



KARABÜK ÜNİVERSİTESİ MİKROŞEBEKESİNİN TASARIMI VE MODELLENMESİ

Şevket ULUTÜRK

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Ziyodulla YUSUPOV**

**KARABÜK ÜNİVERSİTESİ MİKROŞEBEKESİNİN TASARIMI VE
MODELLENMESİ**

Şevket ULUTÜRK

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Ziyodulla YUSUPOV**

**KARABÜK
Aralık 2020**

Şevket ULUTÜRK tarafından hazırlanan “KARABÜK ÜNİVERSİTESİ MİKROŞEBEKESİNİN TASARIMI VE MODELLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ziyodulla YUSUPOV

Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 29/12/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ALTINKAYA (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ziyodulla YUSUPOV (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Adem DALCALI (BAÜN)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Şevket ULUTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARABÜK ÜNİVERSİTESİ MİKROŞEBEKESİNİN TASARIMI VE MODELLENMESİ

Şevket ULUTÜRK

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Ziyodulla YUSUPOV

Aralık 2020, 115 sayfa

Mikroşebekeler, dağıtılmış enerji kaynaklarını, depolama birimlerini ve yükleri şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız modlarda kontrol etmek, güç sisteminin dayanıklı, güvenli ve kararlı çalışmasını sağlamak ve uzaktan kontrolünü gerçekleştirmek gibi işlevlere sahiptir. Ayrıca mikroşebekeler akıllı kontrol stratejileri sayesinde dağıtılmış enerji kaynaklarını ve yükleri denetlemede veriler kullanır, hava şartlarını ve enerji taleplerini takip ederek doğru analiz ile hangi enerji kaynaklarını devreye alacağına karar verir. Örneğin, olası bir fırtınayı bildiren hava durum tahmini aldığı anda güneş enerjisinden bataryaya geçmek üzere programlanabilir.

Çalışmada Karabük Üniversitesi Kampüsü'nde yer alan Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ve Öğrenci İşleri Merkezi'nde mikroşebeke sisteminin modellenmesi, tekno-ekonomik ve çevresel analizi gerçekleştirilmiştir. Yük değerleri saatlik olarak belirlenerek, kullanılan kaynaklar için güncel ekonomik

değerler ve bölgenin güneş enerji verileri tanımlanarak, mikroşebeke sisteminin Net Bugünkü Maliyeti (NBM), Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (SEM) ve emisyon değerleri hesaplanmış ve Karabük Üniversitesi'nde mikroşebeke sisteminin kullanılması amaçlanmıştır.

FV paneller gündüz enerji ürettikleri için enerjinin sürekliliği dizel jeneratör, akü ve mevcut şebeke kullanılarak sağlanmıştır. En uygun maliyetli sistem tasarımını gerçekleştirmek için akü ve FV panel adeti HOMER yazılımı kullanılarak belirlenmiş ve tüm bileşenler için en ekonomik çözüm simüle edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Mikroşebeke, dağıtılmış enerji kaynakları, net bugünkü maliyet, seviyelendirilmiş enerji maliyeti, HOMER.

Bilim Kodu : 90502

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESIGN AND MODELING OF MICROGRID OF KARABUK UNIVERSITY

Şevket ULUTÜRK

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Electrical-Elektronic Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Ziyodulla YUSUPOV

December 2020, 115 pages

Microgrids have functions such as controlling distributed energy sources, storage units and loads in grid connected or off grid modes, ensuring durable, safe and stable operation of the power system and realizing remote control. In addition, microgrids use data to control distributed energy sources and loads, thanks to smart control strategies and determine which energy resources to activate with correct analysis by following weather conditions and energy demands. For example, it can be programmed to switch from solar power to the battery when it receives a weather forecast that indicates a possible thunderstorm.

In the study, the modeling, techno-economic and environmental analysis of the microgrid system in the Faculty of Engineering, Faculty of Economics and Administrative Sciences and Student Affairs Center locates in Karabük University Campus were performed. The load values were determined on an hourly basis, the current economic by defining the values and solar energy data of region, Net Present

Cost (NPC), Levelized Cost of Energy (LCOE) and emission values of the microgrid system were calculated and it was aimed to use the microgrid system in Karabük University.

Since PV panels generate energy during the day, the continuity of energy is provided with a diesel generator, battery and the existing network. In order to realize the most cost-effective system design, the number of batteries and PV panels was determined using the HOMER software and the most economical solution for all components was simulated.

Key Word : Microgrid, distributed energy sources, net present cost, levelized cost of energy, HOMER.

Science Code : 90502

TEŞEKKÜR

Tez alıŐma s¼recimin planlanmasında, araŐtırılmasında, y¼r¼t¼lmesinde ve oluŐumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tec¼belerinden yararlandığım, y¼nlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Ziyodulla YUSUPOV'a teŐekk¼rlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen kıymetli Anne ve Babama, değerli b¼y¼ę¼m Ali AKDEMİR'e, Dr. Öğr. Üyesi Sevda COŐKUN'a, Prof. Dr. M¼cahit COŐKUN'a ve B¼Őra DİBSİZGÖL'e t¼m emek ve hoŐg¼r¼leri için teŐekk¼r ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. TEZİN AMACI	3
1.2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
BÖLÜM 2	7
GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIM ALANLARI VE ÖNEMİ.....	7
2.1. DÜNYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ	8
2.2. TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	14
BÖLÜM 3	17
MİKROŞEBEKELER.....	17
3.1. MİKROŞEBEKE KULLANIM TÜRLERİ	21
3.1.1. Kampüs/Kurumsal Mikroşebeke	21
3.1.2. Ana Şebekeden Uzak ve Kırsal Mikroşebekeler	22
3.1.3. Askeri Üs Mikroşebekeler	22
3.1.4. Topluluk Mikroşebekeleri	23
3.2. MİKROŞEBEKENİN BİLEŞENLERİ	23
3.2.1. Dağıtılmış Kaynaklar	25

	<u>Sayfa</u>
3.2.2. Enerji Depolama Sistemleri.....	26
3.2.3. Yük Çeşitleri.....	27
3.2.4. Ortak Bağlantı Noktası.....	29
3.3. MİKROŞEBEKE ÇEŞİTLERİ	30
3.3.1. DC Mikroşebeke Sistemleri.....	30
3.3.2. AC Mikroşebeke Sistemleri.....	31
3.3.3. Hibrit Mikroşebeke Sistemleri.....	33
3.4. MİKROŞEBEKENİN ÇALIŞMASI VE KONTROLÜ	34
BÖLÜM 4	37
MATERYAL VE METOD	37
4.1. BÖLGE YÜK PROFİLİ VE ENERJİ KARAKTERİSTİKLERİ	38
4.1.1. Karabük İli ve Merkez İlçesi Güneş Enerjisi Verileri.....	38
4.1.2. Karabük Üniversitesi Merkez Kampüs Alanı.....	40
4.1.3. Elektrik Tüketim Verilerinin Elde Edilmesi.....	43
4.2. HOMER PROGRAMI.....	47
4.2.1. Simülasyon	48
4.2.2. Optimizasyon	49
4.2.3. Hassaslık Analizi.....	50
4.2.4. Ekonomik Analiz	51
4.2.5. HOMER’da Bazı Parametreler	53
4.3. KARABÜK ÜNİVERSİTESİ GES ÜRETİM DEĞERLERİ.....	53
4.3.1. Teknoloji Fakültesi GES Üretim Değerleri.....	54
4.3.2. Spor Salonu GES Üretim Değerleri.....	54
4.3.3. Yabancı Diller Yüksekokulu GES Üretim Değerleri.....	55
4.3.4. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi GES Üretim Değerleri.....	56
4.3.5. İlahiyat Fakültesi GES Üretim Değerleri	56
4.4. KAYNAKLARIN SEÇİMİ.....	57
4.4.1. Fotovoltaik Hücreler	57
4.4.2. Fotovoltaik Hücrelerin Çalışma Prensipleri	60
4.4.3. FV Panel Seçimi	63
4.4.4. Dizel Jeneratör Seçimi.....	66

	<u>Sayfa</u>
4.4.5. Şebeke Seçimi	66
4.4.6. Akü Seçimi	67
4.4.7. Konvertör ve Şarj Regülatörü Seçimi	67
BÖLÜM 5	68
SİMÜLASYON SONUÇLARI	68
5.1. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ SİMÜLASYON SONUÇLARI	68
5.2. İKTİSADİ VE İDARİ BİLİMLER FAKÜLTESİ (İİBF) SİMÜLASYON SONUÇLARI	77
5.3. ÖĞRENCİ İŞLERİ MERKEZİ SİMÜLASYON SONUÇLARI	85
BÖLÜM 6	95
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	95
6.1. SONUÇLAR	95
6.2. ÖNERİLER	98
KAYNAKLAR	99
EK AÇIKLAMALAR A	105
KBÜ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, İİBF VE ÖĞRENCİ İŞLERİ MERKEZİ TRAFO MERKEZLERİNİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	105
EK AÇIKLAMALAR B	107
TEMEL SİSTEM VE ÖNERİLEN SİSTEMİN AYLIK ENERJİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	107
EK AÇIKLAMALAR C	111
FV PANEL, BATARYA VE DİZEL JENERATÖRÜN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	111
ÖZGEÇMİŞ	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	2008-2018 yılları arası FV güneş enerjisi yıllık ilave ve kapasitesi	9
Şekil 2.2.	2008-2018 yılları arası ısı güneş enerjisi yıllık ilave ve kapasitesi	9
Şekil 2.3.	Çin'in yıllara göre kurulu gücü	11
Şekil 2.4.	ABD'nin yıllara göre kurulu gücü	11
Şekil 2.5.	Almanya'nın yıllara göre kurulu gücü	12
Şekil 2.6.	Türkiye'nin yıllara göre kurulu gücü	12
Şekil 2.7.	Dünya güneş potansiyeli atlası	13
Şekil 2.8.	Türkiye'nin Avrupa ülkelerine göre güneşlenme potansiyeli atlası	14
Şekil 2.9.	Türkiye'nin aylık güneşlenme süresi	15
Şekil 2.10.	Türkiye'nin aylık radyasyon değerleri	15
Şekil 3.1.	Mikroşebeke ağı	18
Şekil 3.2.	Enerji depolama sistemlerinin sınıflandırılması	27
Şekil 3.3.	Çeşitli yük tiplerinin sınıflandırılması	28
Şekil 3.4.	Mikroşebekenin şematik diyagramı	29
Şekil 3.5.	DC mikroşebeke sistemi	30
Şekil 3.6.	AC mikroşebeke sistemi	31
Şekil 3.7.	Hibrit mikroşebeke sistemi	34
Şekil 4.1.	Karabük ili güneş enerji potansiyeli	39
Şekil 4.2.	Karabük ili merkezinin aylara göre güneşlenme süreleri	39
Şekil 4.3.	Karabük ili merkez yatay düzlem günlük güneş radyasyon verileri	40
Şekil 4.4.	Karabük Üniversitesi güneş panellerinin yakın görünümü	41
Şekil 4.5.	Karabük Üniversitesi güneş panellerinin uzak görünümü	41
Şekil 4.6.	Mühendislik Fakültesi	42
Şekil 4.7.	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	42
Şekil 4.8.	Öğrenci İşleri Merkezi	43
Şekil 4.9.	Elektrik tüketim değerlerinin alındığı güç enerji analizörü	43
Şekil 4.10.	KBÜ OG trafoları	45
Şekil 4.11.	Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki ilişki	48
Şekil 4.12.	Teknoloji Fakültesi aylık GES enerji üretim değerleri	54

