzun ömürlü olması, kapalı ortamlarda güvenli çalışması ve bakım maliyetleri göz önüne alındığında yoğun olarak solar aküler kullanılmaktadır. [64].



Şekil 2.11. Solar akü

3. MATERYAL VE METOD

Bu tez çalışması kapsamında Bursa Büyükşehir Belediyesi Ek Hizmet Binası Yerleşkesine ait enerji ihtiyacının hibrit bir enerji sistem ile yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılanması için tekno-ekonomik analizi yapılmıştır. Yapılacak çalışmada güneş ve rüzgâr enerjisi sayesinde enerjiye harcanan giderlerin azaltılması, çevreye duyarlı ve kamu kaynaklarının daha optimum kullanılması hedeflenmektedir.

Yerleşke ile ilgili olarak mevsimsel, aylık, günlük ve saatlik olarak elektrik enerjisi tüketimleri gerçek zamanlı olarak elde edilerek yük profili oluşturulmuştur. Buna göre tasarlanacak hibrit güç sisteminin modellenmesi, simülasyon ve hassasiyet analizleri gibi işlemleri yapabilen HOMER yazılımı Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilmiş ve bu çalışmada kullanılacaktır. HOMER yazılımı sayesinde sistemde kullanılan bileşen sayısı sistemin kurulu gücü ile birlikte yapılan analizler sonucunda sistemin tekno-ekonomik analizi gerçekleştirilecektir.

Elektrik piyasasında tüketicilerin enerji ihtiyaçlarını kendi üretmeleri ve küçük ölçekli üretim tesislerinin ülke ekonomisine kazandırılması ve etkin kullanılması amacı ile lisanssız elektrik üretimlerini sisteme verilmesi ile ilgili usul ve esaslar Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinde belirlenmiştir. Aynı yönetmelikte belirli bir zaman dilimi içinde gerçekleşen, üretim ve tüketimin birbirinden düşülmesi ile kalan kWh cinsinden net tüketim miktarının belirlenmesine mahsuplaşma işlemi denilmektedir [65].

Mahsuplaşma sisteminde aylık olarak üretim ve tüketim arasındaki fark ele alınmakta olup, mahsuplaşma sisteminde lisanssız elektrik üreticileri için teşviklerin sağlanması ve YEKDEM kapsamında sağlanan devlet destekleri sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomiye kazandırılmasına önemli katkılar sağlamakta olup, yenilebilir enerji üretiminin daha da arttırılacağı öngörülmektedir [66].

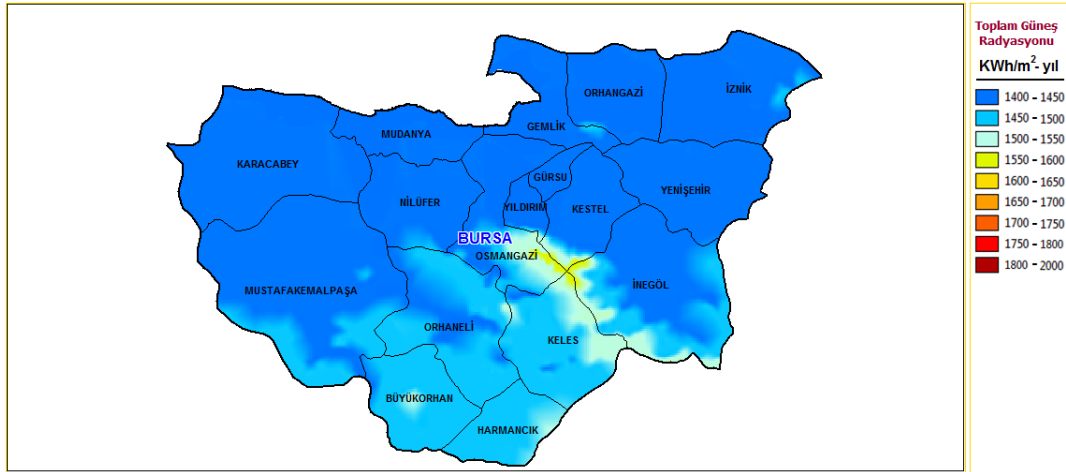
3.1. Bursa İlinin Coğrafi Özellikleri

Bursa İli, Marmara bölgesinin güney bölümünde 40 derece kuzey paraleli, 29 derece doğu meridyeninin kesiştiği konumda yer almaktadır. Sanayi ve ekonomi bakımından Türkiye'nin en önemli illerinden biri olan Bursa'nın nüfusu 2022 yılına göre 3.214.571'dir. Toplam yüz ölçümü 10.819 km² olan Bursa, 17 ilçe yerleşimine sahiptir. Bununla birlikte genelde ılıman bir iklime sahip olsa da güneyde Uludağ'ın sert iklimi ile karşılaşmaktadır.

3.2. Bursa İlinin Güneş Enerjisinin Durumu

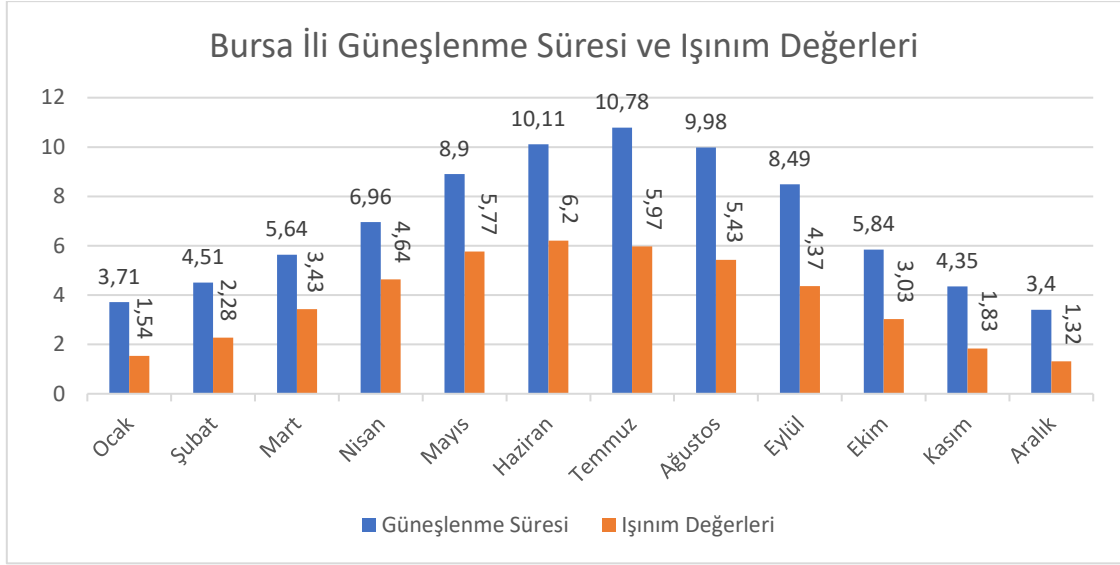
Türkiye coğrafi konumu nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. GEPA verilerine göre ortalama yıllık toplam güneşlenme süresini 7.741 saat olup ortalama yıllık toplam ışıınım değerinin $1.527,46 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır [67].

Bursa İline ait Şekil 3.1’de verilen Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası incelendiğinde merkez ilçeler olan Osmangazi, Nilüfer, Yıldırım gibi ilçelerin büyük kısmında yıllık metrekareye $1400\text{-}1550 \text{ kWh/m}^2$ değerleri arasında güneş ışıınımı düştüğü görülmektedir. Türkiye ortalama ışıınım değerinin $1.527,46 \text{ kWh/m}^2$ olduğu ve Bursa İlinin güneş enerji potansiyeli Türkiye ortalamasına yakın olduğu, bazı noktalarında ise bu ortalamanın üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.1. Bursa ili için güneş enerjisi potansiyeli atlası [67].

Bursa İline ait aylara göre güneşlenme süreleri ve güneş ışıınım değerleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu grafiğe göre kış mevsimi aylarında güneşlenme sürelerinin düşük olduğu, bahar aylarında ise güneşlenme sürelerinin arttığı, yaz aylarında ise en uzun güneşlenme sürelerine ulaşıldığı, en düşük güneşlenme süresinin aralık ayında ortalama 3,4 saat olarak gerçekleştiği, en uzun güneşlenmenin yaz aylarında olduğu ve temmuz ayında 10,78 saat ile en uzun güneşlenmenin gerçekleştiği görülmektedir. GEPA verilerine göre Türkiye’nin ortalama güneşlenme süresi 2740 saat olduğu, yine GEPA verilerine göre Bursa İlinin ortalama güneşlenme süresi 2515 saat olduğu ve bu değer yılda yaklaşık 105 güne tekabül etmektedir [67].



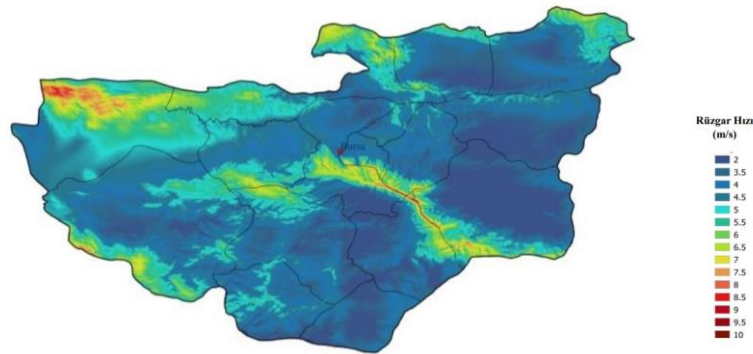
Şekil 3.2. Bursa ili güneşlenme süresi ve güneş ışıınım değerleri

3.3. Bursa İlinin Rüzgâr Enerjisinin Durumu

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak üretilen rüzgâr kaynak bilgilerinin verildiği rüzgâr enerjisi potansiyeli atlasıdır. REPA verilerine göre rüzgâr enerji santrali kurulacak bölgede ekonomik bir yatırımın olabilmesi için yıllık ortalama rüzgâr hızının 7 m/s veya üzerinde, kapasite faktörünün ise %35 veya üzerinde olması gerekmektedir. Rüzgâr hızı ve kapasite faktörünün düşük olduğu bölgelerde geri ödeme süresinin uzun olması sebebi ile ekonomik olarak değerlendirilmemektedir.

REPA verilerine göre Bursa İli merkezi için minimum rüzgâr hızı 1,96 m/s olduğu, maksimum rüzgâr hızı 8,88 m/s, ortalama rüzgar hızı ise 4,30 m/s olarak belirtilmiştir.

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI – 100 METRE



Şekil 3.3. Bursa ili ortalama rüzgâr hızı dağılımı [68]

Rüzgâr enerjisi yatırımı yapılırken yalnızca ortalama rüzgâr hızına değil, aynı zamanda kurulumu yapılan santralin yıl genelinde yaptığı gerçek üretim değerini gösteren kapasite faktörü önemli bir bileşendir. REPA verilerine göre ekonomik bir yatırım için kapasite faktörünün %35 ve üzeri olması gerektiği belirtilmiş olup, yine REPA verilerine göre Bursa ili merkezi için kapasite faktörünün %17,9 olduğu anlaşılmaktadır [68]

3.4. Bursa Büyükşehir Belediyesi Ek Hizmet Binası ve Özellikleri

Bursa Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı olarak Fen İşleri Dairesi Başkanlığı ve Ulaşım Dairesi Başkanlığına hizmet vermekte olan hizmet binası, merkez ilçelerden birisi olan Osmangazi İlçesinde bulunmaktadır. Ek hizmet binasının bulunduğu yerleşke içerisinde aynı zamanda Ulaşım Dairesi Başkanlığına bağlı olarak hizmet vermekte olan atölyeler, depolar ve ana arter yolların bakım ve onarımlarını yapmak için araç ve malzemeler bulunmaktadır.

Toplam alanı 70.795 m² olan yerleşke içerisinde Fen İşleri Dairesi Başkanlığı Ek Hizmet binası 3.000 m² alan üzerine inşa edilmiştir. Hizmet binası bodrum kat, zemin kat ve 3 normal kat olmak üzere toplam 15.000 m² kapalı alanda hizmet vermektedir. Bina içerisinde 140 adet ofis, 10 adet yönetici odası, yemekhane, mescit, elektrik ve mekanik teknik hacimleri olmak üzere 10 adet alan bulunmaktadır.

Yerleşke içerisinde bulunan ek hizmet binasında personelin büyük çoğunluğu hafta içi 08:00-17:00 saatleri arasında çalışmakta olup, şantiye alanı içerisinde bulunan diğer yardımcı tesisler ve görevli personelin bir kısmı ise hafta içi ve hafta sonu olmak üzere sürekli çalışmaktadır. Bursa Büyükşehir Belediyesi Ek Hizmet Binasına ait yerleşim planı aşağıda resimlerde detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 3.4. Bursa büyükşehir belediyesi ek hizmet binası drone çekimi



Şekil 3.5. Bursa büyükşehir belediyesi ek hizmet binası drone çekimi



Şekil 3.6. Bursa büyükşehir belediyesi ek hizmet binası drone çekimi



Şekil 3.7. Bursa büyükşehir belediyesi ek hizmet binası drone çekimi

3.5. Yerleşke ve Fen İşleri Hizmet Binasına Ait Elektrik Tesisatı

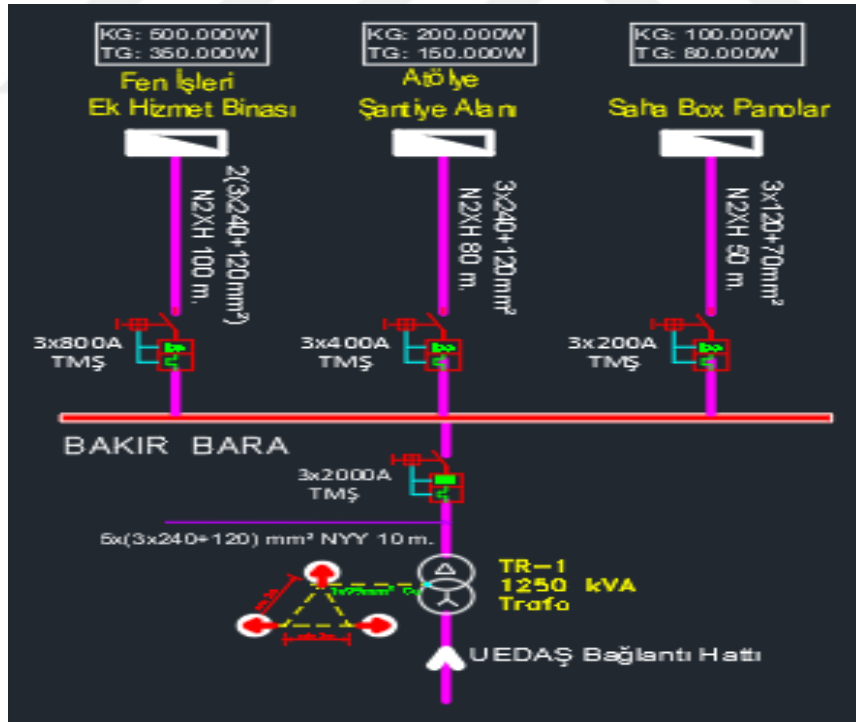
Bursa Büyükşehir Belediyesine bağlı yerleşke içerisinde elektrik enerjisi modüler köşk içerisinde bulunan 1250 kVA gücündeki trafo ile sağlanmaktadır. Bölgede yerel elektrik sağlayıcısı statüsünde bulunan Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. ile yapılan abonelik sözleşmesine

istinaden Orta Gerilim Seviyesinden Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü tarife grubu dahil olarak dağıtım tesisi üzerinden elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Yerleşkenin enerji ölçümü Orta Gerilim kısmında bulunan ölçü hücresindeki x/5 sayaç üzerinden OSOS (otomatik sayaç okuma sistemi) ile okunmaktadır.

Yerleşke içerisindeki trafo çıkışında bulunan alçak gerilim dağıtım panosundan Fen İşleri Hizmet Binası'nın yanı sıra şantiye alanı içerisinde bulunan atölye, depo, idari bina, kantar, benzinlik, saha box panoları, çevre aydınlatma sistemi gibi yerleşkeye ait bileşenlerinde enerji ihtiyacı sağlanmaktadır.

Fen İşleri Hizmet Binası içerisinde elektrik tesisatı kapsamında; priz ve UPS tesisatı, aydınlatma tesisatı, asansör tesisatı, mekanik tesisat ve iklimlendirme tesisatı kapsamında elektrik tüketimi yapılmaktadır.

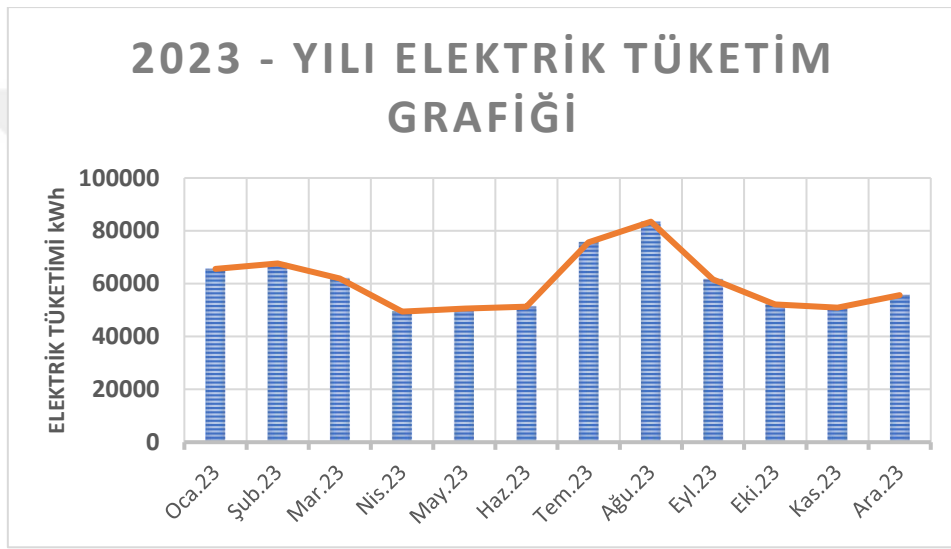
Yerleşkeye ait yükleme cetveli ve tek-hat şeması aşağıda belirtilmiştir. Buna göre trafo çıkışındaki ana pano üzerinden 500 kW gücündeki Fen İşleri Hizmet binası, 250 kW gücündeki Atölye binası ve bileşenleri, 100 kW gücündeki saha box panoları ve bileşenleri beslenmektedir.