Şekil 4.13.	Spor Salonu aylık GES enerji üretim değerleri	55
Şekil 4.14.	Yabancı Diller Yüksekokulu aylık GES enerji üretim değerleri	55
Şekil 4.15.	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi aylık GES enerji üretim değerleri ..	56
Şekil 4.16.	İlahiyat Fakültesi aylık GES enerji üretim değerleri	57
Şekil 4.17.	FV hücrenin genel yapısı	58
Şekil 4.18.	FV hücre, modül ve dizi tasarımları	59
Şekil 4.19.	Tek kristalli, çok kristalli ve ince film FV hücreler	59
Şekil 4.20.	a) iletken, b) yarı iletken ve c) yalıtkan malzemelerin enerji seviyeleri	61
Şekil 4.21.	Katkılama işleminde n-tipi malzeme oluşumu	62
Şekil 4.22.	Katkılama işleminde p-tipi malzeme oluşumu	62
Şekil 4.23.	P tipi ve N tipi malzemelerin birleşmesi	63
Şekil 4.24.	Alfa Solar A3S60P 275 I-V eğrisi	65
Şekil 4.25.	Alfa Solar A3S60P 275 doğrusal güç kaybı faktörü	65
Şekil 5.1.	Mühendislik Fakültesi hibrit sistem tasarımı.	68
Şekil 5.2.	Mühendislik Fakültesi günlük yük profili	69
Şekil 5.3.	Mühendislik Fakültesi mevsimsel yük profili	69
Şekil 5.4.	Mühendislik Fakültesi FV panel yıllık yük profili (kW).	70
Şekil 5.5.	Mühendislik Fakültesi dizel jeneratör yıllık yük profili (kW)	70
Şekil 5.6.	HOMER programında Mühendislik Fakültesi simülasyon sonuçları	73
Şekil 5.7.	Mühendislik Fakültesi maliyet özeti.	74
Şekil 5.8.	Mühendislik Fakültesi temel durum ve en düşük maliyetli sistem tasarımı net bugünkü maliyet karşılaştırması	75
Şekil 5.9.	Mühendislik Fakültesi önerilen sistem için aylık elektrik üretimi	76
Şekil 5.10.	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi hibrit sistem tasarımı	77
Şekil 5.11.	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi günlük yük profili.	78
Şekil 5.12.	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi aylık yük profili.	78
Şekil 5.13.	İİBF FV panel yıllık yük profili (kW)	79
Şekil 5.14.	İİBF dizel jeneratör yıllık yük profili (kW).	79
Şekil 5.15.	HOMER programında İİBF simülasyon sonuçları.	82
Şekil 5.16.	İİBF bileşenlerin maliyet özeti.	83
Şekil 5.17.	İİBF temel durum ve en düşük maliyetli sistem tasarımı net bugünkü maliyet karşılaştırması	83
Şekil 5.18.	İİBF önerilen sistemin aylık elektrik üretimi.	84
Şekil 5.19.	Öğrenci İşleri Merkezi hibrit sistem tasarımı.	86

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.20. Öğrenci İşleri Merkezi günlük yük profili.	86
Şekil 5.21. Öğrenci İşleri Merkezi mevsimsel yük profili.....	87
Şekil 5.22. Öğrenci İşleri Merkezi FV panel yıllık yük profili (kW).....	87
Şekil 5.23. Öğrenci İşleri Merkezi dizel jeneratör yıllık yük profili (kW).....	88
Şekil 5.24. HOMER programında Öğrenci İşleri Merkezi simülasyon sonuçları. ..	91
Şekil 5.25. Öğrenci İşleri Merkezi bileşenlerin maliyet özeti	92
Şekil 5.26. Öğrenci İşleri Merkezi temel durum ve en düşük maliyetli sistem tasarımının net bugünkü maliyet karşılaştırması.	92
Şekil 5.27. Öğrenci İşleri Merkezi önerilen sistemin aylık elektrik üretimi.	93



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Türkiye'nin bölgelere göre toplam güneş enerjisi ve güneşlenme süresi	16
Çizelge 3.1. Mikroşebeke bileşenleri [47].	24
Çizelge 3.2. Dağıtılmış üretim teknolojileri [48].	25
Çizelge 4.1. Mühendislik Fakültesi (a), İİBF (b) ve Öğrenci İşleri Merkezi (c) saatlik yük talebi.	46
Çizelge 4.2. FV panelin karakteristik özellikleri [72].....	64
Çizelge 5.1. Mühendislik Fakültesi hibrit sistemin optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.	71
Çizelge 5.2. Mühendislik Fakültesi durum bazında yıllık elektrik üretim ve tüketimin karşılaştırılması.	72
Çizelge 5.3. Mühendislik Fakültesi durum bazında yıllık emisyonların karşılaştırılması.	73
Çizelge 5.4. Dizel jeneratör istatistiği.	76
Çizelge 5.5. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi hibrit sistemin optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.	80
Çizelge 5.6. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi durum bazında yıllık elektrik üretim ve tüketimin karşılaştırılması.	81
Çizelge 5.7. İİBF Durum bazında yıllık emisyonların karşılaştırılması.	82
Çizelge 5.8. İİBF dizel jeneratör istatistiği.	85
Çizelge 5.9. Öğrenci İşleri Merkezi hibrit sistemin optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.	89
Çizelge 5.10. Öğrenci İşleri Merkezi durum bazında yıllık elektrik üretim ve tüketimin karşılaştırılması.	90
Çizelge 5.11. Öğrenci İşleri Merkezi durum bazında yıllık emisyonların karşılaştırılması.	91
Çizelge 5.12. Öğrenci İşleri Merkezi dizel jeneratör istatistiği.	94
Çizelge 6.1. Karabük Üniversitesi mikroşebekesinin simülasyon sonuçları.	97
Çizelge Ek A.1. KBÜ trafosu teknik özellikleri.	106
Çizelge Ek A.2. Dağıtım merkezi transformatörünün teknik özellikleri.	106
Çizelge Ek B.1. Mühendislik Fakültesi temel sistem aylık enerji kullanım listesi ..	108
Çizelge Ek B.2. Mühendislik Fakültesi önerilen sistem aylık enerji kullanım listesi	108

Sayfa

Çizelge Ek B.3. İİBF temel sistem aylık enerji kullanım listesi	109
Çizelge Ek B.4. İİBF önerilen sistem aylık enerji kullanım listesi	109
Çizelge Ek B.5. Öğrenci İşleri Merkezi temel sistem aylık enerji kullanım listesi..	110
Çizelge Ek B.6. Öğrenci İşleri Merkezi önerilen sistem aylık enerji kullanım listesi	110
Çizelge Ek C.1. FV panel A3S60P 275 teknik özellikleri	112
Çizelge Ek C.2. Gamatech 12V 80Ah batarya teknik özellikleri	113
Çizelge Ek C.3. Dizel jeneratör teknik özellikleri	114



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- A : üssel bölge genliği
k : boltzmann sabiti
K : polarizasyon voltajı
q : elektron yükü
 $\eta_{fv}(t)$: panelin saatlik verimi
 η_k : referans panel verimi
 η_t : MPPT ekipmanının verimi
 β_t : silikon hücreler için sıcaklık katsayısı

KISALTMALAR

- AR-GE : Araştırma Geliştirme
Btu : İngiliz Isı Birimi (British Thermal Units)
CO₂ : Karbondioksit
DAO : Dağıtım Ağı Operatörü
DOD : A.B.D. Savunma Bakanlığı (Department of Defense)
DOE : A.B.D. Enerji Bakanlığı (U.S. Department of Energy)
EIA : Enerji Bilgi Ajansı (Energy Information Agency)
EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
ETKB : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FV : Fotovoltaik
GEPA : Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
HOMER : Yenilenebilir Elektrik Hibrit Optimizasyon Modeli (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources)

IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
MGCC	: Mikroşebeke Merkezi Kontrolör (Microgrid Central Controller)
Mtoe	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol (Million Tonnes of Oil Equivalent)
NBM	: Net Bugünkü Maliyet
OECD	: İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı (Organization for Economic Co-operation and Development)
PCC	: Ortak Bağlantı Noktası (Point of Common Coupling)
PO	: Piyasa Operatörü
REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
SEM	: Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YK	: Yerel Kontrolör
YTM	: Yıllık Toplam Maliyet

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Modern sanayinin gelişmesi ile toplumda sosyal ve ekonomik anlamda etkili olan ve artan enerji tüketiminin, sera gazı etkisi gibi bazı çevresel problemlere neden olması yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi artırmıştır. Temiz enerji kaynaklarına olan bu talebin artış nedeni; fosil yakıtların üretiminin yüksek maliyetli olması ve çevreye zararlı emisyon salınımının fazla olması önemli ölçüde etki etmektedir. Bu gelişmeler ışığında ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarından ekolojik, sürdürülebilir bir anlayış ve maksimum verim ölçeklendirmesi ile faydalanmak oldukça önemli bir durum olmuştur [1].

Kalkınma beraberinde gelişen bir sanayi ve artan nüfusu getirmektedir ve enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Kalkınmanın göstergelerinden biri ise artan bu ihtiyaçların güvenli ve zamanında karşılanmasıdır. Kişi başına düşen enerji tüketim oranı, enerjiyi karşılayıp üretim ve tüketimi dengeleme potansiyeli vb. durumlar ülkelerin kalkınmadaki yeterlilikleri hakkında bilgi vermektedir. Yerli kaynak rezervleri yeterli olmayan ülkeler enerji ihtiyacındaki talebi karşılama ve bu duruma çözüm bulma ile karşı karşıyadır. Birçok ülke ise enerji ihtiyacını karşılama sorununu çözmeye özellikle ucuz enerji olarak görülen fosil yakıtlara yönelmektedir. Bu da dünyada fosil yakıt tüketiminin artmasına ve önemli bir diğer husus olarak enerji talebini karşılamada dışa bağımlılığa neden olmaktadır. Enerji de dışa bağımlılığın ve meydana getireceği risklerin minimum düzeye indirilebilmesi için ise yerli kaynak tüketimine, özellikle yerli teknolojilerin kullanımına ve geliştirilmesine önem ve öncelik verilmelidir. Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yenilenebilir enerji teknolojileriyle destekleyerek bu sektöre yatırımın artırılması sağlanmalı ve bölgesel enerji iş birliği projelerinde rol alınmalıdır.

Ülkemiz, coğrafi konumunun sunduğu varlıkların en önemlilerinden biri olan yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengindir. Bu temiz enerji kaynaklarının verimli bir şekilde değerlendirilmesinin desteklenmesi, yeni ve kapsamlı projelerle hayata geçirilmesi enerjide dışa bağımlılık oranını düşürmenin yanı sıra kalkınmaya da büyük katkı sağlayacaktır.

Türkiye’de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan 2012-2023 enerji stratejisi belgesine göre (20-02-2012) akıllı şebekeler için altyapı çalışmalarının başlaması öngörülmüş ve enerji depolama, enerji sistemlerindeki teknolojik gelişmeler, enerji yatırımlarının hayata geçirilmesi ve yayılmasının desteklenmesi gibi çalışmalar hayata geçirilecektir [2].

Türkiye Elektrik İşleri Etüt İdaresi mikroşebekeleri kendi başlarına kontrol edilen, dağıtılmış enerji kaynakları ile güç sağlayabilen elektrik şebekeleri olarak tanımlamıştır [3]. Mikroşebeke Enstitüsü’nün tanımında ise sınırları belli alanlarda kesintisiz enerji hizmeti oluşturmak için arz ve talebi karşılama özelliğindeki küçük enerji sistemleridir [4].

Mikroşebekeler yerel şebekelerden farklı olarak ortaya çıkmış, kontrol edilmesi kolay, dağıtık enerji kaynaklarını ve dağıtık enerji depolama ünitelerini kullanarak sistemin enerjisini sağlayan, yüksek güvenilirlikli elektrik şebekeleridir. Ana elektrik şebekesinin bir parçası olan, yerleşim, ticari ve sanayi mikroşebeke gibi temel uygulamalardan oluşan mikroşebekeler, şebeke bağlantılı ya da ada modlarında çalışabilmektedirler. Mikroşebekelerin bünyelerinde barındırdıkları dağıtılmış enerji kaynakları; fotovoltaik paneller, rüzgâr türbinleri, yakıt hücreleri, mini hidroelektrik santraller, jeotermal enerji santralleri, biyokütle enerjisi, gel-git enerjisi, içten yanmalı motorlar, kombine çevrim gaz türbinleri, gaz türbinleri, mikro türbinler ve dalga enerjisidir [5].

Dağıtık enerji depolama ünitelerini ise; süper kapasitörler (ultra kapasitörler), volanlar (Flywheels), hidrojen tankları ve süperiletken manyetik enerji depolama (SMES, Superconduction Magnetic Energy Storage) oluşturmaktadır [6].

1.1. TEZİN AMACI

Çalışmanın temel amacı Karabük Üniversitesi'nde Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ve Öğrenci İşleri Merkezi binalarında şebekeye bağlı olarak FV güneş enerjisi, dizel jeneratör ve depolama sistemleri kullanılarak bir mikroşebeke modeli tasarlamaktır.