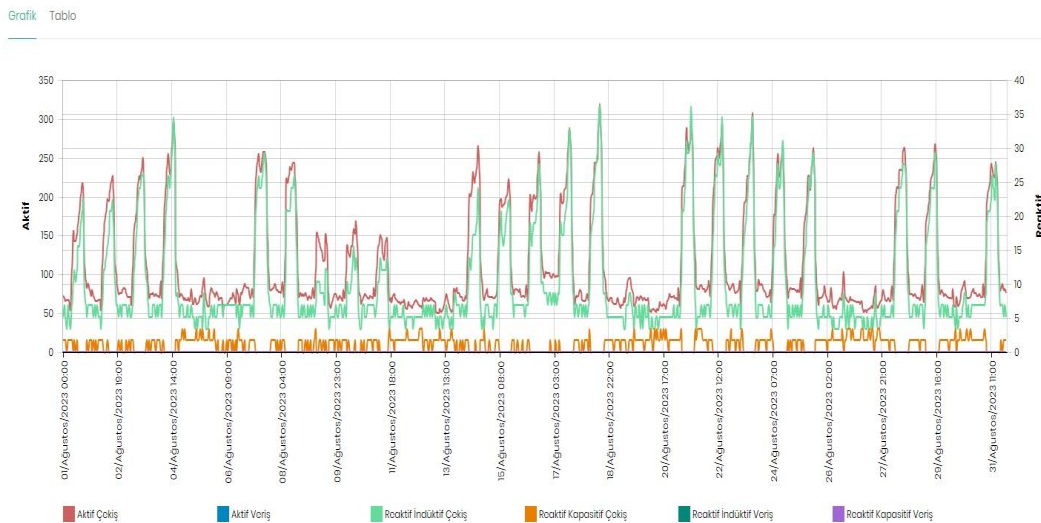
Şekil 3.8. Yerleşkeye ait tek-hat şeması

3.6. Binanın Enerji Tüketimi:

Yerleşkeye ait olarak günlük ve aylık elektrik tüketim değerleri bölgedeki elektrik dağıtım şirketi olan UEDAŞ'ın OSOS (Otomatik Sayaç Okuma Sistemi) sistemi üzerinden temin edilerek, enerji tüketiminin mevsimsel durumu, her ay için ortalama enerji tüketimi, günlük ve saatlik olarak minimum ve maksimum enerji tüketimleri detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Buna göre yıl içerisinde en az tüketimin 49.426 kWh ile Nisan ayı içerisinde yapıldığı, en fazla enerji tüketimin ise 83.455 kWh ile ağustos ayı içerisinde gerçekleştirildiği, mevsimsel şartlar dikkate alındığında aynı yerleşke içerisinde %68 oranında daha fazla elektrik enerjisi tüketildiği görülmektedir.



Şekil 3.9. UEDAŞ OSOS sistemi üzerinden alınan yerleşkeye ait aylık bazda elektrik tüketimi



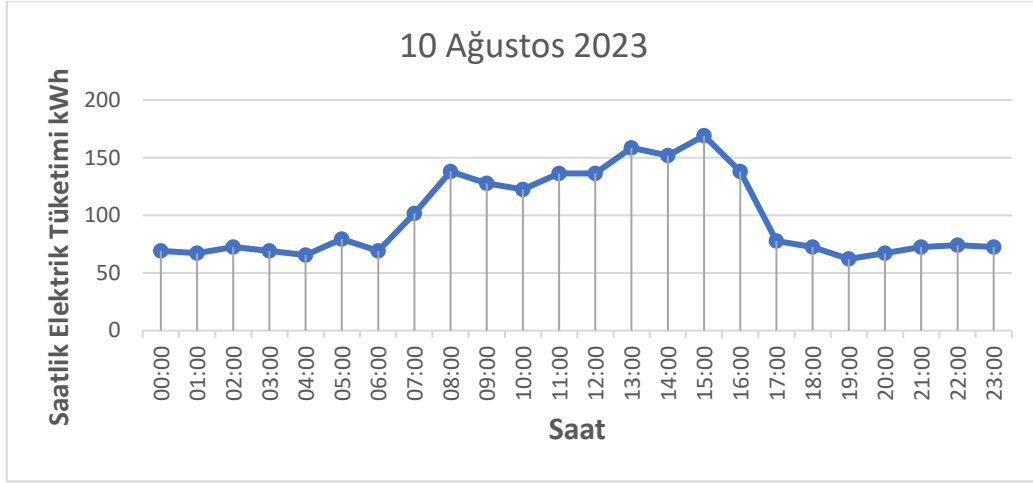
Şekil 3.10. Haftalık elektrik tüketimi

Tablo 3.1. Yerleşkenin yıllık elektrik tüketimi (kWh)

Dönem		Aylık Toplam Tüketim (kWh)	Hafta İçi Mesai Günleri Toplam Tüketim (kWh)	Hafta İçi Mesai Günleri Günlük Ortalama Tüketim (kWh)	Hafta Sonu Mesai Dışı Günler Toplam Tüketim (kWh)	Hafta Sonu Mesai Dışı Günler Günlük Ortalama Tüketim (kWh)
2023	Ocak	65550	51941	2360,95	13609	1512,11
2023	Şubat	67645	54626	2731,30	13019	1627,38
2023	Mart	62008	53584	2329,74	8424	1053,00
2023	Nisan	49426	39787	1989,35	9639	963,90
2023	Mayıs	50532	42918	1866,00	7614	951,75
2023	Haziran	51251	43135	1960,68	8116	1014,50
2023	Temmuz	75592	65373	3113,00	10219	1021,90
2023	Ağustos	83455	73639	3201,70	9816	1227,00
2023	Eylül	61556	52002	2363,73	9554	1194,25
2023	Ekim	52101	43056	1957,09	9045	1005,00
2023	Kasım	50975	42978	1953,55	7997	999,63
2023	Aralık	55638	45297	2157,00	10341	1034,10
TOPLAM		725729	608336		117393	

Yerleşkeye ait yıllık enerji tüketiminin ortalaması alındığında aylık ortalama 60.477 kWh olarak hesaplanmaktadır. Buna göre ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde aylık tüketim değerlerinin ortalama değerlere yakın olduğu, yaz döneminde ise tüketimin ortalama tüketim değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir.

Günlük bazda elektrik enerjisi tüketimi incelendiğinde, yerleşke içerisinde en fazla tüketimin yapıldığı ağustos ayı referans alınmıştır. Buna göre mesai saatleri dışında saatlik 65 kWh seviyelerinde tüketim olduğu, sabah saatlerinde mesainin başlaması ile tüketim değerlerinin 101 kWh seviyelerine ulaştığı, gün içerisinde en yüksek tüketimin saat 15:00 sularında 169 kWh seviyelerine kadar çıktığı, mesai bitimi ile beraber tekrar 65 kWh seviyelerine gerilediği görülmektedir.



Şekil 3.11. Günlük elektrik tüketim grafiği

Tablo 3.2. UEDAŞ OSOS sisteminden alınan günlük elektrik tüketim tablosu

Profil Tarihi / Saati	Tüketim Çekiş kWh/gün	Reak. Ind. Çekiş kVARh/gün	Reak. Kap. Çekiş kVARh/gün
10.08.2023 00:00	69	5,175	1,725
10.08.2023 01:00	67,275	5,175	0
10.08.2023 02:00	72,45	6,9	1,725
10.08.2023 03:00	69	6,9	0
10.08.2023 04:00	65,55	5,175	1,725
10.08.2023 05:00	79,35	5,175	1,725
10.08.2023 06:00	69	6,9	1,725
10.08.2023 07:00	101,775	5,175	1,725
10.08.2023 08:00	138	10,35	0
10.08.2023 09:00	127,65	8,625	1,725
10.08.2023 10:00	122,475	8,625	0
10.08.2023 11:00	136,275	10,35	0
10.08.2023 12:00	136,275	12,075	0
10.08.2023 13:00	158,7	15,525	0
10.08.2023 14:00	151,8	12,075	1,725
10.08.2023 15:00	169,05	13,8	0
10.08.2023 16:00	138	12,075	0
10.08.2023 17:00	77,625	5,175	0
10.08.2023 18:00	72,45	3,45	0
10.08.2023 19:00	62,1	3,45	1,725
10.08.2023 20:00	67,275	6,9	0
10.08.2023 21:00	72,45	6,9	1,725
10.08.2023 22:00	74,175	5,175	0
10.08.2023 23:00	72,45	5,175	0
11.08.2023 00:00	69	6,9	1,725

Buna göre yukarıda belirtilen ve kamusal hizmet binası olan Fen İşleri Ek Hizmet Binasının enerji tüketim verileri ve yük profili incelendiğinde, mevsimsel olarak yaz aylarında diğer mevsimlere göre tüketimin daha fazla olduğu ve Bursa İline ait güneşlenme sürelerinin de yaz mevsiminde daha fazla olduğu dikkate alındığında güneş enerjisinde daha fazla faydalanılacağı görülmektedir. Bununla beraber kamu binasında saatlik incelemede en yüksek tüketimin personelin çalışma saatleri olan 08:00 – 17:00 arasında yapıldığı, yine Bursa İline ait güneş ışınlamı değerlerinin en fazla olduğu saatler ile eş zamanlı olduğu görülmektedir. Tüm bu nedenlerle yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin minimum depolama kapasitesi ile daha ekonomik bir şekilde yerleşkeye ait elektrik enerji ihtiyacının sağlanması hedeflenmektedir.

3.7. Homer Simülasyon Programının Tanıtılması

Çoklu enerji kaynakları için güç sistemlerinin modellenmesi, simülasyon ve hassasiyet analizi gibi işlemleri yapabilen hibrit optimizasyon programı HOMER Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) bünyesinde geliştirilmiştir. HOMER programı boyutlandırma ve optimizasyonu gerçekleştirmek için yaygın olarak kullanılan ve güvenilir bir yazılımdır. HOMER yazılımı sayesinde çeşitli boyutlardaki farklı yenilenebilir enerji konfigürasyonları için bir ön fizibilite testi gerçekleştirmeye yardımcı olurken, farklı konfigürasyonlarda hassasiyet analizi gerçekleştirir. Yazılım hem güç sistemlerinin tasarımına olanak verirken hem de güç sistemlerinin birbirleri ile kıyaslanmasına da olanak sağlamaktadır [69].

HOMER yazılımı sayesinde tasarlanan hibrit sistemde bulunan her bir komponent için başlangıç maliyeti, işletme maliyeti ve bakım onarım maliyet değerleri dikkate alarak sistemin toplam maliyeti hesaplanmaktadır. Yazılım ile sistemde kullanılacak bileşen sayısı, sistemin kurulu gücü ile birlikte yapılan analizler sonucunda sistemin tekno-ekonomik analizi gerçekleştirilmektedir. Tasarlanacak enerji sistemi maliyetlerinin değerlendirilebilmesi için kurulacak tesisin bulunduğu ülkedeki döviz kuruna ait enflasyon oranı ve faiz oranı ile değerlendirme yapılmaktadır [6].

HOMER yazılımı gerekli analizler ile sistemi değerlendirir ve uygulanabilir olmayan sistemlerin tasarımını gerçekleştirmez. Bunun yanında optimizasyon ve hassasiyet algoritmaları sayesinde HOMER tarafından elde edilen en uygun çözüm ve en düşük NPC değeri için tanımlı kısıtlamaları yerine getirilir. HOMER yazılımı tarafından elde edilen tüm sonuçlar, teknik ve ekonomik değerleri tanımlatan grafik ve tablolarla sunulmakta ve sonuçlar dışa aktarılarak daha sonraki çalışmalar için kullanılabilir.

3.8. Skellion - SketchUp Modelleme Programlarının Tanıtılması

SketchUp programı üç boyutlu (3D) modelleme için kullanılan bir bilgisayar programıdır. CAD programları ve Google Earth üzerinden yerleşim yapılacak binanın modellenmesi yapılabilmektedir. SketchUp programı binaların coğrafi enlemi, boylamı, yüksekliği ve yöntemi ile ilgili tüm veriler Google Earth üzerinden temin edilmektedir. Programda içerisinde yer alan gölgeleme efektleri ve simülasyonları sayesinde yıl boyunca günün farklı saatlerinde güneşin hareketini takip etmek ve bina eklentilerine düşen gölgelerin tanımlanmasına olanak sağlamaktadır [70].

Skelion programı ise güneş enerji sistemleri için tasarım yapmak ve proje geliştirmek için geliştirilmiş bir SketchUp eklentisidir. Skelion programı sayesinde SketchUp yazılımının sunduğu üç boyutlu bina ve eklentileri üzerinde güneş panellerinin yerleşimi 3 boyutlu olarak yapılabilmektedir. Yine Skelion programı ile meteorolojik veriler, ayrıntılı güneş ışıınım değerleri, bölge kirlilik oranları, gölgelenme analizleri, güneş paneli yönü ve açısı, güneş panellerinin yıllık güç düşümü oranları, dikkate alınarak yapılan tekno-ekonomik analizler ile PV panellerin veri kaynağını kullanarak en uygun PV sistem tasarımının yapılmasına olanak sağlamaktadır [71].

Yerleşke üzerinde ve çevresinde güneş panellerinin yerleşimi için optimum analizlerin yapılabilmesi bakımından SketchUp ve Skelion programları kullanılmıştır. Öncelikle Google Earth üzerinden yerleşkeye ait 2 boyutlu model koordinatları SketchUp programına yüklendikten sonra yerleşkeye ait bina ve eklentilerinin 3 boyutlu modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Modelleme sırasında yerleşkenin güneyinde bulunan otopark kısmında araçların dış etkenlerden korunması ve üzerine güneş paneli yerleştirilmesi için yanları açık garaj diğer bir ifade ile car port yerleşimi yapılmıştır.

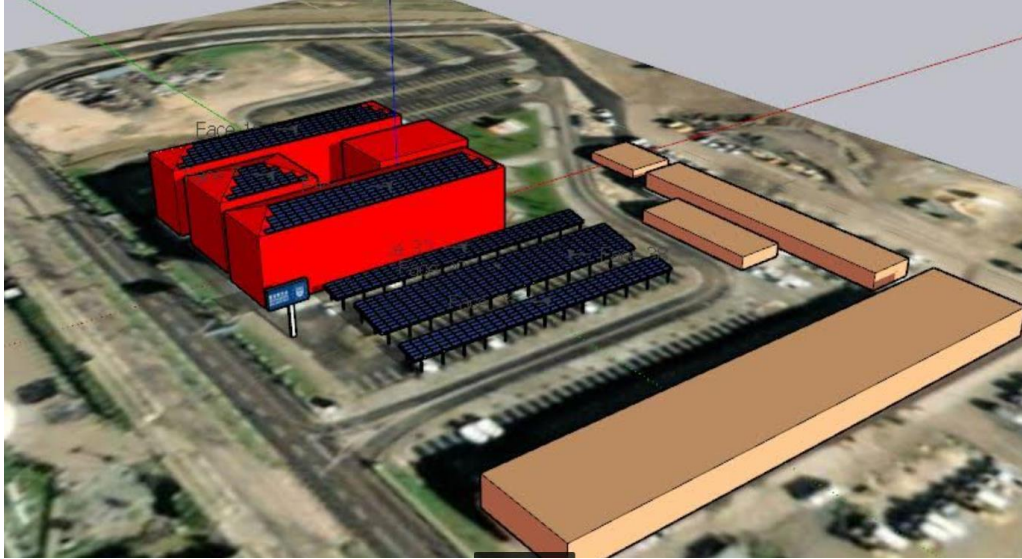


Şekil 3.12. Temsili carport görseli

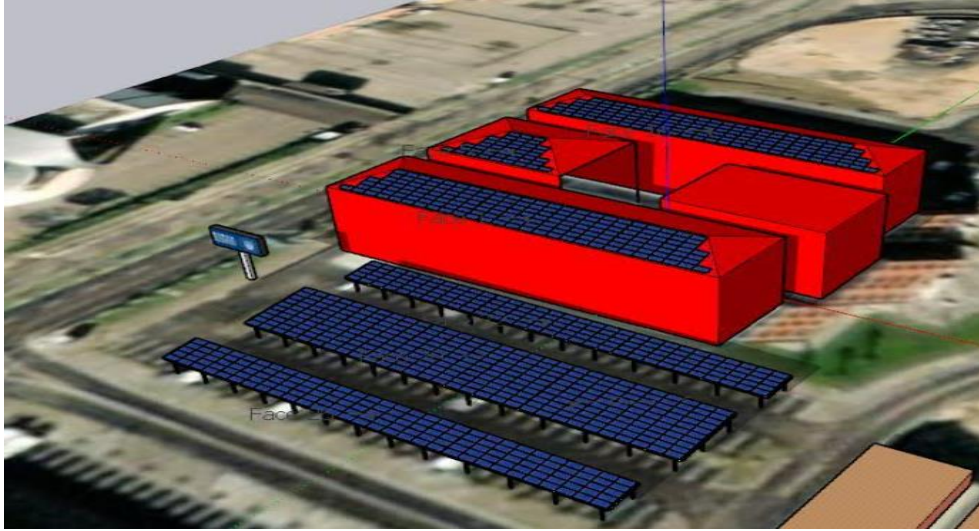
SketchUp programı ile modelleme ve gölge analizleri yapıldıktan sonra Skelion programı ile yerleşke ve eklentilerine en uygun PV sistem tasarımı yapılmıştır. Buna göre uzunluğu 180 cm, genişliği 110 cm uzunluğunda PV panellerinden çatı kısmında 359 adet, yapımı planlanan car port alanı için 600 adet PV olmak üzere toplamda 959 adet PV panelinin yerleşiminin uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yerleşkeye ait yapılan 3 boyutlu modellemeler aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.13. Yerleşkenin 3 boyutlu modeli



Şekil 3.14. Yerleşkenin 3 boyutlu modeli



Şekil 3.15. Yerleşkenin 3 boyutlu modeli

SketchUp ve Skelion programları kullanılarak yapılan analizlerde yerleşke binasının çatı kısmında 359 adet PV panelinin yerleşiminin uygun olduğu ve kullanılacak paneller günümüz teknolojisinde yaygın bir şekilde kullanılan 435 W gücündeki mono kristal panellerin kullanılacağı düşünüldüğünde 154 kW kurulu güç elde edileceği hesaplanmıştır.

Yine yukarıda belirtilen ve yerleşkenin güney cephesinden yapımı planlanan car port alanı için 600 adet PV panelinin yerleşiminin uygun olduğu, kullanılması planlanan 435 W gücünde paneller ile 261 kW kurulu güç elde edileceği hesaplanmıştır. Buna göre yerleşke çatısı ve car port alanı olmak üzere toplamda 417 kW kurulu güç elde edileceği hesaplanmıştır.

**435W High Efficiency LG NeON® R Solar Panel with 66 Cells (6 x 11),
Module Efficiency: 21.9%, Connector Type: MC4**



Şekil 3.16. Tasarlanan sistemde kullanılacak PV panel [72].