Bu doğrultuda tezin hedefleri şunlardır:

1. Fotovoltaik sistem, dizel jeneratör, batarya ve şebekeye dayalı olarak enerji üretim sistemini her bina için 4 farklı senaryoda karşılaştırarak en uygun sistem tasarımını belirlemek.
2. Mikroşebeke sisteminin optimum boyutlandırılması gerçekleştirilirken NBM (Net Bugünkü Maliyet) amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Yani boyutlandırma esnasında mikroşebeke sisteminin maliyetinin en düşük değerde olması gerekmektedir. Ayrıca SEM'e (Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti) göre sonuçların ekonomik karşılaştırması yapılmıştır. Böylelikle enerji tüketiminde birim başına düşen en düşük enerji maliyeti (\$/kWh) ortaya konulmuştur.
3. Her binada farklı boyut ve yapıda gerçekleşen mikroşebeke sisteminin çevresel etkilerini analiz ederek çevreci ve en iyi emisyon azaltımı gerçekleştiren sistem modelini tasarlamak.
4. HOMER yazılımı üzerinde güç sisteminin simülasyonunu gerçekleştirmek.
5. Enerjinin gündüz ve gece kesintisiz bir şekilde karşılanması için sistemin güvenilirliğini sağlamak.

1.2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taraması yapıldığında mikroşebeke ile ilgili son dönemde çok sayıda çalışma ile karşılaşılmaktadır. Yapılan çalışmalar mikro ebeke mimarisinin bir bütün olarak incelemesinin yanısıra dağıtık üretim sistemlerini de detaylı olarak ortaya koymaktadır.

Lidula ve Rajapakse yaptıkları çalışmada dünyadaki mevcut mikroşebeke ağlarını incelemişler ve bazı mikroşebeke simülasyon ağlarını gözden geçirmişlerdir. Ayrıca mevcut test sistemlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bir tablo oluşturmuşlardır. Ek olarak mikroşebeke tesislerinin daha verimli kullanılması için önerilerde bulunmuşlardır [7].

Jha ve arkadaşları kırsal alan elektrifikasyonu için yeşil enerji ve hibrit mikroşebeke isimli çalışmalarında mikro-hidroelektrik santrali, rüzgar türbinleri ve fotovoltaik enerji üretim sistemleri kullanarak kırsal alanlar için yeşil ve hibrit mikroşebekelerin uygulanabilirliğini ve teknik yönlerini araştırmışlardır. Ayrıca Nepal için iki adet yeşil ve hibrit mikroşebeke sistemi sunmuşlardır [8].

Lee ve Han yaptıkları çalışmada dağıtık üretim kaynaklarının ayrıntılı incelenmiş modelini kullanarak DC mikroşebeke üzerine operasyonel analiz sonuçlarını ortaya koymuşlardır. Çalışmada C dili ile kodlanmış PSCAD / EMTDC yazılım modeli kullanılmıştır. DC mikroşebekenin hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız moda sorunsuz çalıştığını göstermişlerdir [9].

Martinez ve O'Neill-Carrillo yaptıkları çalışmada uzak bölgelerde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan mikroşebekelerin iyileştirilmeleri için tasarım ve planlama teknikleri sunmuşlardır [10].

Güneş enerjisinden yararlanılarak yapılan aydınlatma çalışmasında Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde mevcut kurulmuş olan güneş enerji santralinin PVsyst programı ile FV sistemin performans değerlendirmesi ve simülasyonu yapılmıştır. Çalışmada hesaplanan değerler ile mevcut sistemden ölçülen değerler karşılaştırılarak incelenmiştir ve sistemin performansının iyileştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur [11].

Rüzgar ve güneş enerji sistemlerinden oluşan on-grid ve off-grid modlarda çalışabilen hibrit sistem çalışması Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı için teorik olarak incelenmiştir. Daha önce bölge için yapılan çalışmalar incelenerek kabul gören veriler kullanılmıştır. Farklı maliyet ve türlerde rüzgar türbini ve güneş panelleri

kullanılarak kurulu güçleri 1-10 kW aralığında değişen on adet off-grid modda, 15-45 kW aralığında değişen altı adet on-grid modda tamamı onaltı adet olan elektrik enerjisi üretim senaryoları oluşturulmuş ve maliyet analizi çalışması yapılmıştır [12].

Altaş ve Mengi yaptıkları çalışmada ev üzerine yapılan çalışmalar için bir FV güç kaynağı tasarımı yapmışlar ve kullanımını irdelenmişlerdir. Devrede DC/AC invertörler kullanılarak güç denkleştirme yapılmış ve enerjiden daha verimli yararlanılması için çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarını MATLAB/Simulink ile modelleyerek radyasyon ve sıcaklık seviyeleri değişimleri altında doğrulamışlardır [13].

Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak çalışabilen hibrit sistemler kullanılarak yapılan bir çalışmada Türkiye’de pilot bir bölge belirlenerek bölgenin yenilenebilir enerji potansiyeli araştırılmış ve kullanılacak hibrit sistemin maliyet analizi yapılmıştır. Ayrıca elektrik üretimi için kullanılacak olan güneş ve rüzgar enerji sistemlerinden kaynaklı bazı problemlerin çözümüne ilişkin çalışılmıştır [14].

Tanim ve arkadaşları FV güneş paneli ve biyokütle enerjisi tabanlı hibrit sistemini Bangladeş’te kırsal alanlar için uygulamışlar ve sistemin optimizasyonu için HOMER yazılımını kullanmışlardır. Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız modlarda yaptıkları optimizasyon çalışmasının güvenilir ve düşük maliyetli bir sistem olduğunu ortaya koymuşlardır [15].

Bhattacharjee ve Dey FV güneş enerji panelleri ve biyokütle enerjiden oluşan hibrit sisteminin şebekeye bağlı modda pirinç kabukları kullanılarak enerji üretiminin fizibilitesini yapmışlardır. HOMER yazılımını kullanarak yapılan çalışmada sistemin tekno-ekonomik analizi yapılmıştır [16].

Eziyi ve Krothapalli kırsal alanlarda uygulanması için tasarladıkları hibrit sistem modelinde FV güneş paneli, batarya ve biyokütle jeneratörü kullanmışlardır. Petrol ve dizel yakıtların kullanılarak elektrik üretimi yapılan sisteme göre %30 oranında daha ucuz elektrik üretmişler ve analizlerinde HOMER yazılımını kullanmışlardır [17].

Sigarchian ve arkadaşları çalışmalarında Kenya’da bir köye FV paneller, rüzgar türbini ve biyogaz jeneratörünü içeren hibrit bir sistem tasarımının uygulanmasını HOMER yazılımı ile net bugünkü değer maliyet analizi ve seviyelendirilmiş enerji maliyetini gerçekleştirmişlerdir [18].

Ho ve arkadaşları çalışmalarında Malezya’da “Smart Eco-Village “olarak isimlendirdikleri FV güneş panelleri ve biyokütle enerjisinden oluşan hibrit sistemi modellemişlerdir. Düşük maliyetli bir köy modeli hazırlamak için birleşik tamsayı-linear programlama modeli geliştirip, gerçek zamanlı kısıtlamaları dikkate alarak en uygun kaynak dağılımını ve batarya grubunu oluşturmuşlardır [19].

Maliyeti en aza indirmek için bir takım maliyet denklemleri ortaya konulmuştur. Hibrit sistemlerde kullanılan toplam net bugünkü değer (TNBD) metodu sistemin ekonomik analizi için en yaygın kullanılan yöntemlerin bir tanesidir. İşletme ve bakım maliyetleri, ilk yatırım maliyetleri, yakıt maliyetleri ve hurda fiyatlandırması toplam net bugünkü değer olarak ifade edilir. Başka bir maliyet analiz metodu ise yıllık toplam maliyettir (YTM). Bu metod toplam net bugünkü değerın yıllık gösterimidir. Bir başka ekonomik değerlendirme yöntemi ise yaygın olarak kullanılan seviyelendirilmiş enerji maliyetidir (SEM). Bu yaklaşımda üretilen enerjinin kWh başına maliyeti hesaplanır [20].

BÖLÜM 2

GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIM ALANLARI VE ÖNEMİ

Genel olarak iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerji, ulusal ve uluslararası düzeyde ekonomik ve sosyal hayatın gelişebilmesi ve ilerleyebilmesi için önemli bir unsurdur. Günümüzde sanayileşmenin artması, teknolojinin gelişmesi ve nüfus artışına bağlı olarak ihtiyaçların artması enerjiye olan talebi ve arzı arttırmıştır. Günlük hayatta en çok kullanılan ve faydalanılan enerji zamanla ülkelerin kalkınması ve büyümesi için küresel ölçekte bir güç unsuru olmuştur.

Enerjinin çeşitli yöntem ve teknikler kullanılarak ticari bir ürün özelliği kazanması ile çeşitli enerji kaynakları ortaya çıkmıştır. Doğada çeşitli formlarda bulunan enerji, fosil kökenli olan, fosil kökenli olmayan veya diğer bir ifade ile yenilenemeyen enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları, kullanıldıktan sonra kendini yenileyemeyen, doğada sınırlı miktarda bulunan ve oluşumu uzun yıllar süren enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarına, konvansiyonel enerji kaynakları ya da birincil (primer) enerji kaynakları da denilmektedir. Kömür, petrol, doğalgaz fosil kaynaklı yenilenemeyen enerji kaynaklarını oluştururken fosil kaynaklı olmayıp yenilenemeyen enerji kaynaklarını ise nükleer enerji oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı, doğal kaynak tabanından elde edilmektedir ve sayısız olarak kendini yenileyebilen bir enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağına sürdürülebilir enerji kaynağı ya da alternatif enerji kaynağı da denilmektedir. Güneş enerjisi, hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, biyoyakıtlar (biyokütle, biyomas), hidrojen enerjisi ve dalga enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarını oluşturmaktadır [21].

Besinlerin üretilmesi, ışık ve sıcaklık elde etme, makine ve araçların çalıştırılması, sanayi, konut ve ulaştırma gibi günlük hayatta birçok alanda enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. Eskiden insan ve hayvan gücünden faydalanılarak elde edilen enerjinin

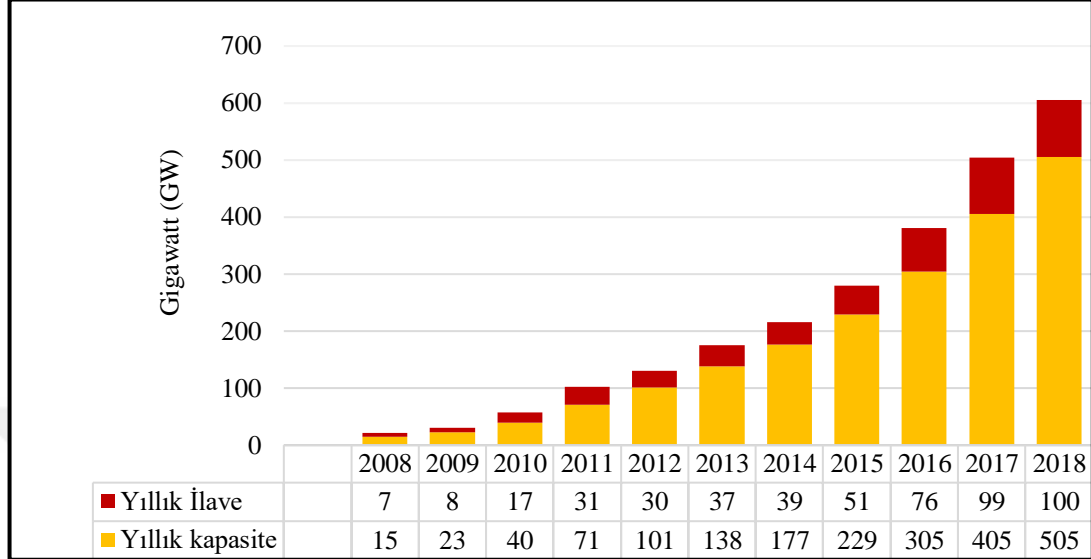
zamanla görünümü değişmiştir ve çeşitlenmiştir. Eski çağlarda yemek pişirme, ısınma el sanatlarında kullanılan odun ve odunsu bitkiler, tarihi çağların başlarında da ısınma ve el sanatlarında kullanılmaya devam etmiştir. Daha sonra insanlar yelkenli gemiler ve yel değirmenleri yaparak su ve rüzgarın gücünden faydalanmıştır. 18. yüzyılın sonlarında kömürle çalışan buhar makinelerinin icat edilmesi ile sanayi devrimi başlamıştır ve enerjinin ekonomik gücü ortaya çıkmıştır. 19. yüzyılın ikinci yarısında dinamo ve türbinin bulunuşu ile yeni bir enerji kaynağı olan beyaz kömür (hidrolik enerji) kullanılmaya başlanmıştır. Bu enerji kaynağından büyük akarsulardan elektrik üretiminde faydalanılmıştır. 20. yüzyılda ise enerji ekonomisine petrol ve doğalgaz girmiştir. Başlarda ısınma ve yemek pişirmede kullanılan doğalgaz, zamanla termik santrallerde de kullanılmaya başlamıştır. Daha sonra uranyum elementinin keşfedilmesi ile birlikte nükleer enerji kaynağı ortaya çıkmış, elektrik elde etme ve bazı özel alanlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir bölümü yenilenemeyen fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Sınırlı olan bu enerji kaynaklarının sınırsız ihtiyaçları karşılamadaki yetersizliği enerji konusundaki çalışmalarını hızlandırmıştır. Özellikle petrol ve kömürün egemenliğine dayanan enerji kullanımı, 1973 yılında yaşanan petrol krizinin ardından bazı ülkelerin enerji güvenliğinin tehdit altına girmesi ve fosil kaynakların çevresel zararlarının artması sonucu çevre bilincinin ortaya çıkması ile yeni enerji kaynak arayışı başlamıştır. Özellikle çevreci ve sürdürülebilir olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik yatırımlar artmıştır [21]. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları, toplam enerji kullanımının yaklaşık beşte birini oluşturmaktadır.

2.1. DÜNYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

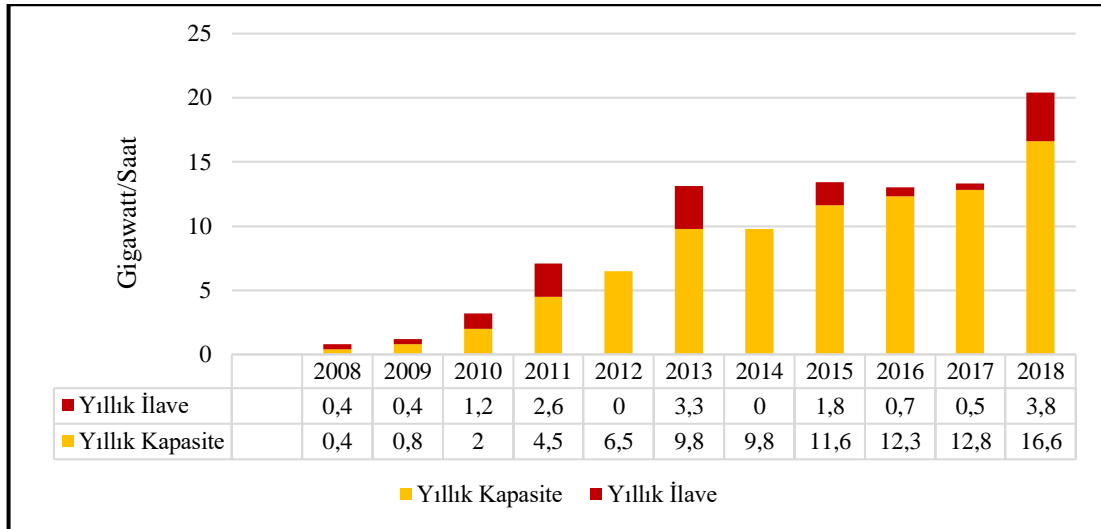
Doğadaki bütün enerji kaynaklarının orijini olan güneş, insanoğlunun faydalandığı en eski enerji kaynağıdır. Isıtma, soğutma, kurutma, tuzlu suyun damıtılması, elektrik üretimi gibi birçok uygulamada kullanılan güneş enerjisi teknolojileri fotovoltaik güneş enerjisi teknolojileri ve ısıl güneş teknolojileri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Fotovoltaik güneş enerjisi teknolojileri, güneş pilleri olarak da bilinmektedir. Yarı iletken olan güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını direkt enerjiye dönüştürerek elektrik enerjisi üretmektedir. Isıl güneş enerjisi teknolojilerinde

ise güneş ışınları belirli bir noktada konsantre edilerek ısı ve elektrik enerjisi elde edilmektedir. Güneş ışınlarını yoğunlaştırmak için aynalar kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. 2008-2018 yılları arası FV güneş enerjisi yıllık ilave ve kapasitesi [22].

2018 yılında FV'nin küresel pazar içindeki payı artarak 100 GW olmuştur. Kümülatif kapasitesi ise % 25 oranında artış göstererek 505 GW'a ulaşmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.2. 2008-2018 yılları arası ısıl güneş enerjisi yıllık ilave ve kapasitesi [22].

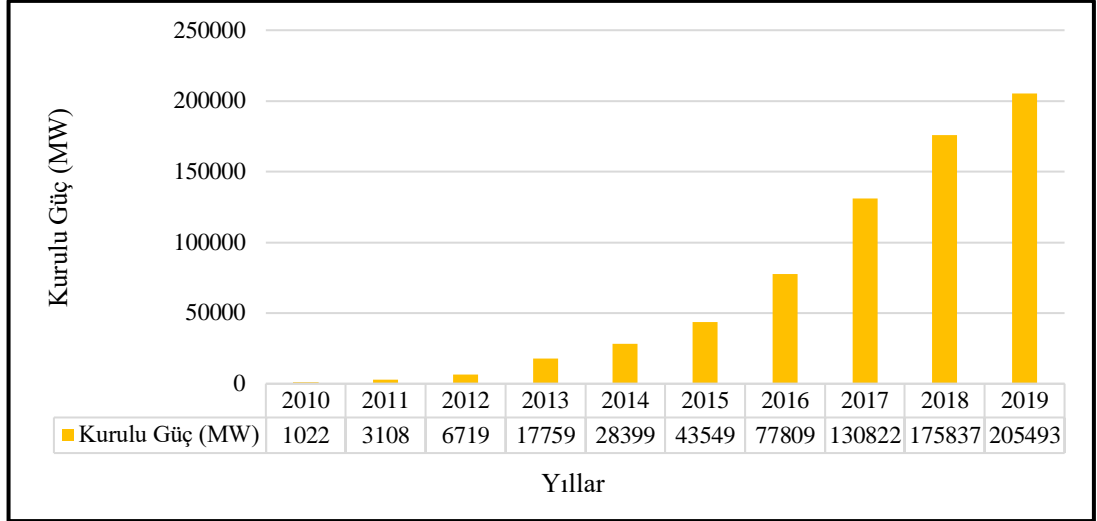
Isıl güneş teknolojilerinde 2008- 2018 yılları arasında dalgalanmalar olsa da 2008 yılında 0,4 olan yıllık kapasitesini 2018 yılında 16,6 GW'a çıkararak küresel pazarda büyüme yakalamıştır (Şekil 2.2).

Güneş sistemindeki yaşamın devam etmesi güneşin sağladığı enerji sayesinde gerçekleşmektedir. Bir saatte güneşten dünyaya varan enerji dünyanın neredeyse bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilecek seviyededir. Diğer bir ifadeyle bu enerji dünyadaki diğer enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin ortalama 5000 katıdır [23].

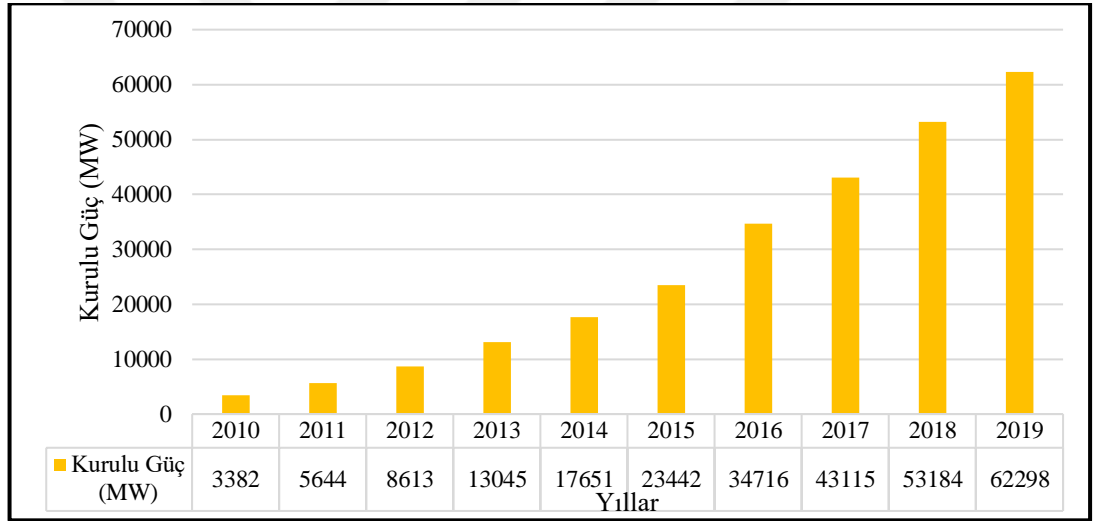
Güneş yeryüzündeki canlı hayatının temel kaynağı olduğu gibi, bütün enerji türleri doğrudan veya dolaylı olarak güneş enerjisine bağlı olarak meydana gelmiştir. Güneş enerjisi bilinen en eski birincil enerji kaynağı olduğu gibi temiz, yenilenebilir özellikte olup, dünyamızın her tarafında fazlasıyla bulunmaktadır [24].

Özellikle 1970'li yıllarda yaşanan krizin ardından yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte güneş enerjisi de gelişmeye başlamıştır. Bu enerji kaynağının çevreci, sürdürülebilir, verimli ve tükenmez olması ulusal ve uluslararası düzeyde ilgiyi üzerine çekerek geleneksel enerji kaynaklarına karşı güçlü bir alternatif olarak görülmeye başlanmıştır. Geçmişten günümüze insanlar için önemli bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi, geleceğin enerjisi olarak görülmüştür.

Güneş enerjisinin uluslararası öneminin artması ile bazı ülkeler güneşlenme potansiyelini ve teknolojisini, bazı ülkeler ise güneşlenme potansiyeli bakımından dezavantajlı olmasına rağmen yüksek teknolojisini kullanarak kurulu gücünü arttırarak küresel pazarda söz sahibi olmuştur. Güneşlenme potansiyelini ve ileri teknolojisini kullanan Çin, güneş enerjisinde önemli bir gelişme gösterirken ABD, Japonya ve Almaya gibi ülkeler ise ileri teknolojileri sayesinde kurulu güç kapasitesini arttırarak dünyada öncü olmuştur. Güneşlenme süresi ve potansiyeli bakımından oldukça güçlü bir konumda yer alan Türkiye ise kurulu gücünü arttırarak bu sektörde yer edinmeyi hedeflemektedir.

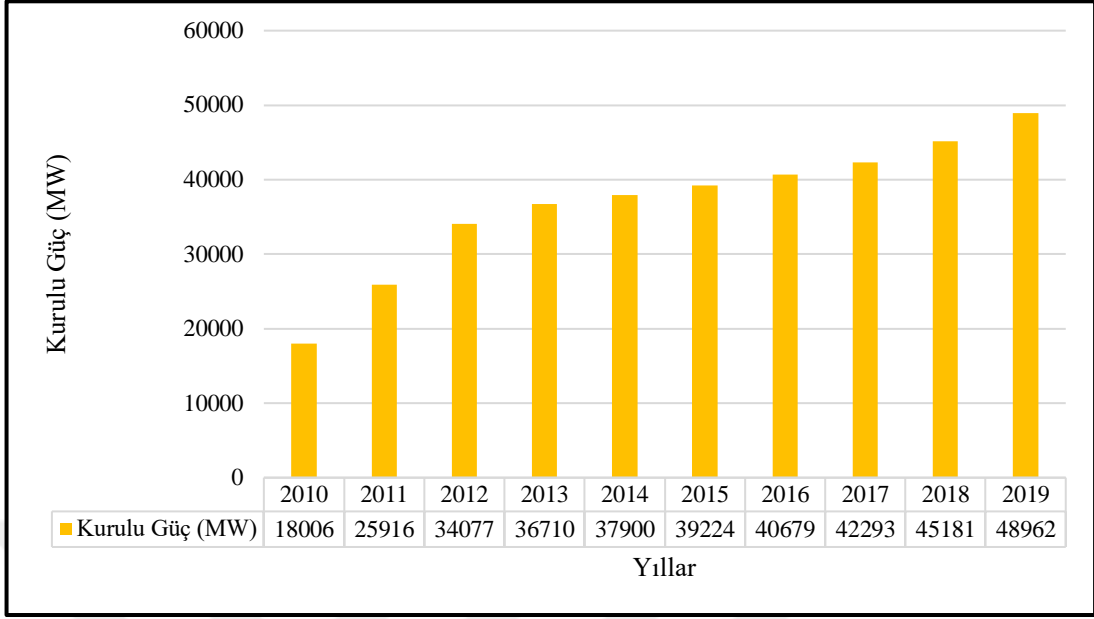


Şekil 2.3. Çin'in yıllara göre kurulu gücü [25].