General Data

Cell Properties (Material/Type)	Monocrystalline / N-type
Cell Maker	LG
Cell Configuration	66 Cells (6 x 11)
Module Dimensions (L x W x H)	1,910mm x 1,042mm x 40mm
Weight	20.5 kg
Glass (Material)	Tempered Glass with AR Coating
Backsheet (Color)	White
Frame (Material)	Anodized Aluminium
Junction Box (Protection Degree)	IP 68 with 3 Bypass Diodes
Cables (Length)	1,250mm x 2EA

Electrical Properties (STC*)

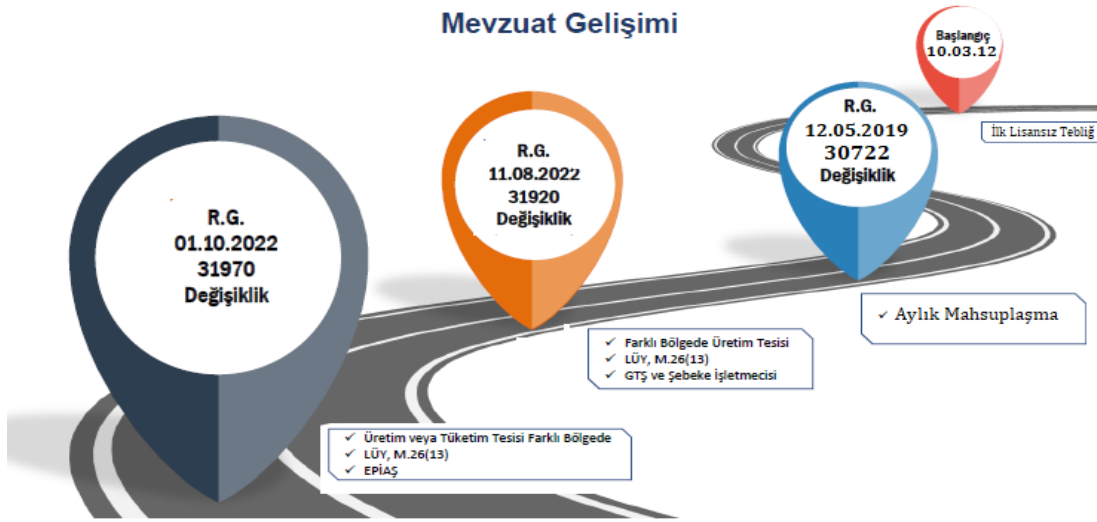
Model	LG435QAC-A6	
Maximum Power (P _{max})	[W]	435
MPP Voltage (V _{mpp})	[V]	41.1
MPP Current (I _{mp})	[A]	10.59
Open Circuit Voltage (V _{oc} , +5%)	[V]	48.0
Short Circuit Current (I _{sc} , +5%)	[A]	11.20
Module Efficiency	[%]	21.9
Power Tolerance	[%]	0 ~ +3

*STC (Standard Test Condition) Irradiance 1000 W/m², Cell temperature 25°C, AM 1.5
Measure Tolerance: ± 3%

Şekil 3.17. PV panele ait teknik veriler [72].

Çalışma kapsamında 3 farklı başlık altında analiz ve tasarım çalışmaları yapılacaktır. İlk çalışma kapsamında şebekeye geri enerji satışı yapılmaksızın şebekeye bağlı bir şekilde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak hibrit enerji sistemi üzerinden enerji ihtiyacının karşılanabilmesi ile ilgili bir analiz çalışması yapılacaktır. İkinci çalışmada ise yine şebekeye bağlı bir sistemde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak tasarlanacak hibrit bir sistemde şebekeye geri enerji satışı ve ekonomik analizi yapılacak olup, ayrıca farklı coğrafyalarda bulunan farklı şehirler içinde modelin tekno-ekonomik analizler yapılacaktır. Üçüncü çalışma kamu binasının hafta sonu çalışmadığı dikkate alındığından üretilen enerjinin araç şarj istasyonlarında kullanılması üzerine analizler yapılacaktır.

Elektrik piyasasında lisansız elektrik üretimi ile ilgili usul ve esaslar Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinde belirlenmiştir. Mevzuatın gelişimi incelendiğinde 2010 yılında ilk yönetmeliğin hazırlandığı, 2013 yılında kurulu gücün 1 MW'a yükseldiği, 2019 yılında ise kurulu gücün 5 MW'a yükseldiği belirtilmiştir [73]. Aynı yönetmeliğin 5. Maddesinde lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf olarak kurulabilecek üretim tesisleri belirtilmiş olup, hazırlanan bu tez çalışmasında yönetmeliğin 5. Madde'nin 1 fıkrasının c bendinde belirtilen “Kurulu gücü bir megavat veya Kanunun 14'üncü maddesi çerçevesinde Cumhurbaşkanı tarafından belirlenmiş kurulu güç üst sınırına kadar olan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri,” yönetmelik hükmüne istinaden çalışma yapılacaktır. [65].



Şekil 3.18. Mevzuat gelişimi [73].

Tasarlanacak hibrit enerji sisteminde 12/05/2019 tarihinden itibaren geçerli yönetmelik kapsamında lisansız elektrik üretim faaliyetleri dahil olacağından dolayı EPDK tarafından belirlenen ve kendi abone grubuna ait aktif enerji bedeli üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır. Buna göre yapılan bu çalışmada kullanılacak şebeke enerjisi ve aylık mahsuplaşma kapsamında şebekeye geri satılacak enerji fiyatı ile ilgili olarak EPDK tarafından onaylanan ve yayınlanan 01/10/2023 tarihli tarife tablosunda belirtilen elektrik birim fiyatları dikkate alınmıştır. Yerleşkeye ait elektrik aboneliğinin primer ölçü hücresinden yapıldığı ve orta gerilim seviyesinden çift terimli elektrik abonesi olduğu, tarife grubunun Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü olduğu dikkate alındığında perakende tek zamanlı enerji bedelinin 2,7556 TL olduğu, aboneliğe ait dağıtım bedelinin 0,7370 TL olduğu, buna göre vergiler hariç 1 kWh elektrik enerjisi bedelinin 3.51 TL olarak hesaplanmıştır [74].

Yenilenebilir enerji kaynakları ile tasarlanacak hibrit enerjisi sisteminde üretilen fazla elektrik enerjisinin şebekeye geri satılması ile ilgili olarak Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği 5. Madde kapsamında üretim tesisi tanımına göre saatlik/aylık olmak üzere mahsuplaşma tipi ve enerji satış bedelleri tanımlanmıştır [73]. Buna göre EPDK 10699 sayılı Kurul Kararında üretimi aşan tüketim miktarına göre abone grubu için onaylanan dağıtım üzerinden % 50 indirim yapılacağını belirtilmiş olup, yapılan çalışmada hibrit enerji santralinden üretilen elektrik enerjisinin Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü abone grubunda vergiler hariç 1 kWh elektrik enerjisinin 3,13 TL olarak şebekeye geri satılacağı hesaplanmıştır [75].

Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası güncel kurlarına göre ABD DOLAR kurunun 01/10/2023 tarihinde 27,58 TL olduğu belirlenmiştir [76]. Buna göre yapılan hesaplamalarda 1 kWh elektrik enerjisi vergiler hariç şebekeden alış bedelinin 0,127 \$ olduğu, 1 kWh elektrik enerjisi vergiler hariç geri satış bedelinin 0,113 \$ olduğu hesaplanmıştır.

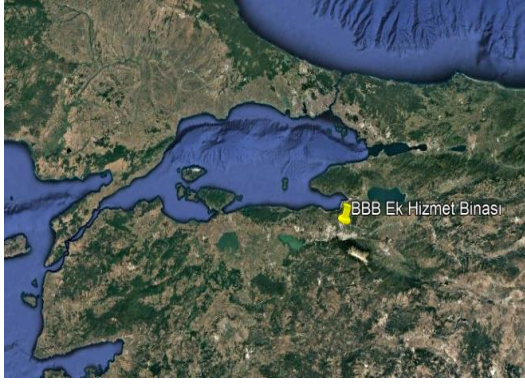
Tablo 3.3. 01/10/2023 Tarihli EPDK tarafından yayınlanan tarife tabloları [74].

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Ekim 2023 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler										
1/10/2023		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)			
İletim Sistemi Kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puan Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puan	Gece
	Tüketici	312,4942	316,4941	507,6545	162,2084	0,0000	312,4942	316,4941	507,6545	162,2084
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puan Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puan	Gece
Orta Gerilim	Orta Gerilim Çift Terimli						Orta Gerilim Çift Terimli			
		298,4576	302,3210	487,0179	153,2520	37,9163	336,3739	340,2373	524,9342	191,1683
Sanayi	Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer	275,5610	278,5817	451,6047	140,9145	59,0916	334,6526	337,6733	510,6963	200,0061
	Resken	119,2748	121,8171	214,4121	47,7707	58,5300	177,8048	180,3471	272,9421	106,3007
Tarımsal Faaliyetler	Aydınlatma	166,0829	168,0581	280,8049	77,9626	48,6664	214,7493	216,7245	329,4713	126,6290
		252,7690				56,7151	309,4841			
Tek Terimli	Tek Terimli						Tek Terimli			
Kamu ve Özel Hizmetler Sektörü ile Diğer		277,8419	280,8626	453,8856	143,1945	73,7099	351,5518	354,5725	527,5955	216,9044
Tarımsal Faaliyetler	Aydınlatma	165,3739	167,3493	280,0962	77,2525	60,5948	225,9687	227,9441	340,6910	137,8473
		254,8504				70,7477	325,5981			

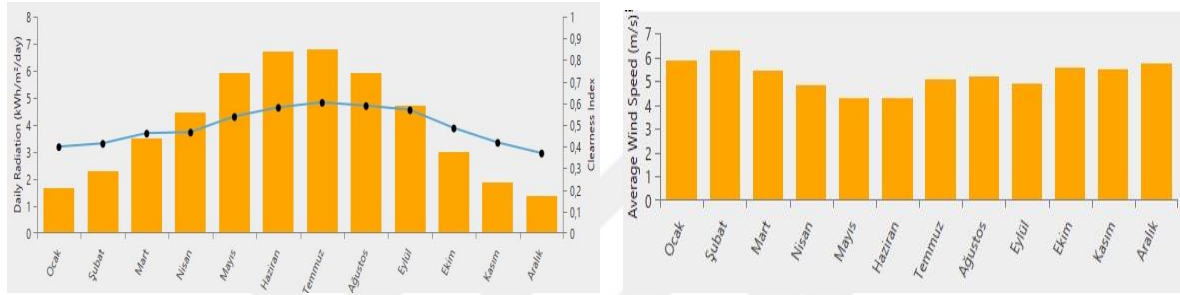
Homer programında öncelikli olarak tanımlanması gereken giriş değişkenlerinde proje süresi 25 yıl olarak belirlenmiştir. Diğer bir giriş değişkeni olan yıllık kapasite açığı oranı belirlenirken çok kısa bir süre için beklenenden çok yüksek bir oranda pik yük meydana gelmesi duruma karşı gereksiz boyutlandırmanın önüne geçilmesi için kapasite açığı oranı %5 olarak belirlenmiştir. Ayrıca ABD doları için enflasyon oranı %5 ve faiz oranı %5,25 olarak tanımlanmıştır [77].

Homer programında ekonomik değerlendirmelerin yapılabilmesi 25 yıllık proje ömrü boyunca gerçekleşecek tüm maliyetleri ve gelirleri net bugünkü maliyet olarak (NPC) belirtilmiştir [78]. Elde edilen birim elektrik maliyeti (COE) ise kWh cinsinden hesaplanmıştır [79].

HOMER programı üzerinde projenin uygulanacağı yer olarak Marmara Bölgesinde bulunan Bursa İli Osmangazi İlçesinde bulunan kamu binası için 40°13,7'N , 29°4,3'E koordinat bilgileri girilmiştir. Belirtilen koordinat bilgilerine ait güneş enerjisi ve rüzgâr hızı verileri HOMER programına entegre edilmiş olan ve NASA veri tabanından alınan 22 yıllık ölçümler sonucu elde edilmiş olan güneş ışınlam verileri, 10 yıllık rüzgâr hızı verileri ölçümleri kullanılacaktır.



Şekil 3.19. HOMER Programı Üzerinden Giriş Yapılan Koordinat ve Adres Bilgileri



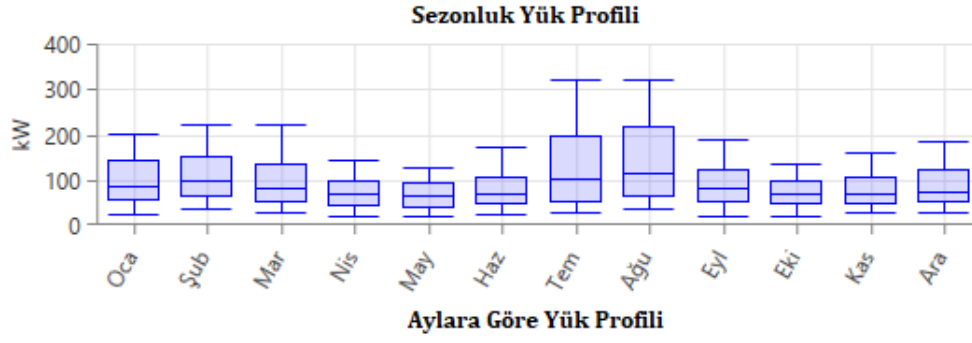
Şekil 3.20. Bursa ili için HOMER programı üzerinden alınan güneş ışınlamı ve rüzgâr hızı verileri

Hibrit enerjisi sisteminde kullanılacak bileşenler ile ilgili olarak, PV güneş panelleri için 1 kW gücünde panel fiyatı 250 \$ ve yaşam ömrü 25 yıl olarak, rüzgar tribünü için 1 kW fiyatı 1500 \$ ve yaşam ömrü 25 yıl olarak, sistemde kullanılacak lityum iyon piller için 1 kW fiyatı 300 \$ olarak, sistemde kullanılacak dönüştürücü için 1 kW fiyatı 300 \$, şebekeden enerji alış fiyatı 0,127 \$ olarak, şebekeye enerji satışı fiyatı 0,113 \$ olarak belirlenmiştir.

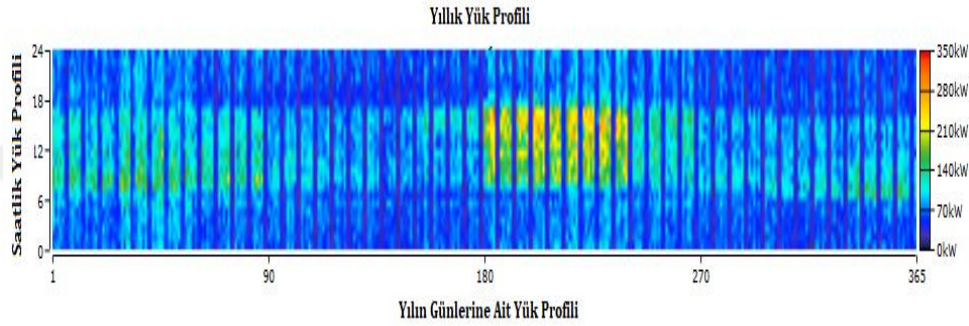
Çalışmaya konu kamu hizmet binasına ait olarak OSOS sisteminden alınan saatlik elektrik tüketim verileri sisteme girilerek, topluluk yük profili seçilmiştir. Buna göre program üzerinde günlük tüketim 1989 kWh olarak, ortalama tüketim 82,89 kWh olarak, pik yük ise 323,11 kWh olarak program tarafından hesaplanmıştır.



Şekil 3.21. Homer Programı Tarafından Tesise Ait Oluşturulan Günlük Yük Profili



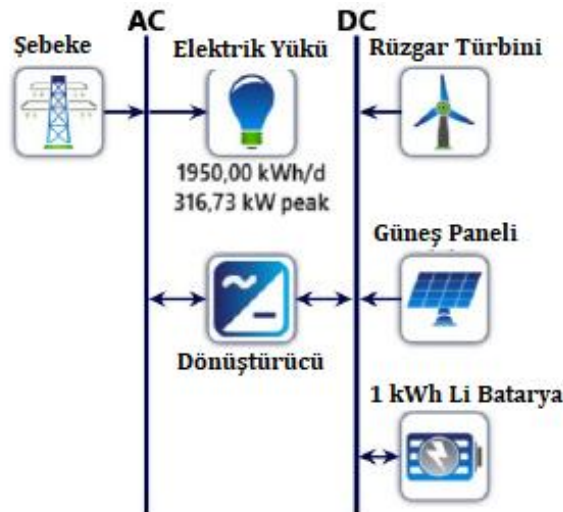
Şekil 3.22. HOMER programı tarafından oluşturulan sezonluk yük profili



Şekil 3.23. HOMER programı tarafından yıllık yük profili

3.9. Şebekeye Bağlı Satış Yapılamayan Hibrit Enerji Sistemi (Öz tüketim Modeli)

Bursa Büyükşehir Belediyesi Ek Hizmet Binasının bulunduğu yerleşke için enerji ihtiyacının karşılanmasında şebekenin minimum kullanılması şekilde bir model gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde fazladan üretilen elektrik enerjisi şebekeye geri satılmadan üretilen enerjinin yerleşke içerisinde tüketilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 3.24. Hibrit enerji sistem simülasyon modeli

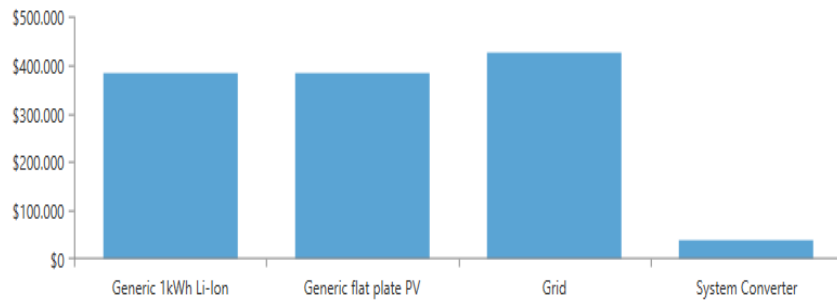
HOMER programı tarafından yapılan 2047 adet farklı simülasyon sonucunda; en uygun hibrit enerji sisteminde 780 kW gücünde PV panel, 1333 kWh Lityum iyon akü, 238 kW gücünde dönüştürücü seçilerek elektrik birim fiyatının 0,0569 \$ olarak hesaplandığı görülmüştür. Yapılan simülasyon çalışmalarında ilk sırada rüzgar tribünü kullanılmadığı, 2.sırada belirtilen alternatifte 3 kW gücünde bir rüzgar tribünü belirtilmiş olsa da sistem için çok uygun olmadığı, buna göre bölgenin rüzgar hızının yatırım için yeterli olmadığı görülmüştür.

Tablo 3.4. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi optimizasyon sonuçları

Optimizasyon Sonuçları														
Tasarım								Fiyatlandırma				Sistem		
					PV (kW)	G1	1kWh Li	Converter (kW)	COE (kWh başına Maliyet)	NPC (Sistemin Toplam Maliyeti)	İşletme Maliyeti (\$/Yıl)	Başlangıç Sermayesi (\$)	Yenilenebilir Frenksiyon (%)	
					780		1.333	238	\$0,0569	\$1.230.000,00	\$36.193,00	\$351.972,00	84,5%	
					794	3	1.350	238	\$0,0569	\$1.230.000,00	\$35.962,00	\$361.733,00	85,1%	
					514			235	\$0,0673	\$1.550.000,00	\$57.614,00	\$152.052,00	57,0%	
					514	1		230	\$0,0677	\$1.550.000,00	\$57.614,00	\$153.161,00	56,8%	

Sistemde en uygun olarak belirtilen hibrit güç sisteminde elektrik enerjisi birim fiyatının 0,0569\$ olarak hesaplandığı ve dağıtım şirketinden 1 kWh elektrik enerjisi alış bedelinin 0,127\$ olduğu dikkate alındığında %55,19 daha ekonomik olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda tasarlanan hibrit güç sisteminde yenilenebilir enerji fraksiyonu % 84,5 olduğundan daha temiz bir enerji elde edildiği görülmüştür.