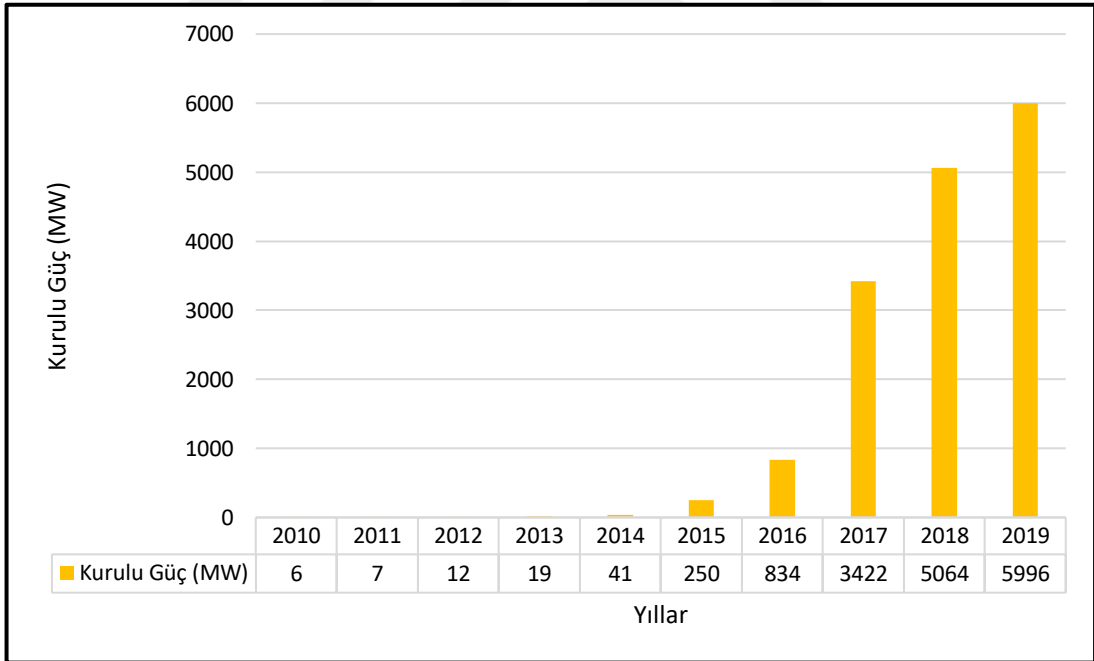


Şekil 2.4. ABD'nin yıllara göre kurulu gücü [25].

2010-2019 yılları arasında Çin ve ABD'nin güneş enerjisi kurulu gücü sürekli bir artış göstermiştir. Çin 2019 yılında kurulu gücünü 205 493 MW'a, ABD ise 62 298 MW'a çıkarıp güneşlenme potansiyeli ve teknolojisini kullanarak küresel pazarda söz sahibi olmuştur (Şekil 2.3, Şekil 2.4).



Şekil 2.5. Almanya' nın yıllara göre kurulu gücü [25].

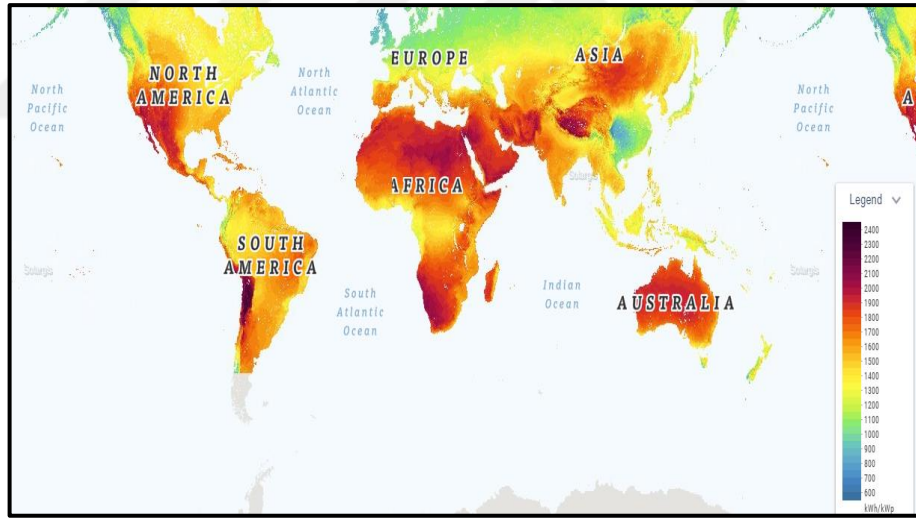


Şekil 2.6. Türkiye' nin yıllara göre kurulu gücü [25].

Almanya 2010-2019 yılları arasında kurulu güçte devamlı bir artış trendi göstermiş ve 2019 yılında kurulu gücünü 48.962 MW'a çıkarmıştır (Şekil 2.5). Türkiye ise 2010 yılından itibaren kurulu gücünü artırarak 2019 yılında 5996 MW'a çıkarmıştır (Şekil 2.6).

Yeryüzüne gelen güneş enerjisi, yıl içerisinde ve gün boyunca değişiklik göstermektedir. Dünyanın farklı bölgelerine düşen güneş enerjisi, dünyanın hem kendi çevresinde hem de güneşin çevresinde dönmesi nedeniyle farklılık göstermektedir. Güneş enerjisinin büyüklüğü; atmosferin dışında yaklaşık 1370 W/m^2 şiddetinde olup dünya atmosferinde $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasında değişmektedir [26].

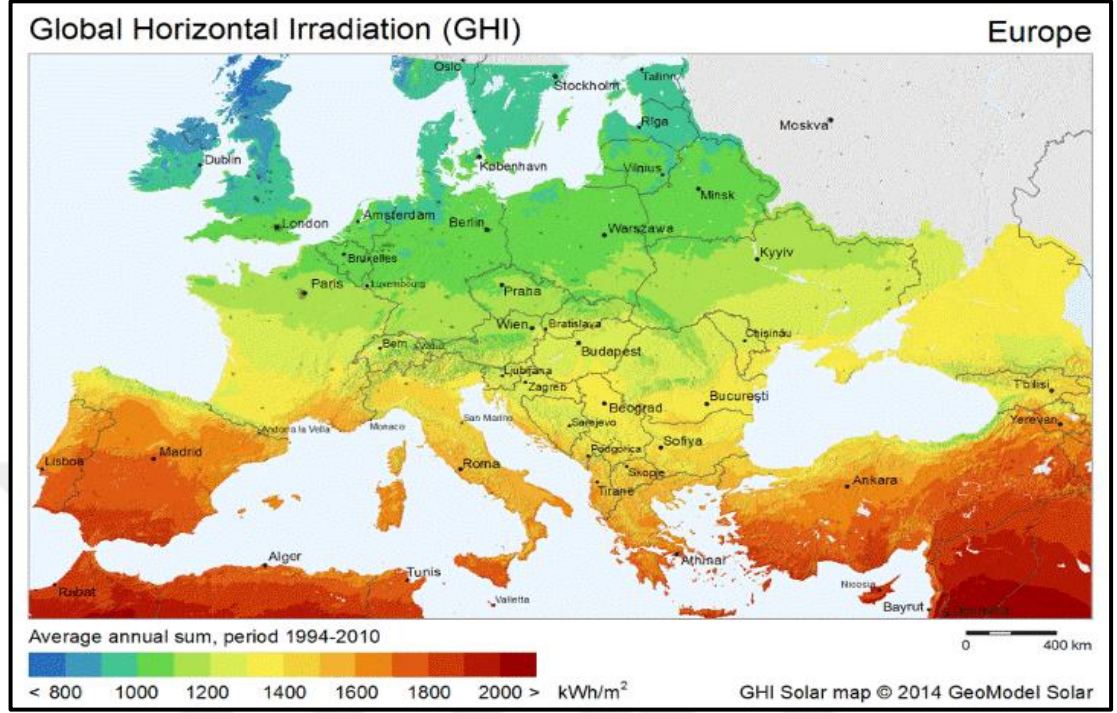
Dünyanın şekli, eksen eğikliği, bulutluluk, yağış, nemlilik, topografya, atmosferde bulunan toz partikül miktarı gibi faktörler güneş radyasyonunun yeryüzüne geliş açısını ve süresini etkilediği için dünyanın her yeri güneş radyasyonundan eşit şekilde faydalanamamaktadır. Dünya’da 45° kuzey ve 45° güney paralelleri güneş enerjisi potansiyeli açısından en verimli sahalardır. Güneş enerjisinin dik ve dike yakın bir şekilde geldiği bu sahalar güneş enerjisi kuşağı ya da güneş kemeri olarak adlandırılmaktadır. Ekvatordan kutuplara doğru gidildikçe güneş radyasyonunun yeryüzüne geliş açısı daraldığı için verimlilik azalmaktadır.



Şekil 2.7. Dünya güneş potansiyeli atlası [27].

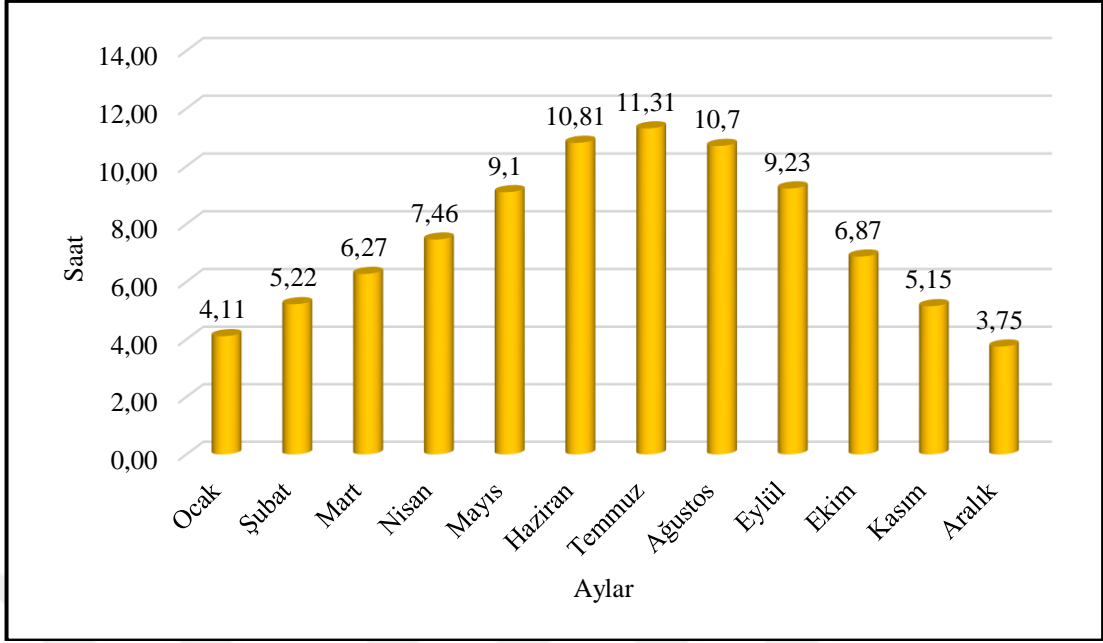
Avustralya, Afrika ve Asya kıtası, ile Meksika ve ABD güneş radyasyonu ve güneşlenme potansiyelinin en fazla olduğu bölgelerdir. Bu bölgelerde yıllık ortalama güneşlenme süresi yaklaşık olarak 1700 ile 2400 kWh/m^2 arasındadır (Şekil 2.7).