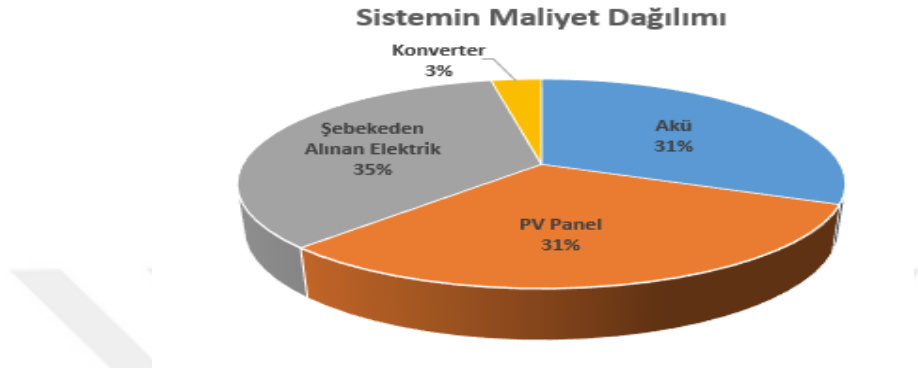
Tasarlanan sistemde 25 yıllık süre içerisindeki kurulum ve işletme maliyetleri incelendiğinde, Lityum akülerinde kurulum, işletme ve yenisi ile değişim maliyeti toplamda 381,714 \$ olduğu, PV panelleri için kurulum ve işletme maliyeti toplamda 383.885 \$ olduğu, sistemde kullanılan 238 kW gücünde dönüştürücü için kurulum ve işletme maliyeti toplamda 39.250 \$ olduğu, şebekeden alınan elektrik enerjisi için maliyetin 444.526 \$ olmak üzere toplam kurulum ve işletme maliyetinin 1.229.375 \$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.25. Sistem kurulum maliyeti

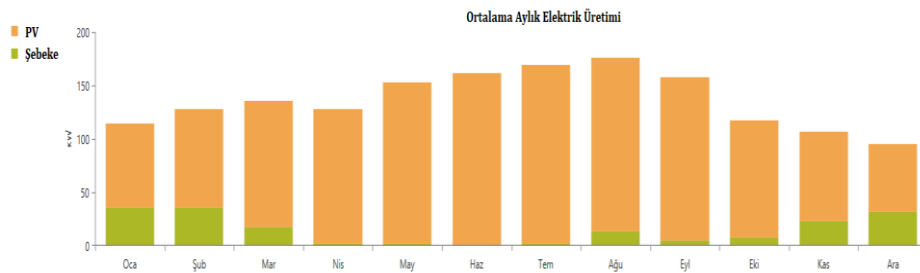
Tablo 3.5. Sistem Kurulum Maliyeti

Bileşen	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yer Değişim Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	Hurda Maliyeti (\$)	Toplam (\$)
Akü	\$133.300,00	\$128.630,00	\$161.576,00	-\$41.792,00	\$381.714,00
PV Panel	\$194.895,00	\$0,00	\$188.990,00	\$0,00	\$383.885,00
Şebekeden Alınan Elektrik	\$0,00	\$0,00	\$424.526,00	\$0,00	\$424.526,00
Konverter	\$23.775,00	\$22.942,00	\$0,00	-\$7.467,00	\$39.250,00
Sistem	\$351.970,00	\$151.572,00	\$775.092,00	-\$49.259,00	\$1.229.375,00



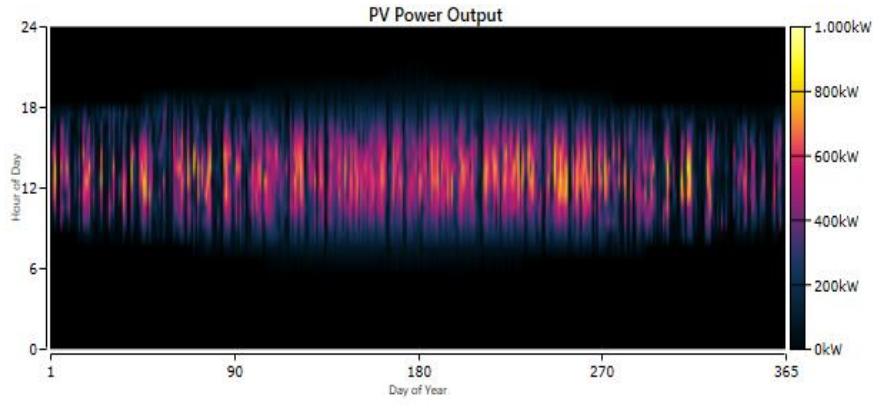
Şekil 3.26. Güneş enerji sistemi maliyeti

Tasarlanan hibrit güç sisteminde ilkbahar ve yaz aylarında neredeyse enerjinin tamamının PV paneller üzerinden sağlandığı, bununla beraber kış ve sonbahar aylarında ise PV panellerinden elektrik üretilmediği zaman dilimlerinde 137.887 kWh elektrik enerjisi şebeke üzerinden satın alındığı görülmüştür.



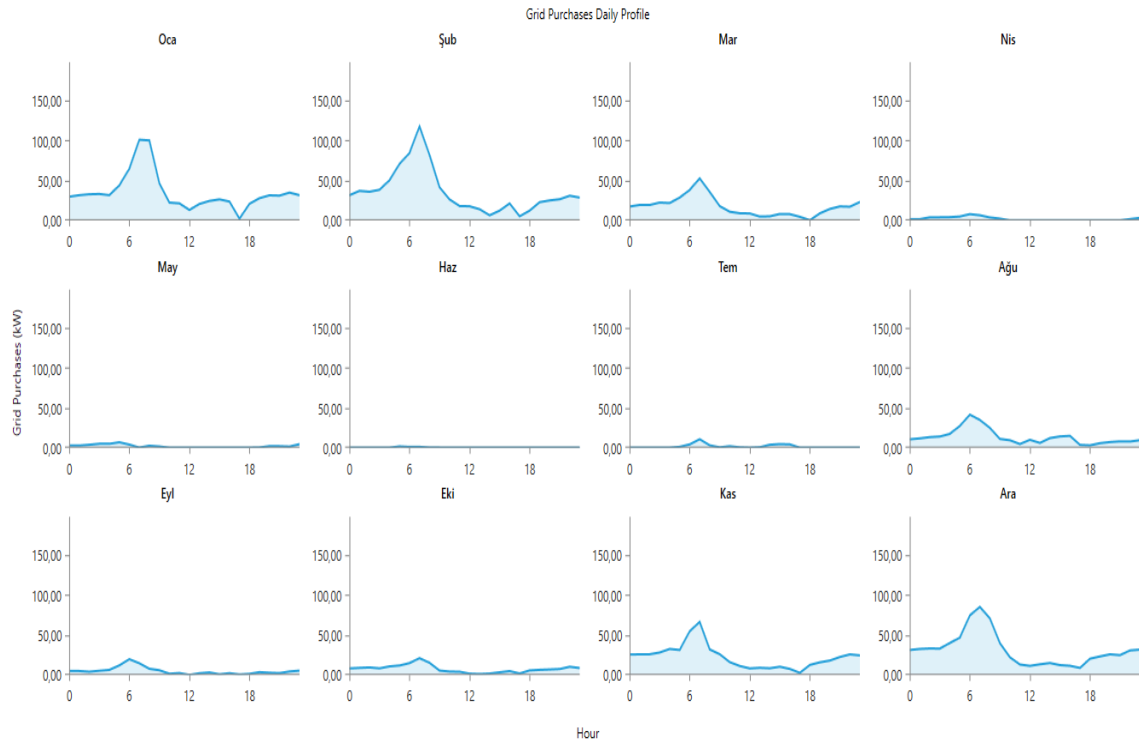
Şekil 3.27. Ortalama aylık elektrik üretimi

Sistemde kullanılan PV güneş panellerinin çıkışları incelendiğinde, kış mevsiminde elektrik üretimin diğer mevsimlere göre daha düşük seviyelerde olduğu, bahar mevsiminde üretimin arttığı, yaz aylarında ise üretimin en fazla olduğu görülmektedir. Yaz mevsiminde sabah saatlerinde başlayan elektrik üretimi saat 20:00'a kadar devam ettiği görülmektedir.



Şekil 3.28. PV panel güç çıkışı

Yıllık olarak şebekeden alınan elektrik enerjisi incelendiğinde; yılın ilk aylarında aylık ihtiyacın büyük bir bölümü şebekeden sağlanırken bahar ve yaz aylarında PV sistemden daha çok enerji sağlandığı ve şebekeden çekilen enerji miktarının azaldığı görülmektedir.

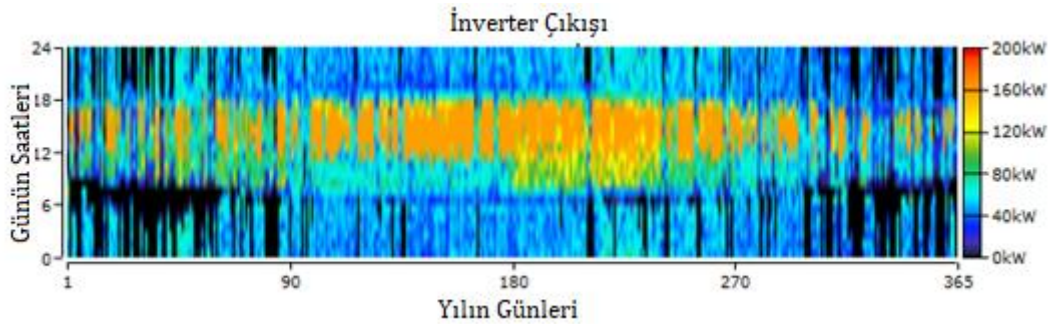


Şekil 3.29. Şebekeden enerji alış grafikleri

Tablo 3.6. Şebekeden alınan ve hibrit sistemden sağlanan enerji değerleri

	Yerleşkenin Aylık Toplam Tüketim (kWh)	Tasarlanan Sistemde Şebekeden Satın Alınan Enerji (kWh)	Tasarlanan Sistemde PV Panelleri Karşılanaan Güç (kWh)
Ocak	65550	27430,78	38119,22
Şubat	67645	25165,07	42479,93
Mart	62008	14035,25	47972,75
Nisan	49426	1823,65	47602,35
Mayıs	50532	1728,07	48803,93
Haziran	51251	545,09	50705,91
Temmuz	75592	2034,07	73557,93
Ağustos	83455	11855,55	71599,45
Eylül	61556	4652,28	56903,72
Ekim	52101	6566,37	45534,63
Kasım	50975	17487,29	33487,71
Aralık	55638	24563,55	31074,45
Toplam	725729	137887,01	587841,99

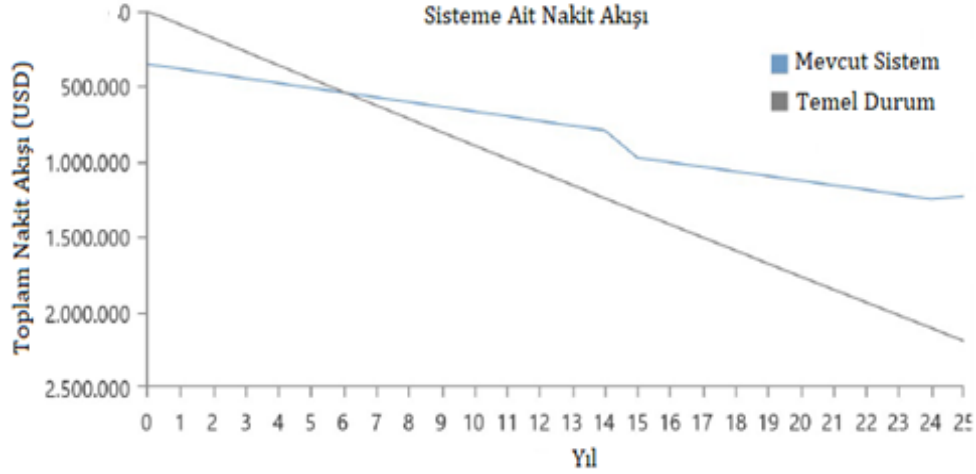
Dönüştürücü çıkış güç değerleri incelendiğinde, PV panellerinin güç üretimi yaptığı zaman dilimlerinde aktif bir şekilde devrede olduğu, güneş panellerinin çalışması ile doğru orantılı olarak çalıştığı görülmektedir.



Şekil 3.30. Dönüştürücü çıkış değerleri

Bursa Büyükşehir Belediyesi Ek Hizmet binasının bulunduğu yerleşke için enerji ihtiyacının tamamının şebekeden karşılanması yani temel durum ile, HOMER programı tarafından tasarlanan hibrit enerji sistemin kurulum ve işletme maliyetleri ile elektrik enerjisinin karşılanması durumlarının karşılaştırıldığında sistemin kendisini 72 ay diğer bir ifadeyle 6 yıl içerisinde amorti edeceği görülmektedir.

Elektrik dağıtım sistemine yakın olan ancak üretilen elektrik enerjisini satma konusunda gerekli altyapısı bulunmayan kamu binaları için yapılan bu çalışmada, elektrik enerjisinin kWh başına %55,90 daha ucuza elde edildiği, tamamı şebekeden satın alınan elektrik enerjisine göre % 84,5 oranında daha çevreci ve temiz bir enerji sağlandığı, sistem için yapılan yatırım ve işletme maliyetinin 6 yıl içerisinde kendisini amorti ettiği görülmektedir.



Şekil 3.31. Sistem kurulum ve amortisman süresi arasındaki ilişki grafiği

Ancak, SketchUp ve Skelion programları kullanılarak yapılan analizlerde yerleşke binasının çatı kısmında 359 adet PV panelinin yerleşiminin uygun olduğu, yerleşkenin güney cephesinden yapımı planlanan car port alanı için 600 adet PV panelinin yerleşiminin uygun olduğu, buna göre sistemde kullanılacak 435 W gücünde paneller ile toplamda 417 kW kurulu güç elde edileceği hesaplanmıştır.

HOMER programı üzerinden sistemin boyutları belirlenirken çatı üzerine maksimum tesis edilebilecek panel sayısının 417 kW güce denk geldiği parametre bilgisi gelişmiş ayarlar kısmında belirtilmiştir. Buna göre HOMER programı tarafından yapılan 1595 adet farklı simülasyon sonucunda; girilen parametrelere göre en çok tesis edilebilecek 417 kW gücünde PV panel seçildiği, 881 kW lityum-iyon batarya, bunun yanında 176 kW gücünde dönüştürücü seçildiği görülmektedir. Yapılan simülasyon çalışmalarında ilk sırada rüzgar tribünü kullanılmadığı, 2.sırada belirtilen alternatifte 3 kW gücünde bir rüzgar tribünü belirtilmiş olsa da sistem için çok uygun olmadığı, buna göre bölgenin rüzgar hızının yatırım için yeterli olmadığı görülmüştür.

Tablo 3.7. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi optimizasyon sonuçları

Optimizasyon Sonuçları													
Tasarım									Fiyatlandırma				Sistem
					PV (kW)	G1	1kWh Li	Converter (kW)	COE (kWh başına Maliyet)	NPC (Sistemin Toplam Maliyeti)	İşletme Maliyeti (\$/Yıl)	Başlangıç Sermayesi (\$)	Yenilenebilir Frenksiyon (%)
					417		881	176	\$0,0748	\$1.390.000,00	\$48.568,00	\$209.979,00	61,8%
					413	3	892	188	\$0,0750	\$1.390.000,00	\$48.609,00	\$215.780,00	62,0%
					417			223	\$0,0717	\$1.560.000,00	\$59.052,00	\$126.563,00	52,3%
					417	5		216	\$0,0723	\$1.560.000,00	\$58.982,00	\$133.319,00	52,3%

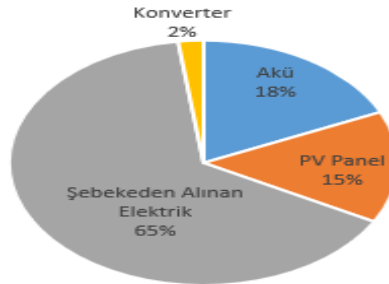
Sistemde en uygun olarak belirtilen hibrit güç sisteminde elektrik enerjisi birim fiyatının 0,0748\$ olarak hesaplandığı ve dağıtım şirketinde 1 kWh elektrik enerjisi alış bedelinin 0,127\$ olduğu dikkate alındığında % 41,10 daha ekonomik olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda tasarlanan hibrit güç sisteminde yenilenebilir enerji fraksiyonu % 61,8 olduğu ve daha temiz bir enerji elde edilmiştir.

Tasarlanan sistemde 25 yıllık süre içerisindeki kurulum ve işletme maliyetleri incelendiğinde, Lityum akülerinde kurulum, işletme ve yenisi ile değişim maliyeti toplamda 252,229 \$ olduğu, PV panelleri için kurulum ve işletme maliyeti toplamda 205.341 \$ olduğu, sistemde kullanılan dönüştürücü için kurulum ve işletme maliyeti toplamda 29.103 \$ olduğu, şebekeden alınan elektrik enerjisi için maliyetin 900.720 \$ olmak üzere toplam kurulum ve işletme maliyetinin 1.387.393 \$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.8. Sistem kurulum maliyeti

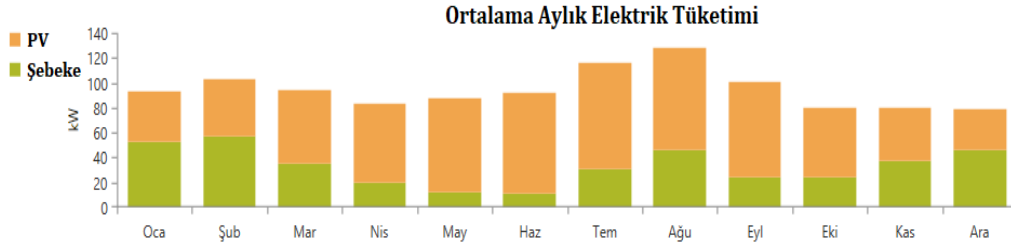
Bileşen	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yer Değişim Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	Hurda Maliyeti (\$)	Toplam (\$)
Akü	\$88.100,00	\$85.012,00	\$106.788,00	-\$27.671,00	\$252.229,00
PV Panel	\$104.250,00	\$0,00	\$101.091,00	\$0,00	\$205.341,00
Şebekeden Alınan Elektrik	\$0,00	\$0,00	\$900.720,00	\$0,00	\$900.720,00
Konverter	\$17.629,00	\$17.011,00	\$0,00	-\$5.537,00	\$29.103,00
Sistem	\$209.979,00	\$102.023,00	\$1.108.599,00	-\$33.208,00	\$1.387.393,00

Sistemin Maliyet Dağılımı

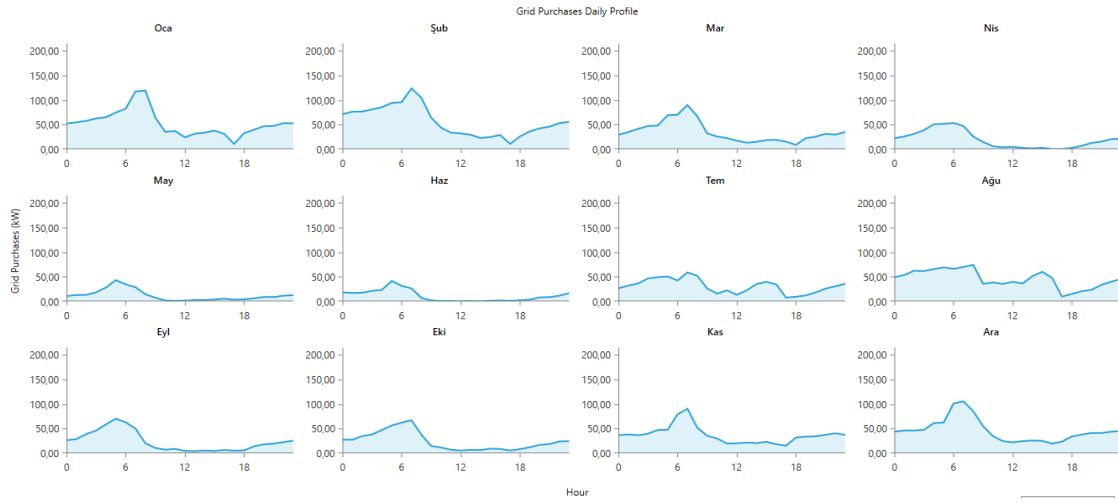


Şekil 3.32. Güneş enerji sistemi maliyeti

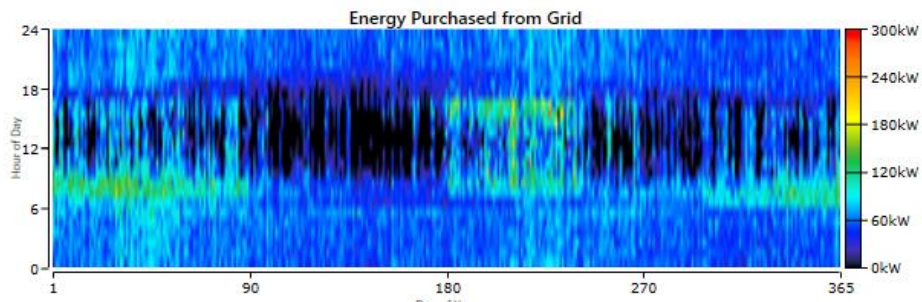
Tasarlanan hibrit güç sisteminde PV panellerinde 540.311 kWh elektrik enerjisi üretildiği, diğer yandan PV panellerinden elektrik üretilmediği zaman dilimlerinde 292.556 kWh elektrik enerjisi şebeke üzerinden satın alındığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.33. Ortalama aylık elektrik üretimi

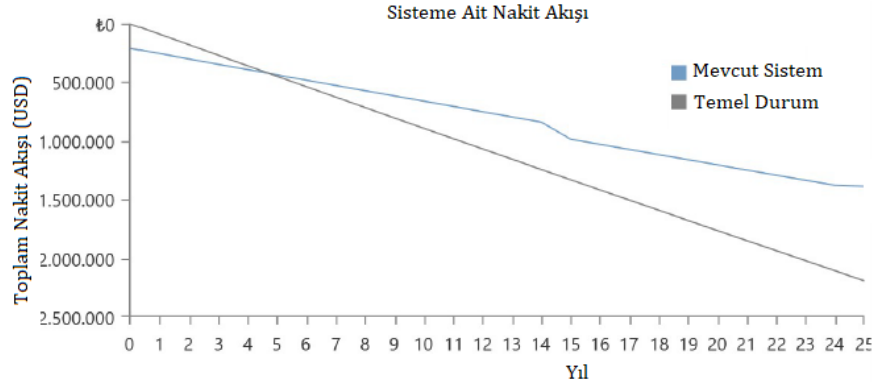


Şekil 3.34. Şebekeden enerji alış grafikleri



Şekil 3.35. Şebekeden satın alınan enerjiye ait ısı haritası

Bursa Büyükşehir Belediyesi Ek Hizmet binasının bulunduğu yerleşke için enerji ihtiyacının tamamının şebekeden karşılanması yani temel durum ile, HOMER programı tarafından tasarlanan hibrit enerji sistemin kurulum ve işletme maliyetleri ile elektrik enerjisinin karşılanması durumlarının karşılaştırıldığında sistemin kendisini 56 ay diğer bir ifadeyle 4,73 yıl içerisinde amorti edeceği görülmektedir.



Şekil 3.36. Sistem kurulum ve amortisman süresi arasındaki ilişki grafiği

Elektrik dağıtım sistemine yakın olan ancak üretilen elektrik enerjisini satma konusunda gerekli altyapısı bulunmayan kamu binaları için yapılan bu çalışmada, elektrik enerjisinin kWh başına % 41,10 daha ucuza elde edildiği, tamamı şebekeden satın alınan elektrik enerjisine göre % 61,8 oranında daha çevreci ve temiz bir enerji sağlandığı, sistem için yapılan yatırım ve işletme maliyetinin 4,73 yıl içerisinde kendisini amorti ettiği görülmektedir. Bununla beraber sistemde kullanılacak PV panel sayısının artması ile sistemi daha ekonomik bir hal aldığı görülmüştür.

3.10. Şebekeye Bağlı Satış Yapılabilen Hibrit Enerji Sistemi (Mahsuplaşma Yöntemi)

Çalışmanın bu bölümünde mevcut yerleşkenin elektrik ihtiyacının yenilebilir enerji sistemlerinden sağlanmasının yanında, üretilen fazla elektrik enerjisinin şebekeye geri satılarak enerji maliyetinin azaltılması amaçlanmaktadır. Şebekeye verilecek enerji ile şebekeden çekilen enerji aylık mahsuplaşma yöntemi ile dağıtım şirketi tarafından sağlanan çift yönlü sayaç ile yapılmaktadır. Diğer yandan da Almanya, Fransa, İsveç, ABD gibi bir çok ülkede yıllık mahsuplaşma yapıldığı dikkate alınarak eğer ülkemizde yıllık mahsuplaşma sistemi uygulansaydı nasıl bir fark ortaya çıkacağı değerlendirilecektir.

Yapılan bu çalışmada Bursa İlinde bulunan bir kamu binasına ait gerçek zamanlı yük profili üzerinden tekno-ekonomik analizler yapılmış olsa da ilerleyen bölümlerde aynı kurulu güç ve aynı bina özelliklerinden yola çıkarak ülkemizdeki farklı coğrafyalarda bulunan şehirler için analiz çalışmaları ve kamu binası yük profili ile mesken yük profili arasındaki farklılıklar üzerinden analizler yapılmıştır.

Yukarıda belirtilen 3.9. Şebekeye Bağlı Hibrit Enerji Sistemi başlıklı çalışmadaki enerji fiyatları, yük profili, sistem bileşeni fiyatları, faiz ve iskonto oranları bire bir aynı şekilde bu çalışmada kullanılmıştır.

HOMER programı üzerinden herhangi bir kısıtlama girilmeden yapılan analizde maksimum sayıda güneş panelinin kullanılması belirtilmiş olsa da SketchUp ve Skelion programları kullanılarak yapılan analizlerde yerleşke binasının çatı kısmında 359 adet PV paneli, yerleşkenin güney cephesinden yapımı planlanan car port alanı için 600 adet PV paneli olmak üzere toplamda 417 kW kurulu güce denk geldiği parametre bilgisi gelişmiş ayarlar kısmında belirtilmiştir.

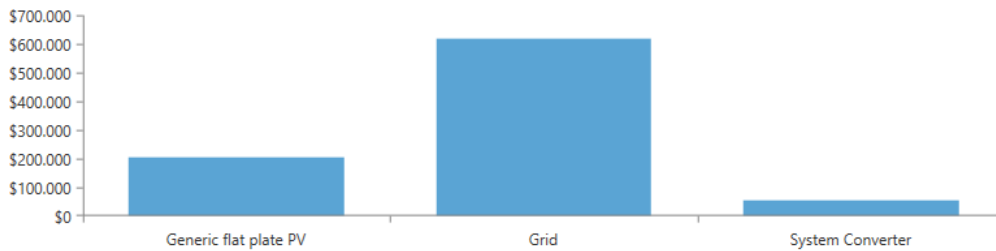
Buna göre HOMER programı tarafından yapılan 1252 adet farklı simülasyon sonucunda; girilen parametrelere göre en çok tesis edilebilecek 417 kW gücünde PV panel seçildiği, bunun yanında 342 kW gücünde dönüştürücü seçildiği, en uygun sistem içerisinde akü ve rüzgar tribünü kullanılmadığı görülmektedir.

Tablo 3.9. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi optimizasyon sonuçları

Optimizasyon Sonuçları															
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	Şebeke					
					PV (kW)	G1	1kWh Li	Converter (kW)	COE (kWh başına Maliyet)	NPC (Sistemin Toplam Maliyeti)	İşletme Maliyeti (\$/Yıl)	Başlangıç Sermayesi (\$)	Yenilenebilir Frenksiyon (%)	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)
					417			342	\$0,0387	\$879.641,00	\$30.574,00	\$138.463,00	54,6%	426.256	226.801
					417		13	345	\$0,0388	\$883.381,00	\$30.664,00	\$140.010,00	54,6%	426.259	226.931
					417	5		322	\$0,0389	\$885.591,00	\$30.488,00	\$146.481,00	54,8%	423.633	226.433
					416	5	6	343	\$0,0390	\$888.755,00	\$30.518,00	\$148.915,00	54,9%	423.885	227.152

Sistemde en uygun olarak belirtilen hibrit güç sisteminde elektrik enerjisi birim fiyatının 0,0387\$ olarak hesaplandığı ve dağıtım şirketinden alınan 1 kWh elektrik enerjisi alış bedelinin 0,127\$ olduğu dikkate alındığında %69,52 daha ekonomik olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda tasarlanan hibrit güç sisteminde yenilenebilir enerji fraksiyonu % 54,6 olduğu ve daha temiz bir enerji elde edilmiştir.

Tasarlanan sistemde 25 yıllık süre içerisindeki kurulum ve işletme maliyetleri incelendiğinde, 417 kW gücündeki PV panelleri için kurulum ve işletme maliyeti toplamda 205.341 \$ olduğu, sistemde kullanılan 342 kW gücünde dönüştürücü için kurulum ve işletme maliyeti toplamda 56.480 \$ olduğu, şebekeden alınan elektrik enerjisi için maliyetin 617.819 \$ olmak üzere toplam kurulum ve işletme maliyetinin 879.640 \$ olarak hesaplanmıştır.

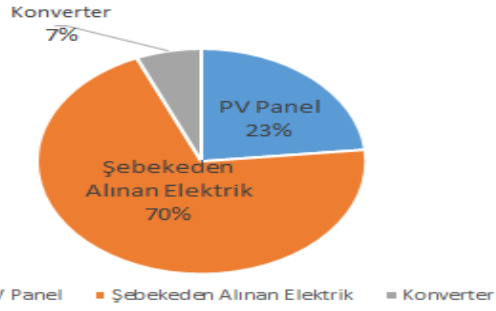


Şekil 3.37. Sistem kurulum maliyeti

Tablo 3.10. Sistem Kurulum Maliyeti

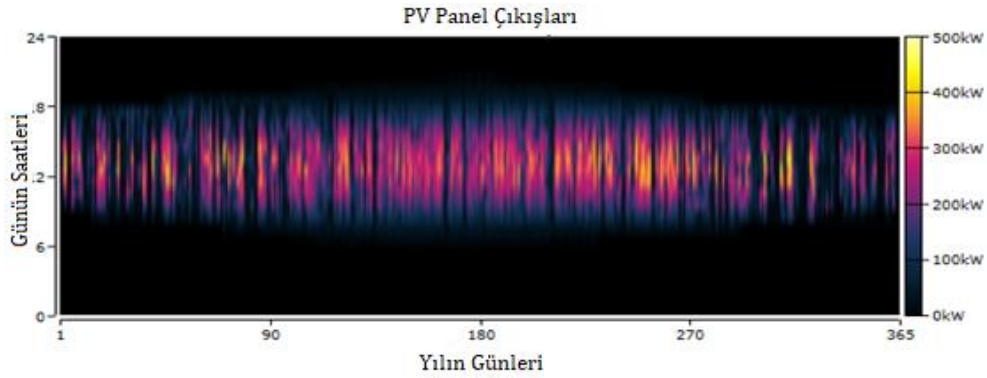
Bileşen	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yer Değişim Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	Hurda Maliyeti (\$)	Toplam (\$)
PV Panel	\$104.250,00	\$0,00	\$101.091,00	\$0,00	\$205.341,00
Şebekeden Alınan Elektrik	\$0,00	\$0,00	\$617.819,00	\$0,00	\$617.819,00
Konverter	\$34.212,00	\$33.013,00	\$0,00	-\$10.745,00	\$56.480,00
Sistem	\$138.462,00	\$33.013,00	\$718.910,00	-\$10.745,00	\$879.640,00

Sistemin Maliyet Dağılımı



Şekil 3.38. Güneş enerji sistemi maliyeti

Tasarlanan hibrit güç sisteminde kullanılan 417 kW kurulu güce sahip PV panellerinden bir yıl içerisinde toplamda 540.312 kWh/yıl enerji üretimi sağlandığı, buna göre yıl içerisinde günlük ortalama 1.480 kWh/gün enerji üretimi yapıldığı, yine yıl içerisinde günlük ortalama 4,39 saat/yıl enerji üretimi yapıldığı tespit edilmiştir.

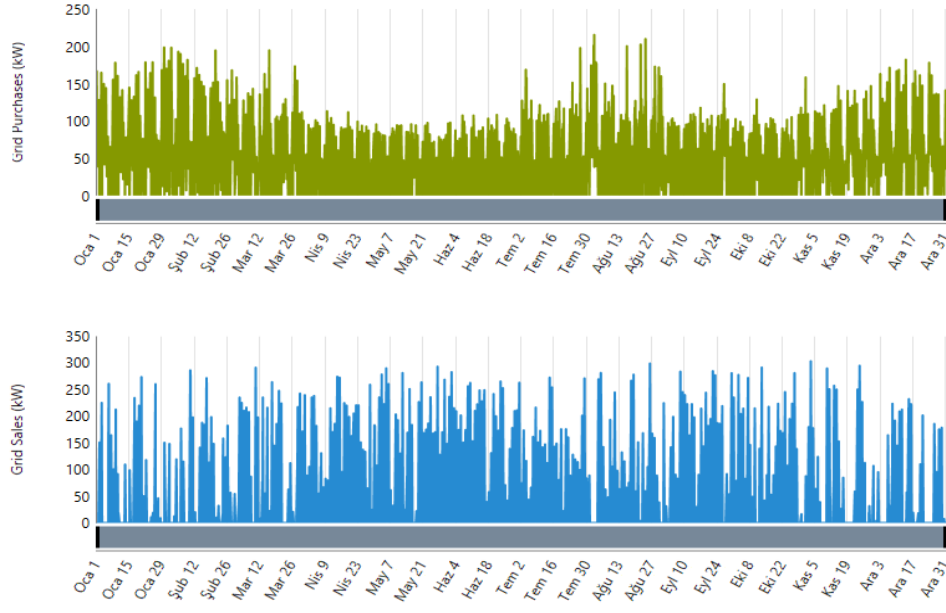


Şekil 3.39. PV paneli çıkış değerleri

Tablo 3.11. PV paneli çıkış değerleri

Miktar	Değer	Birim
Nominal Kapasite	417	kW
Ortalama Çıkış	1.480	kWh/gün
Toplam Üretim	540312	kWh/yıl
Maksimum Çıkış	429	kW
Çalışma Saati Ortalama	4,393	saat/yıl

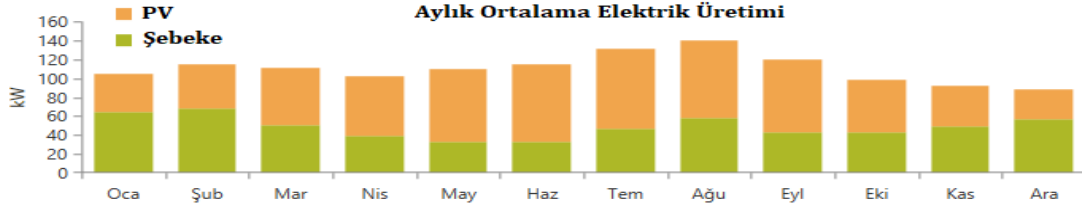
Hibrit enerji sisteminde kullanılan PV panellerinden elektrik üretilmediği zaman dilimlerinde 426.256 kWh enerji alındığı, hibrit enerji sisteminde fazla üretilen elektrik enerjisi ile ilgili 226.801 kWh enerjinin şebekeye geri verildiği, ülkemizde uygulanan aylık mahsuplaşma uygulaması sonrasında 199.456 kWh elektrik enerjisi için fatura oluşturulduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.40. Şebekeden enerji alış ve enerji veriş grafikleri

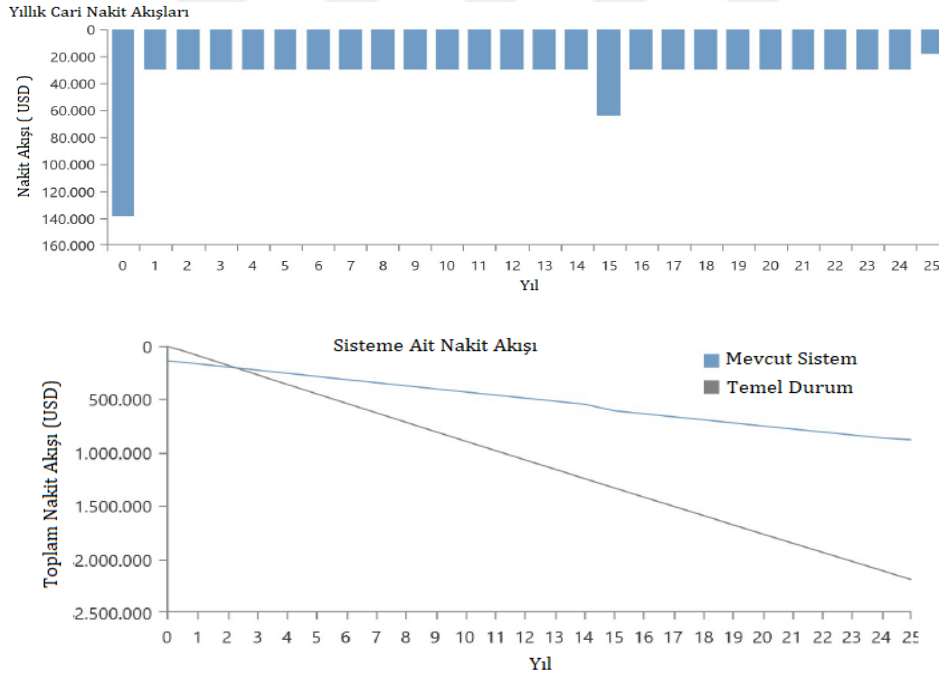
Tablo 3.12. Şebekeden enerji alış ve enerji veriş değerleri

	Şebekeden Alınan Enerji (kWh)	Şebekeye Verilen Enerji (kWh)	Mahsuplaşma Sonrası Net Enerji Miktarı (kWh)
Ocak	48048,98	11648,58	36400,39
Şubat	45846,11	10535,32	35310,79
Mart	37696,99	19255,04	18441,95
Nisan	27765,16	21459,25	6305,92
Mayıs	24725,09	30038,16	-5313,07
Haziran	23885,08	29576,44	-5691,36
Temmuz	34566,01	18798,78	15767,23
Ağustos	43389,75	16573,27	26816,48
Eylül	31130,43	24703,33	6427,10
Ekim	31855,68	19074,68	12780,99
Kasım	35388,07	14883,02	20505,05
Aralık	41959,14	10254,67	31704,47
Toplam	426256,48	226800,54	199455,93



Şekil 3.41. Aylık ortalama elektrik üretimi grafiği

Bursa Büyükşehir Belediyesi Ek Hizmet Binasının bulunduğu yerleşke için enerji ihtiyacının tamamının şebekeden karşılanması yani temel durum ile, HOMER programı tarafından tasarlanan hibrit enerji sistemin kurulum ve işletme maliyetleri ile elektrik enerjisinin karşılanması durumlarının karşılaştırıldığında sistemin ilk başlangıç sermayesinin 138.463 \$ olduğu, sonraki her yıl için 30.574 \$ yıllık işletme maliyet olduğu, sistemin 15.yılında dönüştürücülerin yenisi ile değişimi gerektiği ve 33.013 \$ olduğu, tüm bunlar beraber değerlendirildiğinde sistemin kendisini 27 ay diğer bir ifadeyle 2,29 yıl içerisinde amorti edeceği görülmektedir.