2.2. TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

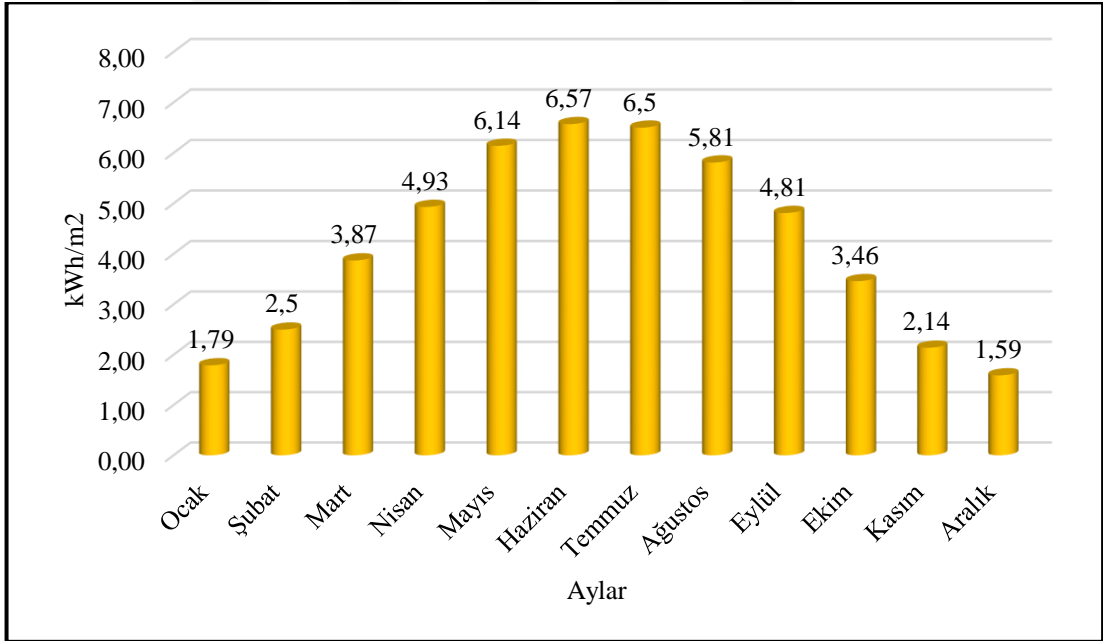


Şekil 2.8. Türkiye'nin Avrupa ülkelerine göre güneşlenme potansiyeli atlası [27].

Avrupa ülkelerine göre oldukça avantajlı bir konumda olan Türkiye'de yıllık ortalama güneşlenme potansiyeli 1200 kWh'in üzerindedir. Üretici firmalar yıllık ortalama 1200 kWh/m² güneşlenme potansiyeline sahip bölgelerin güneş santralleri için uygun olduğunu belirtmektedir (Şekil 2.8). Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılan çalışmaya göre 1996-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerine göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti yıllık 1527,46 kWh/m², günlük ise toplam 3,6 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir [28].



Şekil 2.9. Türkiye'nin aylık güneşlenme süresi.



Şekil 2.10. Türkiye'nin aylık radyasyon değerleri.

Çizelge 2.1. Türkiye'nin bölgelere göre toplam güneş enerjisi ve güneşlenme süresi.

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m²-yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
GÜNEYDOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

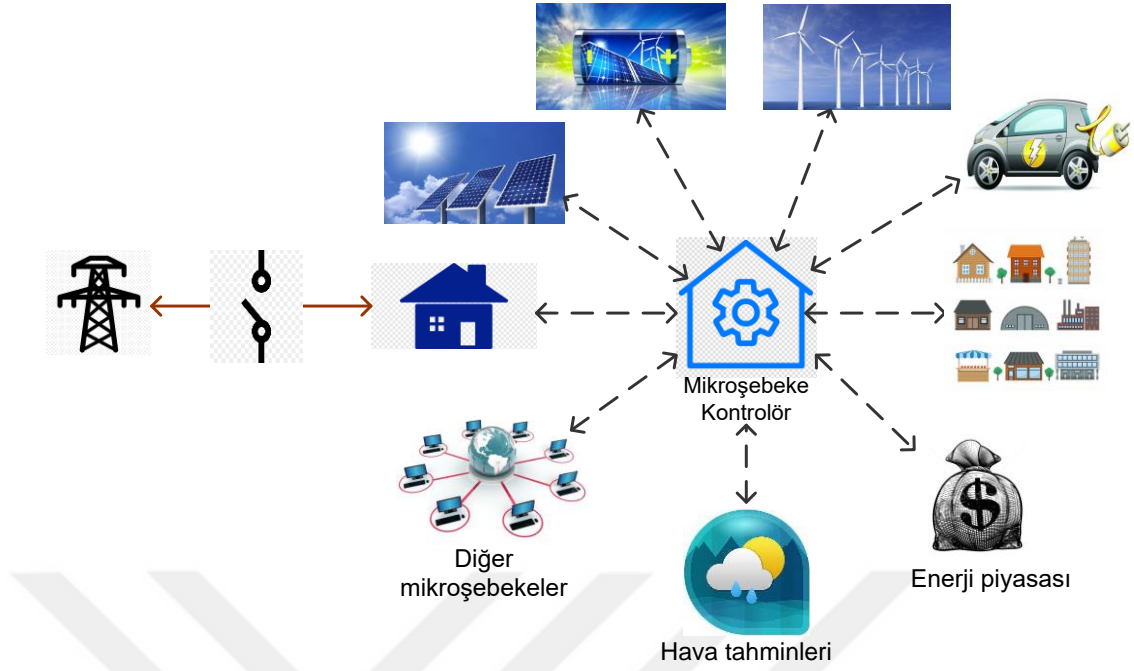
Türkiye'de güneşlenme süresi en fazla temmuz ayında, en az aralık ayındadır. Global radyasyon ise en fazla ay Haziran ayında, en az ay Aralık ayındadır. Güneşlenme potansiyeli bakımından Güney Doğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi en avantajlı durumdayken Karadeniz Bölgesi ve Marmara Bölgesi'nde güneşlenme potansiyeli daha düşüktür (Şekil 2.9; Şekil 2.10; Çizelge 2.1) [28].

BÖLÜM 3

MİKROŞEBEKELER

Bir mikroşebeke tek bir sistem gibi birlikte çalışarak, kaynakların ve şebekenin kendi başlarına yada birlikte işlev görmelerini sağlayan yerel ve yerinde dağıtılmış enerji kaynaklarının (DEK) bir bütünüdür. Mikroşebekeler yerinde üretim ve depolama kaynaklarını akıllıca yönetmek ve optimize etmek için kontrol teknolojilerinden yararlanarak işletmelerin ekonomisine ve enerji kullanımına avantajlar sağlayıp otomatik olarak seçimler yapmalarını sağlayan sistemlerdir.

Mikroşebekeler, yerel enerji kaynaklarını kullanarak talep tarafı yüklerini ve kaynağın ihtiyaçlarını düzene sokar ve bu sayede verimliliğin artmasını sağlayarak meydana gelebilecek problemleri de öngören ve kontrol sistemleri ile otomatikleştirilirler. Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi kendisinde bağlı bulunan yüklerin internet ve ağ bağlantılarını kullanarak bir kontrol sistemi oluşturan bu akıllı otomasyonlar, kaynakları bir araya getiren sensörler ve güç elektroniği ara yüzleriyle gerçek zamanlı bilgileri bulut tabanlı deposu ile birleştirir. Devamın da ise mikroşebeke kontrolör, dağıtık enerji kaynaklarını denetlemede veriler kullanır, hava şartlarını ve enerji taleplerini takip ederek, kullanıcının isteklerini karşılamada doğru analiz ile hangi enerji kaynaklarını devreye alacağına karar verir. Ayrıca olası bir fırtınayı bildiren hava durum tahmini aldığı zaman güneş enerjisinden bataryaya geçmek üzere programlanabilir [29].



Şekil 3.1. Mikroşebeke ağı.

Mikroşebekeler şebekeye bağlı kullanımının yanı sıra, şebekeden bağımsız veya her ikisini birden sağlayabilecek yapıdadırlar. Bazı mikroşebekeler ana elektrik şebekesinin olmadığı kırsal alanlarda ada modunda (island-mode) sınırlı bir sistemi çalıştırmak için yerleştirilebilir. Enerji sistemine mikroşebeke teknolojisinin eklenmesi, güneş enerjisini ve diğer DEK'leri en üst düzeyde fayda sağlayacak yollarla kontrol etmeye ve kullanmaya olanak sağlar. Örnek vermek gerekirse ana şebekede elektrik kesintisi meydana geldiğinde ya da enerji ihtiyacının yoğun olduğu dönemlerde kendisine bağlı enerji kaynaklarını kullanmaya ayrıca gücünün en avantajlı olduğu zamanlarda şebekeye satma imkanı sunar. Diğer bir deyişle bir mikroşebeke DEK'lerin tüm kilidini açar ve kaynakların değerini en üst düzeye çıkarmaya olanak sağlar [30].

Campbell mikroşebeke sistemini, genel elektrik şebekesinden bağımsız küçük yada bölgesel elektrik sistemi olarak tanımlamaktadır. Sistem bileşenlerine örnek olarak da yenilenebilir enerji kaynaklarını, yakıt hücrelerini dizel jeneratörleri, birleşik ısı ve güç sistemlerini (combined heat and power CHP system) vermiştir [31].

A.B.D. Enerji Bakanlığı (DOE) mikroşebekeyi belli elektriksel sınırlar çerçevesinde tek bir kontrol edilir varlık olarak görev yapan, birbirine bağlı yükler ve dağıtık enerji

kaynaklarıyla (DEK) bağlanmış enerji kaynakları grubu olarak tanımlar [32]. Ayrıca mikroşebekede güvenilirlik sorunlarının temel nedeninin hava olduğunu, yıldırım çarpması, kar yağışı, şiddetli rüzgar, buz ve öngörülmedik sıcak havalardan sebep olduğunu açıklamıştır [33].

Dağıtılmış enerji kaynaklarını kullanarak ana elektrik şebekesinden bağımsız olarak çalışan mikroşebekeler ise ada modunda (island-mode) çalışıyor olarak tanımlanmaktadır. Ada modunda çalışan mikroşebekelerin kullanım alanı en yaygın olarak elektrik şebekesinin ulaşmadığı kırsal alanlarda yer bulmaktadır. Temel ihtiyaçlardan olan sulama ve aydınlatma gibi gereksinimler için basit bir mikroşebeke sistemi yeterli olacaktır. Nijeryanın kuzeyinde ortalama 50 hanelik bir köyün elektriği için geliştirilen bir proje örnek olarak gösterilebilir. Sistem güneş panelleri, 60 metre derinden çekilen suyun kullanılarak elektrik üretildiği bir pompa-türbin, enerjiyi depolama için akü grubu ve dizel motordan oluşmaktadır. Stoppato ve arkadaşları bu temel mikroşebekenin optimizasyonu için çalışmıştır [34].

Rüzgar enerji sistemi (RES), güneş enerji sistemi (GES) ve diğer dağıtılmış enerji kaynakları (DEK) ile birleştirilmiş bir mikroşebeke, önemli enerji kesintilerine karşı tercih edilebilir bir çözüm olabileceği gibi günümüzde merkezi güç şebekelerinin de tamamlayıcı unsuru olabilir [35]. Bunun yanı sıra, mikroşebekeler nispeten düşük kapasiteli olduklarından tedarikçi ve yük arasındaki farklı güç değişimlerine cevap vermede zorluklar yaşanabilir [36]. Bu nedenle enerji kaynaklarının en optimal kullanımını sağlanmadan mikroşebekeye yatırım doğru olmayacaktır. Optimizasyon işlemi en uygun maliyeti yada mevcut sınırlı koşullar altında erişilebilir en yüksek performansa sahip bir dizi çözümün en uygun olanını bulmaktır [37]. Bu nedenle optimizasyon yöntemleri, araçları ve uygulamaları son dönemlerde araştırmalar için en çok aranan konulardır. Özellikle hibrit güç kaynaklı mikroşebekelerin optimizasyonunun gerekliliği üzerine çalışmalarda bulunmaktadır.

Mikroşebekenin sağladığı avantajları şu şekilde sıralanabilir;

1. DEK'leri şebekeye bağlı yada bağımsız kullanmaya olanak sağlar.
2. Şebeke kesintisinde çalışmaya devam eder ve çalışmama süresini önler.

3. Kendi kendine güneş enerjisini tüketir.
4. Enerjiyi depolar.
5. Enerjiyi şebekeye geri satar.
6. Enerji kullanımını izlemeye ve yönetmeye olanak sağlar.
7. Para kazandıran gelir akışlarından ve enerji tasarrufu fırsatlarından yararlanır.

Mikroşebekelerin kullanım alanının en yaygın olduğu yerler;

1. Kurumsal kampüsler
2. Veri merkezleri
3. Endüstriyel tesisler
4. Üretim tesisleri
5. Hükümet tesisleri
6. Su arıtma tesisleri
7. Üniversiteler, okullar, hastaneler
8. Laboratuvarlar ve AR-GE merkezleri
9. Askeri üsler
10. Limanlar

Mikroşebekeler aşağıda sıralanan birçok alanda ve konuda zorluklarla ve belirsizliklerle karşı karşıya kalmaktadır;

1. Hükümet politikası ve düzenlemesi
2. Hizmet tarifeleri ve sözleşmeleri
3. Finansman ve risk yönetimi
4. Arabağlantı ve birlikte çalışabilirlik
5. Kaynak planlaması ve sistem bileşenleri
6. Teknolojinin kullanımı ve yakıt arz eğilimleri [38].

Mikroşebekelerin çalışmasında dağıtık enerji kaynakları ve teknolojiler şunlardır;

1. Mikroşebeke kontrol sistemi

2. Enerji yönetim sistemleri
3. Depolama sistemleri
4. Gaz veya dizel kojenerasyon / CHP (Kombine ısı-güç sistemleri)
5. Yakıt pilleri ve mikro türbinler
6. Fotovoltaik modüller
7. Rüzgar, biyokütle ve küçük hidroelektrik [38].

3.1. MİKROŞEBEKE KULLANIM TÜRLERİ

Mikroşebekeler kullanım türlerine ve enerji depolama kapasitelerine göre şu şekilde sıralanabilirler:

3.1.1. Kampüs/Kurumsal Mikroşebeke

Bu tip mikroşebekelerin avantajı üretim ve tüketim birimlerinin tümü sınırlı bir alan içerisinde toplanmış olması ve tek merkezden yönetilebilir olmasıdır. Kullanım alanı sadece üniversite kampüslerini kapsamayıp tıpkı bir kampüs özelliği taşıyan şehir hastanelerinde içermektedir. Ana hedef enerji maliyetinin düşürülmesidir. Ana şebekede uygulanan tarifelerin yüksek olduğu dönemlerde yüklerin peak tüketimlerini düşürmek adına fotovoltaik paneller ve kombine ısı ve güç santralleri (KIGs) vb. kaynaklar kullanılarak şebekeden elektrik alımı minimuma indirilir. Kojenerasyon (ısı-güç) veya trijenerasyon (güç-ısıtma-soğutma) sistemler ile enerji optimizasyonu sağlanmaya çalışılır. Başarılı bir model olan bu sistemler sınırları 4 ile 40 MW arasında değişiklik gösterebilen büyük ölçekli bileşenlere sahiptirler [39,40].

Kaliforniya'nın Alameda County Santa Rita Hapishanesinde uygulanan CERTS (Elektrik Güvenilirliği Teknoloji Çözümleri Konsorsiyumu) mikroşebeke yaklaşımı kurumsal mikroşebeke için iyi bir örnek olmuştur. Sistem 1.2 MW'lık fotovoltaik panel, iki adet 1.2 MW'lık dizel jeneratör, 1 MW'lık yakıt hücresi ve 2 MW – 4 MW'lık Lityum Demir Fosfat (AC-AC gidiş-dönüş verimi yüksek olduğu ve diğer pil teknolojilerine oranla gelişmiş kimyasal ve termal kararlılık sağlar) elektrik depolama üniteleri, hızlı bir statik bağlantı kesme anahtarı ve güç faktörünü düzeltmek için kapasitör bankası içermektedir. Kullanılan kaynaklar güvenilirliği yüksek oranda

şebeke ile veya ada modunda çalışabilmekte ayrıca arıza, gerilim düşmesi vb. durumların yanısıra güç kalitesinin düşmesinde de şebekeyi keserek güç akışını sağlamaktadır [41].

3.1.2. Ana Şebekeden Uzak ve Kırsal Mikroşebekeler

Bu şebeke türü ana şebekeye bağlı olmadan çalışan sistemlerdir. Gelişme sürecinde olan ve az gelişmiş ülkelerde 1 milyarın üzerinde insan güvenilir elektriğe erişim sağlayamamaktadır. Elektrik üretimi genel olarak dizel jeneratörler kullanılarak sağlanır ancak bu durumda yakıt maliyeti yükselmektedir. Enerji kaynağı ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir kaynakları kullanılmakta ve mikroşebekeler elektriği sağlamada en iyi çözüm olmaktadır [42].

Fosil yakıtlara göre çevreye çok daha az zararlı olan temiz enerji kaynakları ile depolama ünitelerinin oluşturduğu uzak mikroşebekeler bu lokasyonda yaşayan insanlara geceleri elektrik kullanım imkanında sunabilir. Kaynak seçiminin bölgeye uygun yapılması ve kullanıcı taleplerinin doğru anlaşılacak şekilde optimize edilmesi ile tüm mikroşebeke yaklaşımlarına uyan tek merkezden kontrol edilen model yapısında olmasına gerek yoktur. Yukarıda örnek olarak verilen Nijerya'nın bir köyündeki çalışma gibi şebekeden uzak köy ya da adalarda kullanımı yaygındır.

Uzak mikroşebekeler enerji kapasiteleri en düşük mikroşebekeler olmalarının yanı sıra tüm mikroşebeke çeşitleri içinde en çok sayıda kurulum yapılan türüdür. Bu mikroşebekelerde gelişmiş ülkelerdeki gibi dağıtık enerji kaynakları, güç elektroniği arayüzleri, veri sağlama ve haberleşme teknolojileri kullanılarak gelişen ülkelerinde akıllı şebekeler dünyasına geçişini sağlamaktadır [40].

3.1.3. Askeri Üs Mikroşebekeler

U.S. DOD (ABD Savunma Bakanlığı) yaptığı tanımda askeri mikroşebekeyi entegre bir sistem olarak ana elektrik şebekesinden ayrılabilen ve bağımsız bir sistem gibi çalışabilen birbirine bağlı yükler ve enerji kaynaklarından oluşan sistemler olarak tanımlamıştır [43].

Askeri üs mikroşebekelerin kurulum amacı bir tesisin güvenilir elektrik ve yakıt kaynaklarına ulaşabilme potansiyeli ile bunları ana elektrik şebekesinde oluşabilecek uzun süreli kesintilerde kritik yüklerini karşılayabilmek için gereken enerjiyi optimum düzeyde kullanmak ve sağlamaktır. Diğer bir amaç ise fiziksel yada siber saldırılara karşı askeri üsde enerji güvenliğini sağlamak için kurulurlar.

3.1.4. Topluluk Mikroşebekeleri

Genel olarak müstakil konut müşterilerini kapsayan yerleşim mikroşebekeleri tamamen merkezi olmayan binaya entegre edilerek şebeke elektriğinde kesinti olması halinde kullanıcılara güvenli enerji sunmaktadırlar. Müşteriler tarafından enerji kaynaklarının kontrol edilebilmesi ve yüklerin mevcut şebeke ağına da bağlı olmaları bu yaklaşımın avantajlarından. Bu şebeke türlerinin çoğunda FV panelleri ve depolama üniteleri kullanılarak elektrik şebekesinden etkin bir şekilde tam özerklik sağlamaya çalışılmaktadır. Diğer birkaç uygulama alanı ise elektrikli araç şarj istasyonları ve ev ya da mahalle enerji depolama sistemlerini içerir. Gün boyunca FV panellerinden üretilen fazla elektriğin depolama ünitelerini şarj etmesi sayesinde gecede enerji ihtiyacı karşılanabilecektir [44,45].

Enerji verimliliğinin artırılması, güvenli enerji sağlama seviyesinin yükseltilmesi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması amaçlanarak toplulukların elektriği kullanma biçimleri kapsamlı olarak değiştirilmesi hedeflenmektedir. Tüm bunların yanı sıra binaya entegre mikroşebeke dağıtım sisteminin yüksek maliyetli olması, dağıtık kaynakların ve yüklerin planlanarak stratejik kullanımı hakkında tüketicilerin yeterince bilgisinin olmaması ve düzenleme sorunları vb. nedenler topluluk mikroşebekelerinin temel problemleridir. Çözüm olarak mikroşebekeler için ekonomik iyileştirme sağlanmalı, belirsiz şartlar altında fayda ve maliyet analizine dayalı yatırım çalışmalarıyla verimli planlama modelleri oluşturulmalıdır [46].

3.2. MİKROŞEBEKENİN BİLEŞENLERİ

Mikroşebekeler genellikle merkezi bir işlem birimi, enerji depolama üniteleri, yerel yükler ve dağıtım şebekesine de entegre edilebilen yenilenebilir enerji kaynaklarından

oluşur. Başka bir ifade ile mikroşebekeler tüketicilere yakın kurulan dağıtık kaynakların meydana getirdiği entegre bir enerji sistemidir.

Mikroşebekeler bağımsız, uyarlanabilir, kararlı, sınırlandırılabilir, daha yüksek verimlilik sağlayabilir ve ekonomik açıdan birçok avantaja sahiptirler.

Çizelge 3.1’de bir mikroşebekenin ana bileşenleri, bileşenleri oluşturan içerikler ve çalışma yapıları özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Mikroşebeke bileşenleri [47].

Mikroşebeke Bileşenleri	İçerikleri	Çalışma Yapıları
Dağıtılmış Kaynaklar	Jeneratörler, küçük ölçekli rüzgar türbinleri, FV paneller, yakıt hücreleri, mikro türbinler, pistonlu içten yanmalı motorlar	Çeşitli enerji kaynaklarını ve gerekli ısıları kullanarak tüketicilere elektrik üretmek
Enerji Depolama Üniteleri	Aküler, süper kapasitörler, volanlar, basınçlı hava enerjisi depolama	Üretilen fazla enerji tüketimin az olduğu zamanlarda depolanıp tüketimin arttığı zamanlarda ise enerji kaynağı olarak çalıştırılır
Kontrol Edilebilir Yükler	Isıtma, havalandırma ve klima sistemleri (HVAC), elektrikli araçlar, ticari binalar ve konutlar	Elektrik şebekesindeki parazitleri en aza indirerek müşteri talebini üst düzeyde karşılamak için yükler sevk edilir
Kritik Yükler	Hastane, okul	Güç kalitesinin artırılmasına ihtiyaç duyulur
Ortak Bağlantı Noktası	Statik anahtar	Şebekeye bağlı ve ada modunda geçiş yapılır

3.2.1. Dağıtılmış Kaynaklar

Bir mikroşebekede en önemli parçalardan biri enerji kaynakları veya jeneratörlerdir. Bu yenilenebilir enerji kaynakları (FV, rüzgar vb.) ve jeneratörler sıklıkla mikroşebekelere yakın alanlara kurulmaktadır. Yakıt tüketimi, çalışma maliyetleri, verimlilik ve elektrik şebekesinde ki çıkış gücü gibi etkiler bir kaynaktan diğerine göre farklılıklar gösterebilir. Bazı mikroşebeke türlerinde çalışma esnasında açığa çıkan atık ısının kazanımı (Kombine Isı ve Güç, KIG) ile enerji sarfiyatı minimuma indirilerek verimlilik üst düzeye çıkarılmaktadır ve bu tüketici ile güç sistemine sağlanan faydaları arttıracaktır. Genel olarak bir KIG sistemi %80-85 verime kadar ulaşabilir. Jeneratörlerin giriş güçleri sabit ya da değişken frekanslı AC veya DC olabilir. Bu sebeplerden dolayı dağıtılmış jeneratörlerin çoğunluğu şebekenin ihtiyacı olan gücü sağlamak için güç elektroniği ara yüzlerine gereksinim duymaktadır. Bu elektronik arayüzler sadece evirici olabileceği gibi doğrultucu ve evirici birlikte olan cihazları da içine alabilir.

Çok sayıda enerji üretim teknolojisi ve yenilenebilir enerji kaynağının listelendiği Çizelge 3.2’de dağıtılmış üretim teknolojilerinin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretiminde büyük oranda farklılıklar gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 3.2. Dağıtılmış üretim teknolojileri [48].