Şekil 3.42. Sistem kurulum ve amortisman süresi arasındaki ilişki grafiği

Kamu binalarında aylık mahsuplaşma yöntemi ele alınarak yapılan incelemelerde elektrik enerjisinin %69,52 daha ekonomik olarak elde edildiği, elde edilen elektrik enerjisinin % 54,6 oranında daha çevreci ve temiz bir enerji sağlandığı, sistem için yapılan yatırım ve işletme maliyetinin 2 yıl içerisinde kendisini amorti ettiği görülmektedir.

Yine mahsuplaşma yöntemi ele alınarak HOMER programı üzerinde 200 kW, 400 kW, 600 kW, 700 kW olmak üzere 4 farklı yerleşim modeli seçilerek hassasiyet analizleri yapılmıştır. Buna göre yapılan incelemede kurulu güneş paneli gücü miktarı artıkça sistem çok daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında çalışma yapılan yerleşke için 700 kW kurulu gücünde yerleşim yapılması durumunda enerji maliyetinin ortadan kalkacağı ve kurulu gücün arttırılması ile kurulu santral sayesinde elektrik fatura ödemededen ekstra kazanç sağlanabileceği belirlenmiştir.

Tablo 3.13. Farklı güçlerde PV yerleşimi için optimizasyon sonuçları

Optimizasyon Sonuçları															
Tasarım					Fiyatlandırma				Sistem	Şebeke					
					PV (kW)	G1	1kWh Li	Converter (kW)	COE (kWh başına Maliyet)	NPC (Sistemin Toplam Maliyeti)	İşletme Maliyeti (\$/Yıl)	Başlangıç Sermayesi (\$)	Yenilenebilir Frenksiyon (%)	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)
					200			164	\$0,0848	\$1.560.000,00	\$61.630,00	\$66.363,00	32,4%	513.429	47.358
					400			330	\$0,0417	\$931.756,00	\$32.950,00	\$132.973,00	53,3%	430.385	210.127
					600			491	\$0,0122	\$333.604,00	\$5.547,00	\$199.125,00	65,1%	394.814	420.121
					700			578	\$0,0007	\$22.190,00	-\$8.791,00	\$235.300,00	69,5%	382.954	543.199

Ülkemizin farklı coğrafyaları ele alınmak üzere Bursa / İzmir / Antalya / Ankara / Samsun / Kahramanmaraş / Van şehirleri için aynı kurulu güç ve aynı bina özelliklerinden yola çıkarak yapılan çalışmalarda doğu bölgesinde bulunan Van İli için enerji birim fiyatının en uygun olduğu görülmüştür. Çalışmanın devamında enerji birim fiyatının en uygun olduğu 2. Sıradaki İlin Kahramanmaraş olduğu görülürken Samsun İlinde ise enerji fiyatının en pahalı olduğu belirlenmiştir. Farklı coğrafyalar için yapılan bu incelemede güneş panellerinin yüksek sıcaklıklarda daha düşük bir performans gösterdiği görülmüş olup Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasında (GEPA) verilen güneş ışınım değerleri ile uygun sonuçlar elde edilmiştir. [33]. Yine çalışmada belirlenen binaların Büyükşehir Belediye Hizmet Binaları tespit edilerek belirlenmiş olup, binaların yük profilinin kamu yük profili ile aynı olacağından yola çıkarak aşağıda optimizasyon sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 3.43. Farklı şehirler için yapılan çalışmalar

Tablo 3.14. Farklı şehirler için yapılan çalışmalar

SİSTEM TASARIMI YAPILAN ŞEHİRLER	Optimizasyon Sonuçları													
	Tasarım						Fiyatlandırma				Sistem	Şebeke		
					PV (kW)	G1	1kWh Li	Converter (kW)	COE (kWh başına Maliyeti)	NPC (Sistemin Toplam Maliyeti)	İşletme Maliyeti (\$/Yıl)	Başlangıç Sermayesi (\$)	Yenilenebilir Frenksiyon (%)	Satın Alınan Enerji (kWh)
VAN					417		355	\$0,0262	\$639.622,00	\$20.622,00	\$139.702,00	60,8%	395.061	297.111
KAHRAMANMARAŞ					417		355	\$0,0276	\$670.694,00	\$21.903,00	\$139.702,00	60,2%	399.295	290.778
İZMİR					417		355	\$0,0277	\$676.208,00	\$22.131,00	\$139.702,00	60,2%	400.940	294.758
ANTALYA					417		351	\$0,0311	\$743.649,00	\$24.927,00	\$139.354,00	58,9%	405.317	275.604
ANKARA					417		355	\$0,0312	\$746.986,00	\$25.050,00	\$139.702,00	58,8%	406.473	274.773
BURSA					417		355	\$0,0387	\$879.641,00	\$30.574,00	\$138.463,00	54,6%	426.256	226.801
SAMSUN					417		347	\$0,0457	\$1.030.000,00	\$36.700,00	\$138.958,00	53,3%	433.459	216.381

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak gerçek ve tüzel kişiler tarafından kurulan ve işletilen üretim tesislerinde aylık mahsuplaşma kullanılmaktadır. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinde belirli bir zaman dilimi içinde gerçekleşen, üretim ve tüketimin birbirinden düşülmesi ile kalan kWh cinsinden net tüketim miktarının belirlenmesine mahsuplaşma işlemi denilmektedir. [65]. İlgili yönetmelik kapsamında günlük mahsuplaşma sisteminden aylık mahsuplaşmaya geçilerek kurulan santrallerde elde edilen gelirin arttığı ve santrallerin geri ödeme süreleri azalmıştır. Bunun yanında Almanya, Fransa, İsveç, ABD gibi bir çok ülkede yıllık mahsuplaşma yapıldığı dikkate alınarak yukarıda yapılan çalışmanın yıllık mahsuplaşma sistemine göre analizleri yapılmıştır.

Tablo 3.15. Sisteme ait aylık mahsuplaşma

	Şebekeden Alınan Enerji (kWh)	Şebekeye Verilen Enerji (kWh)	Mahsuplaşma Sonrası Net Enerji Miktarı (kWh)	Enerji Bedeli (\$)
Ocak	48048,98	11648,58	36400,39	4622,85
Şubat	45846,11	10535,32	35310,79	4484,47
Mart	37696,99	19255,04	18441,95	2342,13
Nisan	27765,16	21459,25	6305,92	800,85
Mayıs	24725,09	30038,16	-5313,07	-600,38
Haziran	23885,08	29576,44	-5691,36	-643,12
Temmuz	34566,01	18798,78	15767,23	2002,44
Ağustos	43389,75	16573,27	26816,48	3405,69
Eylül	31130,43	24703,33	6427,10	816,24
Ekim	31855,68	19074,68	12780,99	1623,19
Kasım	35388,07	14883,02	20505,05	2604,14
Aralık	41959,14	10254,67	31704,47	4026,47
Toplam	426256,48	226800,54	199455,93	25484,97

Tablo 3.16. Sisteme ait yıllık mahsuplaşma

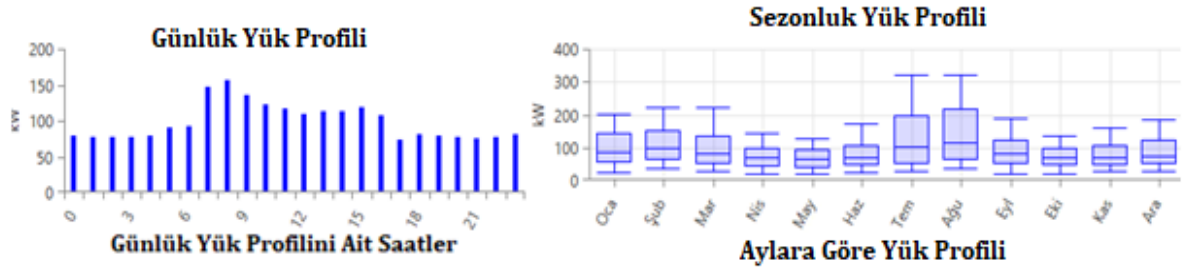
	Şebekeden Alınan Enerji (kWh)	Şebekeye Verilen Enerji (kWh)	Mahsuplaşma Sonrası Net Enerji Miktarı (kWh)	Enerji Bedeli (\$)
Ocak	48048,98	11648,58	36400,39	0,00
Şubat	45846,11	10535,32	35310,79	0,00
Mart	37696,99	19255,04	18441,95	0,00
Nisan	27765,16	21459,25	6305,92	0,00
Mayıs	24725,09	30038,16	-5313,07	0,00
Haziran	23885,08	29576,44	-5691,36	0,00
Temmuz	34566,01	18798,78	15767,23	0,00
Ağustos	43389,75	16573,27	26816,48	0,00
Eylül	31130,43	24703,33	6427,10	0,00
Ekim	31855,68	19074,68	12780,99	0,00
Kasım	35388,07	14883,02	20505,05	0,00
Aralık	41959,14	10254,67	31704,47	0,00
Toplam	426256,48	226800,54	199455,93	25330,90

Tablo 3.15 'de aylık mahsuplaşma yöntemi dikkate alınmıştır. Buna göre mayıs ve haziran aylarında üretilen elektrik tüketilen elektrikten fazla olması sebebi ile şebekeye elektrik satılacağından dolayı aradaki fark tutarında gelir elde edilecektir.

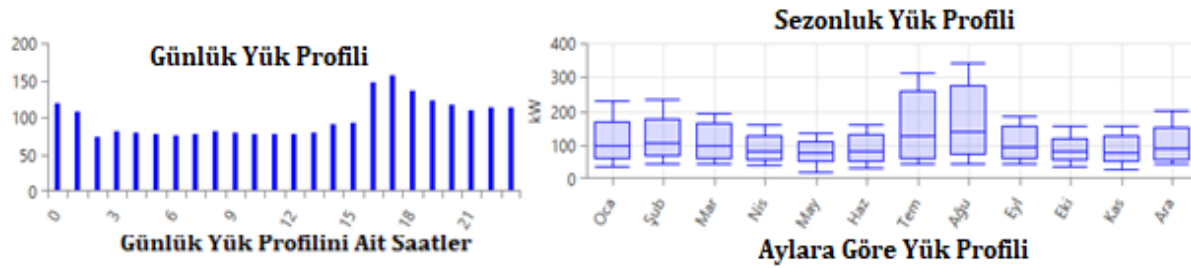
Tablo 3.16 ‘da yıllık mahsuplaşma yöntemi dikkate alınmış olup , bu yöntemde aylık olarak değerlere bakılmaksızın yıl sonunda toplam tüketim ve üretim arasındaki fark ele alınarak mahsuplaşma gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde uygulanan aylık mahsuplaşma sisteminde yılda 25.484,37 \$ elektrik faturası ödenirken yıllık mahsuplaşma sisteminde uygulanmış olsaydı yılda 25.330,90 \$ fatura bedeli ödeneceği belirlenmiştir.

Yukarıdaki Tablo 3.14 ve Tablo 3.15’den anlaşılaçağı üzere yıllık mahsuplaşma sisteminde elde edilen gelirin arttığı ve kurulan hibrit santrallerin geri ödeme sürelerinin azalaçağı tespit edilmiştir. Çalışmada gerek kamu binası yük profilinin öz tüketime uygun olması gerekse de yapılan analizlerde çatı üzerine ve car port alanına tesis edilebilecek PV panel sayısının kısıtlı olması sebebi ile şebekeye sadece mayıs ve haziran aylarında elektrik satışı yapılabilmektedir. Oysaki kurulan sistemde daha fazla PV paneli tesis edilebilmiş olsaydı yıllık mahsuplaşma sistemi aylık mahsuplaşma sistemine göre çok daha karlı olduğı tespit edilmiştir.

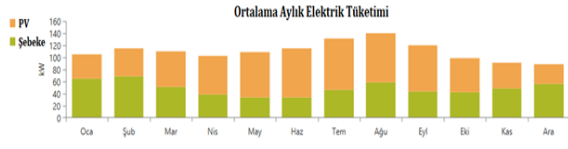
Çalışmanın bu bölümünde kamu binası yük profili ile mesken yük profilinin elektrik enerjisi tüketim eğilimleri arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Kamu binası yük profilinde enerjinin yoğun kullanımı hafta için 08:00 – 17:00 saatleri arasındayken mesken yük profilinde ise genel olarak akşam ve sabah saatlerinde yoğun elektrik kullanımı gerçekleşmektedir. Bu bağlamda aynı kurulu güç ve aynı bina özelliklerinden yola çıkarak Şekil 3.40 ‘da kamu binası yük profili, Şekil 3.41’de ise mesken yük profili belirtilmiştir.



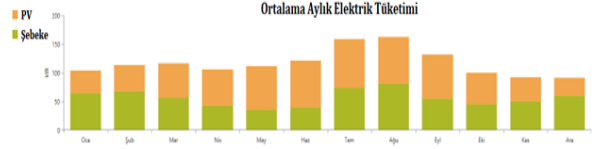
Şekil 3.44. Kamu binası yük profili



Şekil 3.45. Mesken yük profili



Şekil 3.46. Kamu yük profili aylık tüketim



Şekil 3.47. Mesken yük profili aylık tüketim



Şekil 3.48. Kamu binası şebekeden satın alınan ve şebekeye satılan enerji değerleri



Şekil 3.49. Mesken profili şebekeden satın alınan ve şebekeye satılan enerji değerleri

Tablo 3.17. Kamu yük profili ve mesken yük profili satın alınan ve şebekeye satılan enerji değerleri

Kamu Yük Profili		
Miktar	Değer	Birim
PV Panellerinden Üretilen	540.311	kWh/yıl
Şebekeden Satın Alınan	426.256	kWh/yıl
Şebekeye Satılan	226.801	kWh/yıl

Mesken Yük Profili		
Miktar	Değer	Birim
PV Panellerinden Üretilen	540.311	kWh/yıl
Şebekeden Satın Alınan	489.641	kWh/yıl
Şebekeye Satılan	290.298	kWh/yıl

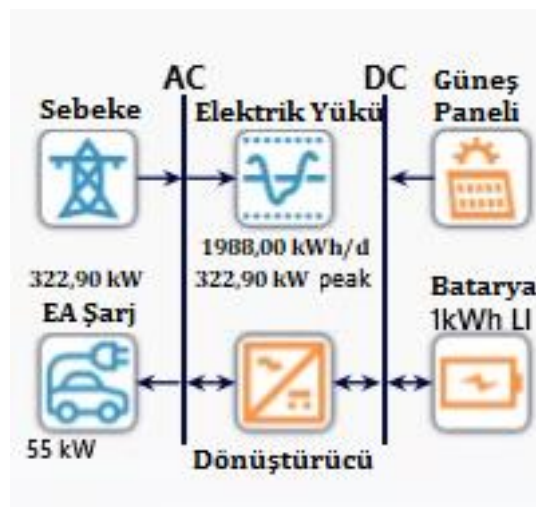
Yapılan analizlerde elektrik tüketim değerlerinin aynı olması ve tesis edilen PV panel sayısı değiştirilmeden kamu binası yük profili ve mesken yük profili arasında yapılan kıyaslamada kamu yük profilinde elektrik tüketiminin yoğun olarak hafta içi 08:00 -17:00 arasında gerçekleştiği, mesken profilinde ise genel olarak akşam ve sabah saatlerinde yoğun elektrik kullanımı gerçekleştiği görülmektedir. Yine aylık elektrik tüketimleri incelendiğinde yaz aylarında mesken abone grubu şebekeden daha fazla enerji satın aldığı gözlenmektedir. Yıllık değerler üzerinden yapılan incelemede mesken yük profilinde 489.641 kWh elektrik enerjisi satın alınırken kamu yük profilinde 426.256 kWh elektrik enerjisi satın alındığı, diğer bir ifade ile kamu yük profilinde mesken yük profiline göre %14 oranında şebekeden daha az elektrik alındığı tespit edilmiştir.

3.11. Şebekeye Bağlı Hibrit Enerji Sistemine Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Entegre Edilmesi:

Yukarıda yapılan analiz çalışmalarında kamu binası için şebekeye bağlı hibrit sistemin enerji satışı yapılmaksızın ve şebekeye geri enerji satışı üzerinden tekno-ekonomik analizler yapılmıştır. Kamu binası yük profili detaylı bir şekilde incelendiğinde cumartesi ve pazar günleri başta olmak üzere tatil günlerinde personel çalışması olmadığından dolayı elektrik tüketiminde azalma olduğu görülmektedir. Bunun yanında şebekeye geri elektrik satış fiyatının ise şebekeden elektrik alış fiyatından daha düşük olduğu yukarı belirtilmiştir.

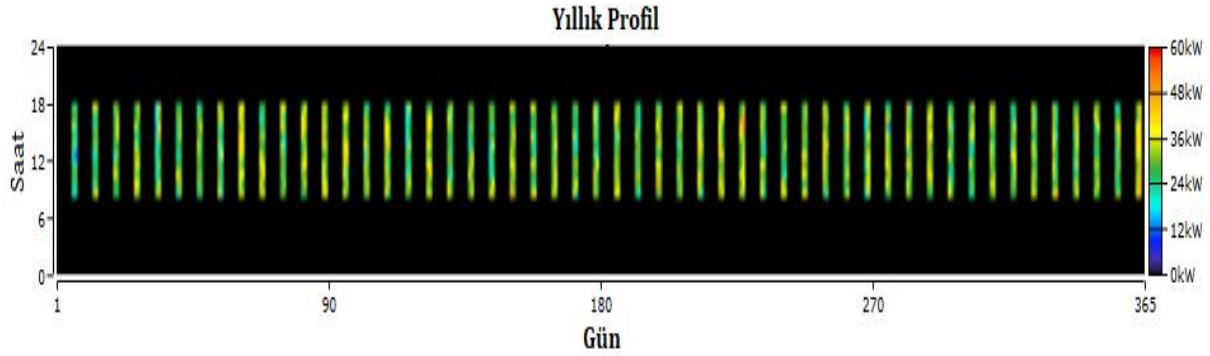
Günümüzde dünya çapında karbondioksit emisyonunun önemli bir bölümü ulaşım sektöründe kullanılan araçlar tarafından üretilerek atmosfere yayılmaktadır. Elektrikli araçlar, içten yanmalı motor kullanmadan, elektrik motoru, batarya, güç elektroniği elemanları ve şarj cihazlarından oluşmaktadır. Elektrikli araçların çevreye duyarlı olması, sessiz çalışması, yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenebilmesi ve çevreye duyarlı olması elektrikli araçların başlıca avantajları arasında sayılabilmektedir. Dünya’da ve Türkiye’de son yıllarda elektrikli ve hibrit araç sayılarında ciddi bir artış olduğu görülmektedir [48]. Kamu hizmet alanında enerji tasarrufu tedbirleri kapsamında kamu hizmetinde kullanılacak otomobil ve otobüs gibi araçlarda elektrikli modellere öncelik verileceği öngörülmektedir.

Yapılan çalışmanın bu kısmında şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanıldığı hibrit enerji sisteminde elektrikli araç şarj istasyonları entegre edilerek yük profilinin iyileştirilmesi, şebekeden daha az elektrik kullanılarak toplam enerji maliyetinin düşürülmesi ve şarj maliyetlerinin azaltılması yönünde analizler yapılacaktır.



Şekil 3.50. Hibrit enerji sistem simülasyon modeli

Şebeke bağlantılı yenilenebilir hibrit enerji sistemine dahil edilen elektrikli araç şarj istasyonları ile oluşturulan model yukarıda belirtilmiştir. HOMER programı üzerinden 11 kW gücünde toplam 5 adet elektrikli araç şarj istasyonu eklenmiş olup, buna göre tasarlanan hibrit enerjisi istasyonunda hafta sonu ve diğer tatil günlerinde yük profilinin düzenlenerek şebekeye ucuz elektrik satılmasının önüne geçilmesi ve elektrikli araç şarj maliyetlerinin azaltılması hedeflenmektedir. Sisteme dahil edilen araç şarj istasyonu bilgileri ve oluşturulan ısı haritası aşağıda belirtilmiştir.



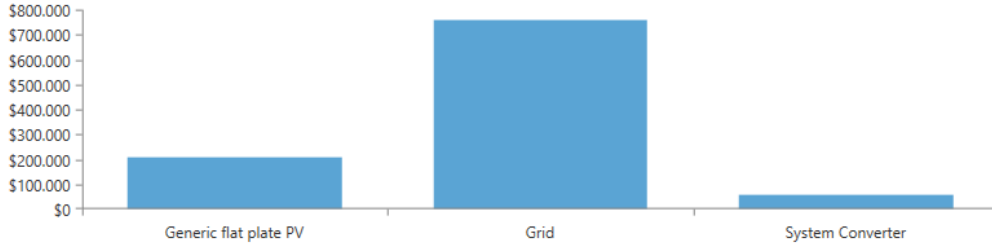
Şekil 3.51. Hibrit enerji sistemine dahil edilen araç şarj istasyonlarına ait ısı haritası

HOMER programı tarafından yapılan 1595 adet farklı simülasyon sonucunda; 417 kW gücünde PV panel seçildiği, 344 kW gücünde dönüştürücü seçildiği görülmektedir. Sistemde en uygun olarak belirtilen hibrit güç sisteminde elektrik enerjisi birim fiyatının 0,0440 \$ olarak hesaplandığı ve dağıtım şirketinden alınan 1 kWh elektrik enerjisi alış bedelinin 0,127\$ olduğu dikkate alındığında %65,35 daha ekonomik olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda tasarlanan hibrit güç sisteminde yenilenebilir enerji fraksiyonu % 53,5 olduğu ve daha temiz bir enerji elde edilmiştir.

Tablo 3.18. Sisteme elektrikli araç şarj istasyonlarının entegre edilmesi ile oluşturulan optimizasyon sonuçları

Optimizasyon Sonuçları												
Tasarım						Fiyatlandırma				Sistem	Şebeke	
		PV (kW)	G1	1kWh Li	Converter (kW)	COE (kWh başına Maliyet)	NPC (Sistemin Toplam Maliyeti)	İşletme Maliyeti (\$/Yıl)	Başlangıç Sermayesi (\$)	Yenilenebilir Frenksiyon (%)	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)
		417			344	\$0,0440	\$1.020.000,00	\$36.453,00	\$138.604,00	53,5%	445.756	199.226
		417		7	342	\$0,0441	\$1.020.000,00	\$36.512,00	\$139.178,00	53,5%	445.757	199.158
		417	5		328	\$0,0444	\$1.030.000,00	\$36.333,00	\$149.591,00	53,8%	443.036	199.338
		415	5	7	342	\$0,0445	\$1.030.000,00	\$36.441,00	\$151.406,00	53,7%	443.317	199.377

Tasarlanan sistemde 25 yıllık süre içerisindeki kurulum ve işletme maliyetleri incelendiğinde, 417 kW gücündeki PV panelleri için kurulum ve işletme maliyeti toplamda 205.341 \$ olduğu, sistemde kullanılan 344 kW gücünde dönüştürücü için kurulum ve işletme maliyeti toplamda 56.714\$ olduğu, şebekeden alınan elektrik enerjisi için maliyetin 760.260 \$ olmak üzere toplam kurulum ve işletme maliyetinin 1.022.315\$ olarak hesaplanmıştır.

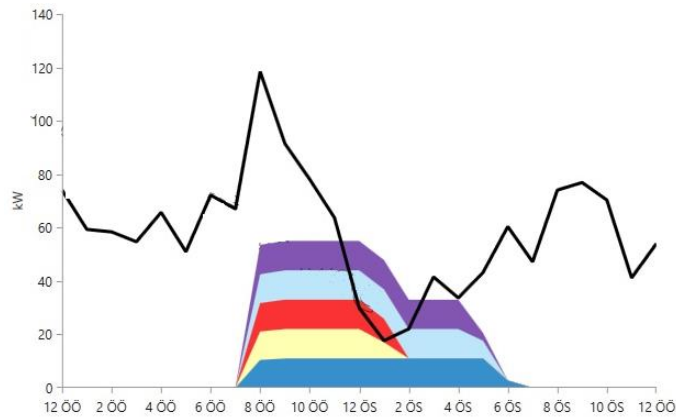


Şekil 3.52. Sistem kurulum maliyeti

Tablo 3.19. Sistem kurulum maliyeti

Bileşen	Başlangıç Maliyeti (\$)	Yer Değişim Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	Hurda Maliyeti (\$)	Toplam (\$)
PV Panel	\$104.250,00	\$0,00	\$101.091,00	\$0,00	\$205.341,00
Şebekeden Alınan Elektrik	\$0,00	\$0,00	\$760.260,00	\$0,00	\$760.260,00
Konverter	\$34.354,00	\$33.150,00	\$0,00	-\$10.790,00	\$56.714,00
Sistem	\$138.604,00	\$33.150,00	\$861.351,00	-\$10.790,00	\$1.022.315,00

Hibrit enerji sistemine entegre edilen 5 adet elektrikli araç sarj istasyonu elektrik tüketimi incelendiğinde, 08:00 da araçların sarj olmaya başladığı ve saat 17:00 sularında sarj işleminin sona erdiği görülmektedir. Sistemde kullanılan 5 şarj istasyonu için toplam sarj süresinin 34,95 saat olduğu ve elektrikli araç sarj işleminde toplamda 385 kWh elektrik tüketimi olduğu görülmektedir. Buna göre bir yıl içerisinde 5 adet elektrikli araç sarj istasyonunun yaklaşık 40.000 kWh elektrik tüketimi gerçekleştirdiği belirlenmiştir.



Şekil 3.53. 5 Adet Araç sarj istasyonu için toplam sarj süresi grafiği

Tasarlanan hibrit enerji sisteminde PV panellerinden yıllık 540.311 kWh enerji üretildiği, şebeke üzerinden yıllık 445.756 kWh elektrik enerjisi satın alındığı, şebekeye geri 199.256 kWh elektrik enerji satıldığı görülmektedir. Tasarlanan bu sistemde şebekeye 27.575 kWh daha az elektrik satıldığı belirlenmiştir.

Tablo 3.20. Sisteme eklenen elektrik araç sarj istasyonları sonrasında şebekeden satın alınan ve şebekeye satılan enerji miktarı

Şebekeye Bağlı Hibrit Enerji Sistemi (Mahsuplaşma)			Sisteme Elektrikli Araç Sarj İstasyonu Entegre Edildiği Durum		
Miktar	Değer	Birim	Miktar	Değer	Birim
PV Panellerinden Üretilen	540.311	kWh/yıl	PV Panellerinden Üretilen	540.311	kWh/yıl
Şebekeden Satın Alınan	426.256	kWh/yıl	Şebekeden Satın Alınan	445.756	kWh/yıl
Şebekeye Satılan	226.801	kWh/yıl	Şebekeye Satılan	199.226	kWh/yıl

Günümüz teknolojisinde yerli elektrikli araç TOGG T10X için katalog verilerinde 19,1kWh/100 km elektrik tüketimi olacağı ve CO2 emisyonunun gr/km değerinin 0 (sıfır) olduğu tespit edilmiştir [81]. Yine günümüzde kullanılan konvansiyonel tip benzin motorlu araçların 100 km için ortalama 7 litre yakıt yakacağı ve benzinli araçlar için CO2 emisyon değerinin 2.29 kg/L olduğu tespit edilmiştir [82].

Buna göre sisteme entegre edilen 5 adet elektrikli araç sarj istasyonundan yılda yaklaşık 40.000 kWh elektrik tüketimi gerçekleştirildiği dikkate alındığında elektrik araçlar ile 209.425 km mesafe katedilebilecektir. Aynı mesafe konvansiyonel tip benzinli araçlar ile 14.660 litre benzin tüketimi yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla benzin fiyatının 1,21 \$ olduğu dikkate alındığında 17.738 \$ tutarında yakıt harcaması yapılması gerekmektedir. Oysaki tasarlanan sistemde elektrik enerjisi birim fiyatının 0,0440 \$ olarak hesaplandığından yola çıkarak elektrikli araçlar ile aynı mesafe için 1.760 \$ tutarında yakıt harcaması yapılacaktır. Tüm bunlarla beraber elektrikli araçların CO2 emisyonu salınımı yapmaması, benzinli araçların ise litre başına 2.29 kg/L karbon salınımı gerçekleştirmesi göz önüne alındığında atmosfere yayılacak olan 33.570 kg/L sera gazı salınımının önüne geçileceği hesaplanmıştır.

HOMER programı tarafından tasarlanan hibrit enerji sistemin kurulum ve işletme maliyetleri ile elektrik enerjisinin karşılanması, üretilen fazla elektrik enerjisinin mahsuplaşma yöntemi ile şebekeye geri satılması ve tatil günlerinde elektrik araç sarj istasyonlarının dahil edilmesi ile ilgili yapılan çalışmada sistemin kendisini 27 ay diğer bir ifadeyle 2,29 yıl içerisinde amorti edeceği görülmektedir.

Elektrik araç istasyonlarında ücretler sarj istasyonunun mevcut özellikleri ve sarj hızına göre değişkenlik göstermektedir. Günümüzde ekonomik sarj yönetimi olarak 22 kW AC sarj kullanılmaktadır. 2023 yılı itibari ile AC sarj yönteminde vergiler hariç bedelin 6,00 TL / kWh tutarındadır. [80]. Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası güncel kurlarına göre ABD DOLAR kurunun 01/10/2023 tarihinde 27,58 TL olduğu belirlenmiştir [76]. Buna göre yapılan hesaplamalarda halka açık alanlarda elektrikli araçların AC sarj yöntemi ile sarj edilmesinin bedeli 0,217 \$ olduğu hesaplanmıştır.

Buna göre bir yıl içerisinde 5 adet elektrikli araç sarj istasyonunun 40.000 kWh elektrik tüketimi gerçekleştirdiği dikkate alındığında halka açık alanlarda sarj edilmesi durumunda 8680 \$ sarj bedeli ödemesi gerekirken, tasarlanan hibrit enerji santralinde 1 kWh elektrik enerjisi birim fiyatının 0,0440 \$ olarak hesaplandığı, dolayısıyla elektrik araç sarj istasyonlarının tüketimi olan 40.000 kWh için toplamda 1.760 \$ ödenmesi gerekecektir. Bu bağlamda 5 adet elektrikli araç sarj istasyonunun 40.000 kWh elektrik tüketimi için %80 daha ucuza sarj edilebileceği görülmüştür.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Bursa ilinde referans alınan ve enerji ihtiyacı enterkonnekte sistem vasıtasıyla konvansiyonel enerji kaynaklarından sağlanan Bursa Büyükşehir Belediyesi Ek Hizmet Binası için farklı senaryolar ile gerçekleştirilen hibrit enerji sistemlerinin içinde teknik ve ekonomik açıdan uygunluğu araştırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalarda faiz oranı, enflasyon oranı, kapasite oranı, hibrit enerji sisteminde kullanılacak bileşen ve ekipman değerleri belirtilerek 25 yıllık proje ömrü boyunca yatırım maliyeti, işletme maliyeti gibi tüm maliyet ve gelirleri dikkate alınarak kWh cinsinden elektrik maliyeti hesaplanmış ve sistemin amorti süreleri belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle kamu binasının otomatik sayaç okuma sistemi üzerinden elektrik tüketimleri anlık bir şekilde reel olarak belirlenmiş ve kamu binasına ait yük profili hazırlanmıştır. Daha sonra binanın coğrafi enlemi, boyları, yüksekliği ve yöntemi ile ilgili tüm verileri Google Earth üzerinden temin edilerek SketchUp programı ile üç boyutlu modelleme ve gölgeleme analizleri yapıldıktan sonra Skelion programı ile yerleşke ve eklentilerine en uygun PV sistem tasarımı yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada tasarlanan hibrit enerji sistemlerinin simülasyon, optimizasyon ve duyarlılık analizleri HOMER yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ilk çalışmada kamu binasının enerji ihtiyacının karşılanmasında şebekenin minimum kullanılması şeklinde bir model gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde fazladan üretilen elektrik enerjisi şebekeye geri satılmadan üretilen enerjinin yerleşke içerisinde tüketilmesi hedeflenmektedir. HOMER programı tarafından yapılan simülasyon sonuçlarında en uygun hibrit enerji sisteminde 800 kW gücünde PV panel, 1333 kWh Lityum iyon akü, 342 kW gücünde dönüştürücü ile seçilerek elektrik birim fiyatının 0,0569 \$ olarak hesaplandığı görülmüş olsa da SketchUp ve Skelion programları kullanılarak yapılan analizlerde binanın çatı kısmı ve car port alanı olmak üzere toplamda 417 kW kurulu güç değerinde PV panel yerleşiminin uygun olduğu tespit edilmiştir. HOMER programı üzerinden sistemin boyutları 417 kW güce denk geldiği parametre bilgisi belirtilerek yapılan analizlerde sistem tarafından en uygun olarak belirtilen hibrit güç sisteminde elektrik enerjisi birim fiyatının 0,0748\$ olarak hesaplandığı ve dağıtım şirketinde 1 kWh elektrik enerjisi alış bedelinin 0,127\$ olduğu dikkate alındığında % 41,10 daha ekonomik olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda tasarlanan hibrit güç sisteminde yenilenebilir enerji fraksiyonu % 61,8 olduğu ve daha temiz bir enerji elde edilmiştir.

Elektrik dağıtım sistemine yakın olan ancak üretilen elektrik enerjisini satma konusunda gerekli altyapısı bulunmayan kamu binaları için yapılan bu çalışmada, elektrik enerjisinin kWh başına % 41,10 daha ucuza elde edildiği, tamamı şebekeden satın alınan elektrik enerjisine göre % 61,8 oranında daha çevreci ve temiz bir enerji sağlandığı, sistem için yapılan yatırım ve işletme maliyetinin 4,73 yıl içerisinde kendisini amorti ettiği görülmektedir. Bununla beraber sistemde kullanılacak PV panel sayısının artması ile sistemin daha ekonomik bir hal aldığı görülmüştür.

Çalışmada ikinci olarak kamu binasının elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji sistemlerinden sağlanmasının yanında, üretilen fazla elektrik enerjisinin şebekeye geri satıldığı, diğer bir ifade ile mahsuplaşma yönetimi ele alınarak enerji maliyetinin azaltılması amaçlanmıştır. Ayrıca çalışmanın ilerleyen bölümlerinde aynı bina özelliklerinde farklı coğrafyalarda bulunan şehirler için analiz çalışmaları ve kamu binası yük profili ile mesken yük profili arasındaki farklılıklar üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir.

İkinci çalışma kapsamında HOMER programı tarafından yapılan simülasyon sonuçlarında; girilen parametrelere göre en çok tesis edilebilecek 417 kW gücünde PV panel seçildiği, bunun yanında 342 kW gücünde dönüştürücü seçildiği, 0,0387\$ olarak hesaplandığı ve dağıtım şirketinden alınan 1 kWh elektrik enerjisi alış bedelinin 0,127\$ olduğu dikkate alındığında %69,52 daha ekonomik olarak enerji elde edilmiştir. Aynı zamanda tasarlanan hibrit güç sisteminde yenilenebilir enerji fraksiyonu % 54,6 olduğu ve daha temiz bir enerji elde edilmiştir. Tasarlanan sistemde fazla üretilen elektrik enerjisi ile ilgili 226.801 kWh enerjinin şebekeye geri verildiği ve tasarlanan sistem için yapılan yatırım ve işletme maliyetinin 2 yıl içerisinde kendisini amorti ettiği tespit edilmiştir.

Mahsuplaşma yöntemi ele alınarak HOMER programı üzerinde üzerinden yapılan hassasiyet analizlerinde kurulu güneş paneli gücü miktarı arttıkça sistem çok daha verimli hale geldiği, yerleşke için 700 kW kurulu gücünde yerleşim yapılması durumunda enerji maliyetinin ortadan kalkacağı ve kurulu gücün artırılması ile elektrik fatura ödemediği ekstra kazanç sağlanabileceği belirlenmiştir.

Ülkemizin farklı coğrafyaları ele alınmak üzere Bursa / İzmir / Antalya / Ankara / Samsun / Kahramanmaraş / Van şehirleri için aynı kurulu güç ve aynı bina özelliklerinden yola çıkarak yapılan çalışmalarda doğu bölgesinde bulunan Van İli için enerji birim fiyatının en uygun olduğu, Samsun İlinde ise enerji fiyatının en pahalı olduğu belirlenmiştir. Farklı coğrafyalar

için yapılan bu incelemede Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasında (GEPA) verilen güneş ışınlam değerleri ile uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak gerçek ve tüzel kişiler tarafından kurulan ve işletilen üretim tesislerinde aylık mahsuplaşma kullanılmaktadır. Bunun yanında Almanya, Fransa, İsveç, ABD gibi bir çok ülkede yıllık mahsuplaşma yapıldığı dikkate alınarak yukarıda yapılan çalışmanın yıllık mahsuplaşma sistemine göre de analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda yıllık mahsuplaşma sistemi aylık mahsuplaşma sistemine göre çok daha karlı olduğu, yıllık mahsuplaşma sisteminde elde edilen gelirin arttığı ve kurulan hibrit santrallerin geri ödeme sürelerinin azalacağı tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında kamu binası yük profili ile mesken yük profilinin elektrik enerjisi tüketim eğilimleri arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Yıllık değerler üzerinden yapılan incelemede mesken yük profilinde şebekeden 489.641 kWh elektrik enerji satın alınırken kamu yük profilinde 426.256 kWh elektrik enerji satın alındığı, diğer bir ifade ile kamu yük profilinde mesken yük profiline göre %14 oranında şebekeden daha az elektrik alındığı tespit edilmiştir.

Üçüncü çalışma kapsamında; Kamu binası yük profili detaylı bir şekilde incelendiğinde cumartesi ve pazar günleri başta olmak üzere tatil günlerinde personel çalışması olmadığından dolayı elektrik tüketiminde azalma olduğu ve üretilen fazla enerjinin şebekeye daha ucuza satıldığı dikkate alınarak şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanıldığı hibrit enerji sisteminde elektrikli araç şarj istasyonları entegre edilerek yük profilinin iyileştirilmesi, şebekeye daha az elektrik enerjisi satarak toplam enerji maliyetinin düşürülmesi ve şarj maliyetlerinin azaltılması yönünde analizler yapılmıştır.

HOMER programı tarafından yapılan simülasyon çalışmalarında en uygun olarak belirtilen hibrit güç sisteminde elektrik enerjisi birim fiyatının 0,0440 \$ olarak hesaplandığı, dağıtım şirketinden alınan 1 kWh elektrik enerjisi alış bedelinin %65,35 daha ekonomik olarak elde edildiği, tasarlanan hibrit güç sisteminde yenilenebilir enerji fraksiyonu % 53,5 olduğu, sistemin kendisini 27 ay diğer bir ifadeyle 2,29 yıl içerisinde amorti edeceği belirlenmiştir.

Sisteme entegre edilen 5 adet elektrikli araç şarj istasyonundan yılda yaklaşık 40.000 kWh elektrik tüketimi gerçekleştirildiği dikkate alındığında elektrik araçlar ile 209.425 km mesafe katedilebilecektir. Aynı mesafe konvansiyonel tip benzinli araçlar ile 14.660 litre benzin tüketimi yapılması gerekmektedir. Yine benzinli araçlar ile aynı mesafe için 17.738 \$ tutarında yakıt harcaması yapılması gerekirken, tasarlanan hibrit sistem üzerinden şarj işlemi

gerçekleştirildiğinde aynı mesafe için elektrikli araçlarla 1.760 \$ tutarında yakıt harcaması yapılacaktır.

Elektrikli araçların CO2 emisyonu salınımı yapmaması, benzinli araçların ise litre başına 2.29 kg/L karbon salınımı gerçekleştirmesi göz önüne alındığında 33.570 kg/L sera gazı salınımının önüne geçileceği hesaplanmıştır.

Yapılan analizlerde yük profili kapsamlı bir şekilde incelendiğinde çalışma saatleri ve enerji üretim saatlerinin solar enerji üretimi bakımında uyumlu olduğu belirlenmiştir. SketchUp ve Skelion gibi programlar ile yapılan 3 boyutlu modelleme ile meteorolojik veriler, ayrıntılı güneş ışıınım değerleri, bölge kirlilik oranları, gölgelenme analizleri, güneş paneli yönü ve açısı, güneş panellerinin yıllık güç düşümü oranları, dikkate alınarak en uygun hibrit santral modellenebilecektir. HOMER programı ile yapılan hassasiyet analizlerinde PV panel yerleşimine bağlı kurulu güç arttıkça birim enerji maliyetinin daha da azaldığı görülmektedir. Kurulan ve işletilen tesislerde üretim ve tüketimin birbirinden düşülmesi ile kalan kWh ile yapılan mahsuplaşma işlemi ile elde edilen gelirin arttığı ve santrallerin geri ödeme sürelerinin azaldığı belirlenmiştir.

Yapılan çalışma ile gerçek tüketim verileri üzerinden bir kamu binası için elde yük profili dikkate alınarak hibrit enerji santrallerinin tasarımı ile ilgilenen araştırmacılara ulaşmayı, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgar enerjisi ile oluşturulacak hibrit enerji santralleri sayesinde elektrik enerjisi temin etmek amacıyla harcanan giderlerin azaltılarak kamu kaynaklarının daha ekonomik kullanılması, elde edilen veriler ışığında farklı coğrafya ve şehirler içinde gelecekte yapılması planlanan hibrit enerji sistemler için fayda sağlaması amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] C. Karaca ve A. Bingöl, “Türkiye’de Fosil Enerji Bağımlılığının Neden Olduğu Ekonomik ve Çevresel Maliyetler,” *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Kongresi*, Şırnak, 2019.
- [2] C. Zou et al., “Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era,” *Natural Gas Industry B*, vol. 3, no. 1, 2016.
- [3] E. Aykut, “Marmara Üniversitesi Göztepe Kampüsü İçin Hibrit Enerji Sistemlerinin Tekno-Ekonomik ve Çevresel Açından İncelenmesi,” Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019.
- [4] M. Güllü ve Z. Kartal, “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının İstihdam Etkisi,” *Sakarya İktisat Dergisi*, vol. 10, no. 1, pp. 36–65, 2021.
- [5] T. Kaya ve C. Karakurt, “Tuğla Duvarlarda Uygulanan Sıvaların Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi,” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 26, no. 1, pp. 14–19, 2018.
- [6] A. F. Güven, “Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sisteminin Tekno-Ekonomik Açından İncelenmesi ve Optimizasyonu,” Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2023.
- [7] Resmi Gazete, “Enerji Verimliliği Kanunu,” Erişim: 2008. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm>. [Erişim Tarihi: 11.10.2023].
- [8] Resmi Gazete, “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi,” 2019. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/08/20190816-10.pdf>. [Erişim Tarihi: 11.10.2023].
- [9] S. Aslan ve S. Türkdoğan, “Bir Kamu Eğitim Binasının Enerji Kalitesinin ve Verimliliğinin Analizi ile Geliştirilmesine Yönelik Öneriler,” *International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences*, vol. 1, 2023.
- [10] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı “Kamu Binalarının Enerji Verimli Yenilemesine Yönelik Rehber”
- [11] C. E. Ekinci, N. Baykuş, S. Ay, M. Akgül, ve B. Elyiğit, “Bir Kamu İdari Hizmet Binasının Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, vol. 8, no. 1, pp. 119–130, 2020.
- [12] E. Kayar, N. İl, ve H. Carlak, “Türkiye Elektrik Enerjisi Görünümü ve Yenilenebilir Enerjinin Global Ölçekte Mevcut Konumu,” *EMO Bilimsel Dergi*, vol. 11, Özel Sayı, pp. 70–83, 2021.
- [13] A. Çiçek ve O. Erdinç, “PV-Batarya Hibrit Sistemi İçeren Elektrikli Araç Otoparkının Şarj Yönetimi,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 15, pp. 466–474, 2019.

- [14] L. Olatomiva, “Techno-economic analysis of hybrid PV-diesel-battery and PV-wind-diesel-battery power systems for mobile BTS: the way forward for rural development,” *Energy Science & Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 271–285, 2015.
- [15] M. Engin, “Bornova İçin Güneş-Rüzgar Hibrit Enerji Üretim Sistemi Tasarımı,” *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, vol. 2, no. 13, 2010.
- [16] K. Başaran, “Rüzgar-güneş hibrit güç sistemi tasarımı ve uygulaması,” *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)*, 2011.
- [17] H. Mamur, “Bir Kamu Binası İçin Hibrit Enerji Sistemi Fizibilitesi,” *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, vol. 11, no. 1, pp. 51–58, 2019.
- [18] G. Yılmaz, “Şebeke Bağlantılı Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin Homer ile Ekonomik ve Çevresel Analizi: İzmir Endüstriyel Bölgesi Örneği,” *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 13, no. 3, pp. 1090–1106, 2023.
- [19] S. Türkdoğan, “Kamu binalarında çatı üzeri fotovoltaik panel kurulum potansiyelinin belirlenmesi ve enerji üretim artışı için mimari tasarımın ele alınması: Yalova ili örneği,” 2023.
- [20] T. M. I. Riayatsyah, “Techno-Economic Analysis and Optimisation of Campus Grid-Connected Hybrid Renewable Energy System Using HOMER Grid,” *Sustainability*, vol. 14, no. 13, p. 7735, 2022.
- [21] Ç. Çakmak, “Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Ekonomik Analizi,” *Elektrik Mühendisleri Odası*, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.emo.org.tr/ekler/887f3eae0a7eff_ek.pdf. [Erişim Tarihi: 2020].
- [22] A. Tuğcu, “PVSYST Simülasyon Aracı Kullanılarak Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Yerleşkesi Şebeke Bağlantılı Güneş Enerjisi Santralının Tasarımı ve Ekonomik Analizi,” *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 9, no. 2, pp. 397–417, 2023.
- [23] N. Al Safarini et al., “Performance evaluation of solar tracking systems for power generation based on simulation analysis: Solar island concept,” *2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA)*, IEEE, 2017.
- [24] S. Türkdoğan, M. T. Mercan, ve T. Çatal, “Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: Teknik ve ekonomik analizleri,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 18, pp. 476–485, 2020.
- [25] Ç. Çakmak, M. Kurban, ve E. Dokur, “Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Ekonomik Analizi,” *Elektrik Mühendisleri Odası*, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.emo.org.tr/ekler/887f3eae0a7eff_ek.pdf. [Erişim Tarihi: 2020].

- [26] A. F. Güven ve C. Hatipoğlu, “Şebekeden Bağımsız Güneş/Rüzgâr/Biyogaz/Yakıt Hücresi/Batarya Tabanlı Hibrit Enerji Sisteminin Tekno-Ekonomik Analizi: Muğla Zaferler Köyü Vaka Çalışması,” *EMO Bilimsel Dergi*, vol. 12, no. 1, pp. 53–65, 2022.
- [27] İ. Çetinbaş, B. Tamyürek, ve M. Demirtaş, “Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kampüsünde elektrik tüketim maliyetinin azaltılmasına yönelik FV üretim ve enerji depolama biriminden oluşan bir mikro şebekenin optimal tasarımı,” *EMO Bilimsel Dergi*, vol. 8, no. 1, pp. 33–38, 2018.
- [28] Our World in Data, “Energy Production and Consumption,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [29] Our World in Data, “Renewable Energy,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://ourworldindata.org/renewable-energy>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [30] TEİAŞ, “Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [31] S. Özbektaş, M. C. Şenel, ve B. Sungur, “Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Durumu ve Kurulum Maliyetleri,” *Mühendis ve Makina*, vol. 64, no. 711, pp. 317–351, 2023.
- [32] Enerji Portalı, “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Nelerdir?” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.enerjiportalı.com/yenilenebilirenerji-kaynaklari-nelerdir>. [Erişim Tarihi: 11.10.2023].
- [33] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Güneş Enerjisi,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>. [Erişim Tarihi: 14.10.2023].
- [34] S. Türkdoğan ve F. Arslan, “Kamu binalarında çatı üzeri fotovoltaik panel kurulum potansiyelinin belirlenmesi ve enerji üretim artışı için mimari tasarımın ele alınması: Yalova ili örneği,” 2023.
- [35] O. O. Yolcan, “Türkiye’nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler,” *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 6, no. 2, pp. 196–215, 2020.
- [36] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “GEPA Hesaplama Aracı,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>. [Erişim Tarihi: 14.10.2023].
- [37] A. G. Baykal, “Fotovoltaik Sistem - Rüzgar Türbini Hibrit Enerji Üretim Sistemlerinde Çıkış Geriliminin Optimizasyonu,” Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, 2023.
- [38] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Rüzgar Enerjisi,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>. [Erişim Tarihi: 20.10.2023].
- [39] TEİAŞ, “Kurulu Güç Raporları,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>. [Erişim Tarihi: 16.10.2023].

- [40] İ. Uğul ve G. Akgül, “Biyokütle Teknolojisi,” *Yekarum*, vol. 1, no. 1, 2010.
- [41] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Biyokütle Enerjisi,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle>. [Erişim Tarihi: 20.10.2023].
- [42] S. Özbektaş, M. C. Şenel, ve B. Sungur, “Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Durumu ve Kurulum Maliyetleri,” *Mühendis ve Makina*, vol. 64, no. 711, pp. 317–351, 2023.
- [43] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Hidrolik Enerji,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik>. [Erişim Tarihi: 20.10.2023].
- [44] S. Arslan, M. Darıcı, ve Ç. Karahan, “Türkiye’nin Jeotermal Enerji Potansiyeli,” *Jeotermal Enerji Semineri*, pp. 21–27, 2001.
- [45] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Jeotermal Enerji,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-jeotermal>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [46] M. S. Çetin ve M. T. Gençoğlu, “Elektrikli Araçlar ve Şarj Teknolojileri,” 2023.
- [47] BMW, “Elektrikli Araç Türleri,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.bmw.com.tr/tr/topics/fascination-bmw/bmw-i-ve-e-mobilite/elektrikli-oromobil-turleri.html>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [48] Statista, “Elektrikli Araçlar Dünya Çapında Analiz,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.statista.com/outlook/mmo/electric-vehicles/worldwide#analyst-opinion>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [49] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Kamu Binalarında Örnek Enerji Verimliliği Uygulamaları,” [Çevrimiçi]. Erişim: https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/KamuBinalarındaTasarrufHedefi/Ek_4.pdf. [Erişim Tarihi: 2023].
- [50] Mevzuat, “Enerji Verimliliği Kanunu,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5627&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [51] Resmi Gazete, “Enerji Verimliliği Kanunu,” 2008. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [52] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Kamu Binalarında Tasarruf Hedefi ve Uygulama Rehberi,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/yapilsleri/icerikler/kamu-binalarinda-tasarruf-hedefi-ve-uygulama-rehberi-20210505170513.pdf>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [53] Resmi Gazete, “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi,” 2023. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/11/20231104-5.pdf>. [Erişim Tarihi: 2023].

- [54] S. Küçük, “Off-Grid Güneş Sistemleri İçin Yeni Bir Projelendirme Aracı Tasarımı,” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2023.
- [55] A. Chauhan ve R. P. Saini, “Renewable energy based power generation for stand-alone applications: A review,” *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, IEEE, 2013.
- [56] D. P. Kaundinya, “Grid-connected versus stand-alone energy systems for decentralized power--A review of literature,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 8, pp. 2041–2050, 2009.
- [57] A. Chauhan, “Renewable energy based power generation for stand-alone applications: A review,” *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, IEEE, 2013.
- [58] O. Çapraz, “Şebekeye Bağlı Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Tasarımı ve Optimizasyonu Üzerine Bir Model Önerisi ve Uygulaması,” Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2020.
- [59] T. Biçen, “Güneş Panelleri ile Elektrik Üretiminin Teknik ve Ekonomik Analizi: Bursa Örneği,” Bursa Uludağ Üniversitesi, 2018.
- [60] O. Turan, “1 MWp Kapasiteli Çatı Tipi Dağıtık Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Simülasyon Uygulaması,” *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 34, no. 2, pp. 609–626, 2023.
- [61] M. Boztepe, “Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler,” *EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni*, no. 321, pp. 13–17, 2017.
- [62] E. O. Yüzer, “Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Şarj Regülatörü Tasarımı,” *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 11, no. 1, pp. 47–57, 2018.
- [63] K. Başaran, “Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması,” *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 2011.
- [64] Spaceflight Power, “Everything You Need to Know About Solar Gel Batteries,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.spaceflightpower.com/everything-you-need-to-know-about-solar-gel-batteries/>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [65] Resmi Gazete, “Enerji Verimliliği Kanunu,” 2019. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512-1.htm>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [66] Ş. Ok ve M. E. Çokmutlu, “Lisanssız Güneş Enerjisi Üretimi ve Muhasebe Uygulamalarının TMS/TFRS Çerçevesinde Değerlendirilmesi,” *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, vol. 20, no. 1, pp. 246–264, 2024.
- [67] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “GEPA Hesaplama Aracı,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/16.aspx>. [Erişim Tarihi: 2023].

- [68] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Bursa REPA,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/BURSA-REPA.pdf>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [69] HOMER Energy, “HOMER Pro,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://homerenergy.com/products/pro/index.html>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [70] SketchUp, “Benefits of SketchUp,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.sketchup.com/en/benefits-of-sketchup>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [71] K. A. Kader et al., “Design and Analysis of an On-Grid Solar System Using PVsyst Software for Commercial Application,” *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 12, no. 9, pp. 8, 2021.
- [72] LG, “LG Neon 2 Series Solar Panels,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.lg.com/us/business/solar/neon-2-series-solar-panels>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [73] B. Sümerbaş, “Lisanssız Üretim – Mahsuplaşma İşlemleri,” *VII. Elektrik Tesisleri Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri*, 2023.
- [74] EPDK, “Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/leerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [75] Resmi Gazete, “Elektrik Piyasası Tarifeleri,” 2021. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/12/20211231M6-5.pdf>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [76] TCMB, “Döviz Kurları,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/202310/04102023.xml>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [77] YCharts, “US Inflation Rate,” [Çevrimiçi]. Erişim: https://ycharts.com/indicators/us_inflation_rate#:~:text=Basic%20Info,month%20and%208.20%25%20Last%20year. [Erişim Tarihi: 2023].
- [78] HOMER Energy, “Total Net Present Cost in HOMER,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://homerenergy.my.site.com/supportcenter/s/article/total-net-present-cost-in-honner>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [79] HOMER Energy, “COE and Excess Electricity,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://homerenergy.my.site.com/supportcenter/s/article/coe-and-excess-electricity>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [80] Sarı Net, “Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Ücreti,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://sari.net/elektrikii-arac-sari-istasyonu-ucreti/>. [Erişim Tarihi: 2023].
- [81] TOGG, “TOGG T10X Katalog,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://trumore-cdn.togg.cloud/ToggT10XKatalog.pdf>. [Erişim Tarihi: 2023].

- [82] Econologie, “CO2 Emisyonu: Benzin, Dizel ve LPG,” [Çevrimiçi].
Erişim: <https://tr.econologie.com/Emisyon-co2-litre-yak%C4%B1t-benzin-veya-dizel-gpl/>. [Erişim Tarihi: 2023].



EKLER

Ek.1 – İşyeri İzin Belgesi



T.C.
BURSA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYE BAŞKANLIĞI
Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı
Destek Hizmetleri Şube Müdürlüğü

Sayı : E-50521662-705.99-26628
Konu : Tez Çalışma İzni Hk.

06.02.2025

SAYIN İLHAN ŞİRİN

İlgi : İlhan ŞİRİN - 3.02.2025 tarihli başvurusu/dilekçesi.

İlgi dilekçenizde, Fen işleri Dairesi Başkanlığı Etüt Proje Şube Müdürlüğünde Elektrik - Elektronik Mühendisi olarak görev yaptığınızı, Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik - Elektronik Mühendisi Anabilim Dalı'nda 218105023 öğrenci numarası ile "Yenilenebilir Enerji Destekli Mikro Şebeke Tasarımı ve Bölgesel Bazda analizi: Kamu Binası Örneği" konulu tez çalışması yaptığınızı ve bu çalışma gereği Altınova Ek Hizmet Binası ve yerleşkesine ait enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması ile ilgili teknik ve ekonomik açıdan uygunluğunun araştırıldığını ve Altınova Ek Hizmet Binası ve yerleşkesine ait kurulu elektrik gücü, binanın dış fiziksel yapısı ve elektrik tüketim değerlerinin tarafınızca kullanılmasına izin verilmesini talep etmektesiniz.

Bu kapsamda, Altınova Ek Hizmet Binası yerleşkesine ait kurulu elektrik gücü, binanın dış fiziksel yapısı ve elektrik tüketim değerlerinin tez çalışmanızda kullanılması hususunu; Bilgilerinize rica ederim.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Bursa’da tamamladı. 2003 yılında başladığı Uludağ Üniversitesi Endüstriyel Elektronik Bölümünü 2005 yılında bitirdi. Bir süre eğitim hayatına ara verdi ve 2008 yılında eğitime başladığı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü 2011 yılında bitirdi. 2003 yılından itibaren özel sektörde bir çok firmada teknisyen, tekniker ve mühendis olarak görev aldıktan sonra 2016 yılında Bursa Büyükşehir Belediyesine geçiş yaptı. Halen Bursa Büyükşehir Belediyesi bünyesinde mühendis olarak görev yapmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

[1] İlhan ŞİRİN, Sunay TÜRKOĞAN ‘‘ KAMU BİNALARINDA ELEKTRİKLİ CİHAZ VE ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ ENERJİ İHTİYAÇLARININ KARŞILANMASI İÇİN MİKRO-ŞEBEKE TASARIMI VE BÖLGESEL BAZDA TEKNO-EKONOMİK ANALİZİ’’ 13.thInternational Congress On Engineering Architecture and Design Istanbul 08-09 June 2024