Teknoloji	Modül başına mevcut boyut
Kombine çevrim gaz türbini	35 - 400 MW
İçten yanmalı motorlar	5 kW -10 MW
Yanma türbini	1 - 250 MW
Mikro türbinler	35 kW – 1 MW
Yenilenebilir	
Küçük HES	1 – 100 MW
Mikro HES	25 kW – 1 MW
Rüzgar türbini	200 W – 100 MW
Fotovoltaik diziler	20 W – 100 kW

Çizelge 3.2 (devam ediyor)

Termal güneş, merkezi alıcı	1 – 10 MW
Termal güneş, Lutz system	10 – 80 MW
Biyokütle gazlaştırma	100 kW – 20 MW
Yakıt hücreleri, Fosforik asit	200 kW – 2 MW
Yakıt hücreleri, Proton değişimi	1 kW – 250 kW
Yakıt hücreleri, Katı oksit	250 kW – 5 MW
Jeotermal	5 – 100 MW
Okyanus enerjisi	100 kW – 1 MW
Batarya depolama	500 kW – 5 MW

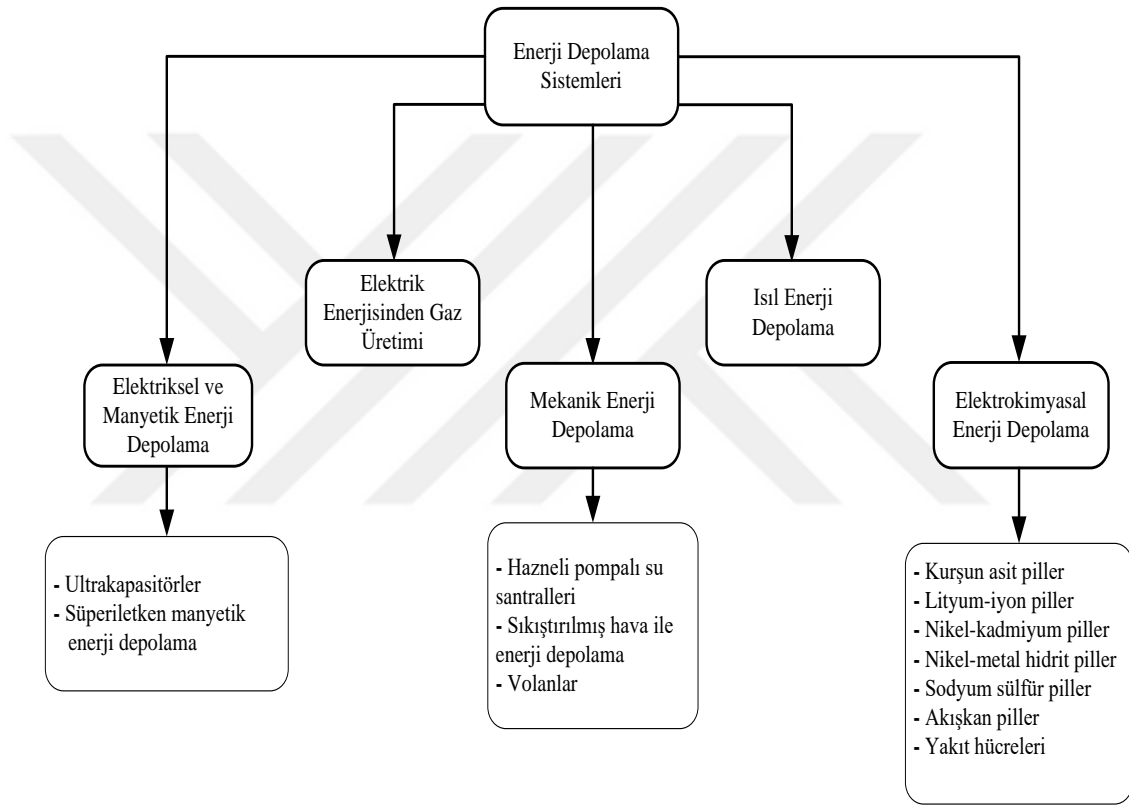
Yakıt bazlı olmayan rüzgar türbinleri, fotovoltaik paneller gibi dağıtılmış jeneratörlerin çıktıları belirsiz ve değişken enerji kaynaklarına bağlı olduğundan, yakıt bazlı dağıtık jeneratörler (dizel jeneratörler, mikro gaz türbinleri vb.) işletme maliyetleri de göz önünde bulundurularak daha fazla tercih edilirler. Bir mikroşebeke sisteminin enerji yönetim sisteminin en etkili ve verimli kullanılabilmesi için yakıt maliyetleri, ısı/enerji dönüşüm gereksinimleri ve talep tarafı tercihleri gibi unsurların tümü iyi analiz edilerek dağıtık jeneratörlerin optimum enerji planlaması gerçekleştirilmelidir.

3.2.2. Enerji Depolama Sistemleri

Dağıtılmış enerji depolama üniteleri elektrik şebekesinden gelen enerji ucuz olduğunda ya da dağıtılmış jeneratörler tarafından üretilen fazla enerjiyi depolayarak mikroşebeke sistemini daha uygun maliyetli hala getirebilir. Dağıtılmış enerji depolama üniteleri, talebin fazla olduğu dönemlerde ilave bir jeneratör gibi işlev görmektedirler. Bunlara ilave olarak enerji depolama sistemlerinin verimliliği artırmak, yenilenebilir enerji kaynaklarının mikroşebekelere bağlanmasına olanak tanınması, şebekeye sunulan elektriğin kararlı ve güvenilir olması ayrıca sera gazı salınımını azaltması gibi faydaları da mevcuttur.

Enerji depolama için geliştirilen teknolojiler, sağlanan güç kalitesini en üst düzeye çıkarmak, elektrikli araç ve mikroşebeke uygulamalarında enerjiyi fazla miktarda

depolamak gibi amaçlara sahiptir. Beklenmedik talep artışları mikroşebeke kaynaklarını yükseltmeye gerek duymadan depolanan enerji ile karşılanabilmektedir. Doğrudan alternatif akım enerjisi olarak depolanamadıklarından farklı enerji şekillerine dönüştürülerek depolanabilmektedirler. Aktif ve reaktif güç sağlayabilen bu depolama teknolojileri elektriksel ve manyetik enerji depolama, elektrik enerjisinden gaz üretimi, mekanik enerji depolama, ısı enerji depolama ve elektrokimyasal enerji depolama olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 3.2).



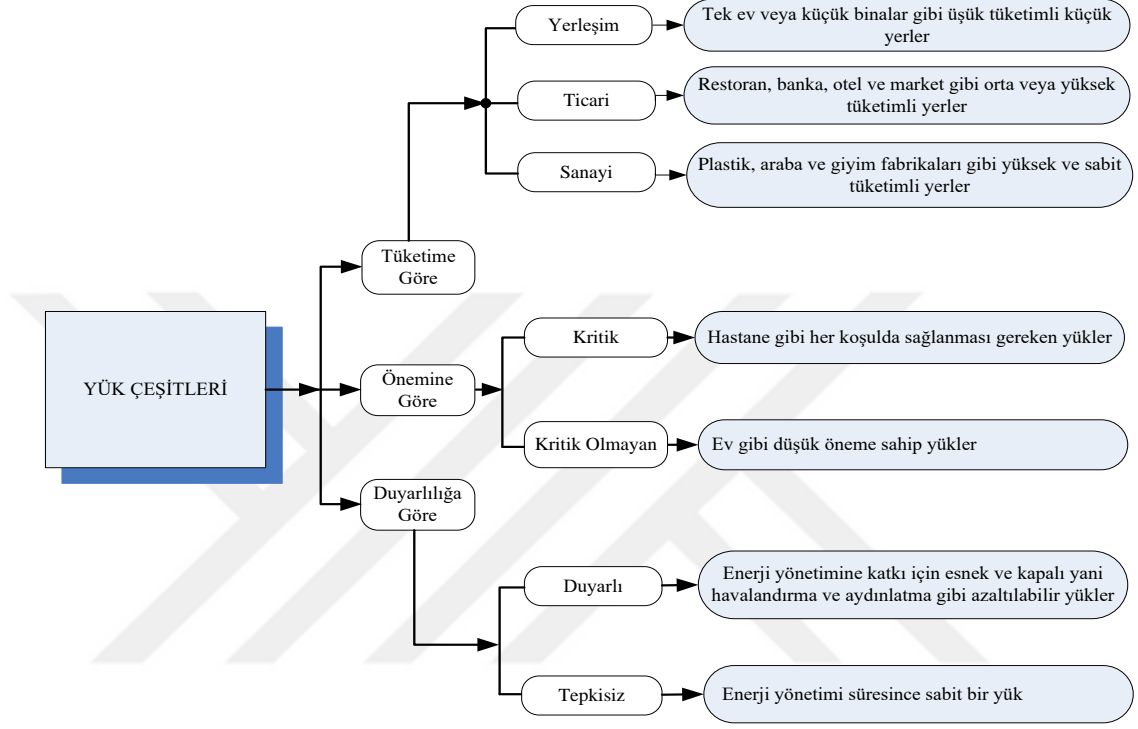
Şekil 3.2. Enerji depolama sistemlerinin sınıflandırılması [49].

3.2.3. Yük Çeşitleri

Bir mikroşebeke farklı türden yük gruplarının oluşturduğu müşterilere hizmet edebilir. Bu gruplar içerisinde ticari ve sanayi yük grubunu oluşturan kullanıcılar yüksek seviyeli güç kalitesi ve güvenilir bir enerji temini gerektiren grupturlar.

Mikroşebeke enerji yönetimine jeneratörlerle birlikte yüklerde katılmaktadır. Bu katılım beraberinde yük yanıtı ve talep yanıtı olarak adlandırılan durumlarında

incelenmesini gerektirmektedir. Örneğin şebeke ağının yoğun olduğu periyotlarda yüklerden bazıları tüketici ile enerji ağı sağlayıcı arasındaki sözleşmeye göre tüketimlerini daha alt seviyeye çekmelidir. Şekil 3.3’de çeşitli yük türlerinin alt başlıklara ayrılarak incelenmiş hali gösterilmektedir [50].



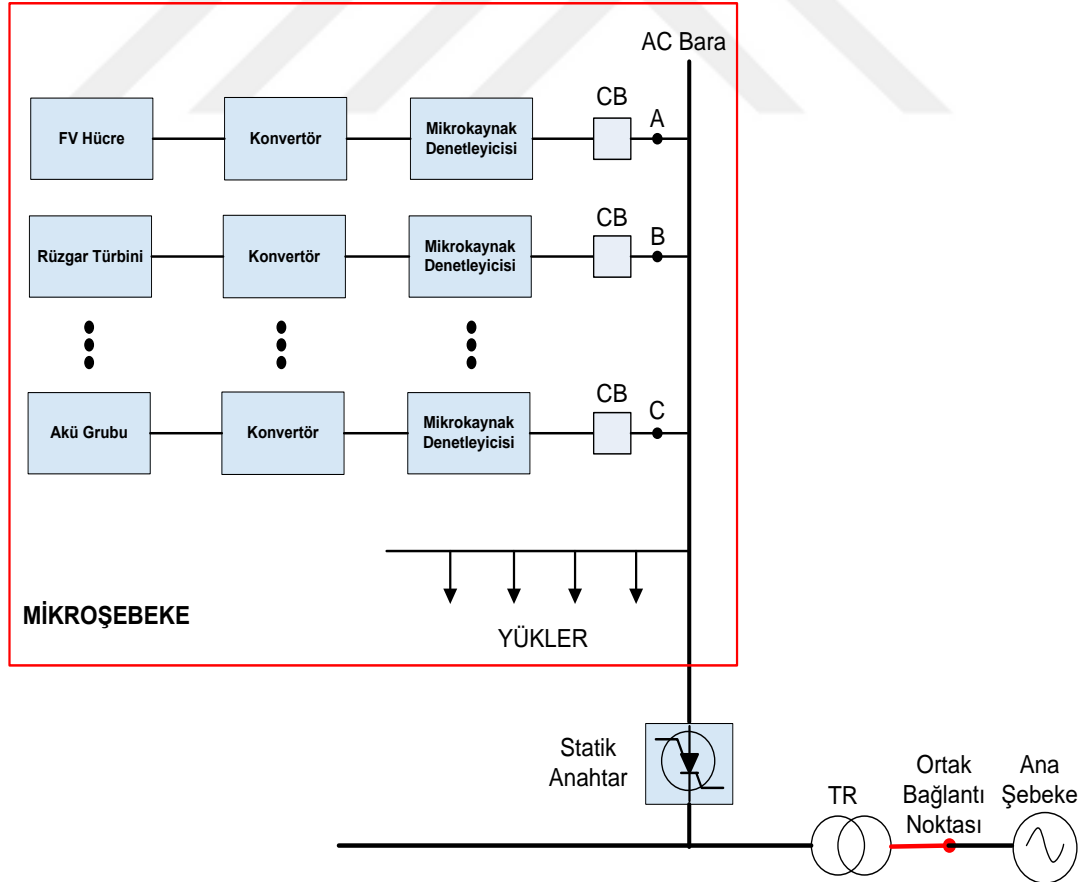
Şekil 3.3. Çeşitli yük tiplerinin sınıflandırılması [50].

Tüketime göre, önemine göre ve duyarlılıklarına göre yükler üç ana gruba ayrılarak sınıflandırılmıştır. Tüketime göre ayrılan yük gruplarında yerleşim sınıfında konut ve küçük binalar dâhil edilmiş, ticari yük sınıfında orta ve yüksek tüketimli yerler dâhil edilmiş, sanayi yük sınıfını ise yüksek ve sabit tüketimli fabrikalar oluşturmaktadır. Önem sınıflandırmasında kritik ve kritik olmayan yükleri sırasıyla hastaneler gibi sürekli enerjili kalması gereken yerler ile düşük yüklü evler kapsamaktadır. Duyarlı yükler ise birçok yeni çalışmada kullanılmaktadır. Elektrikli araçlar gibi yüklerin oluşturduğu duyarlı yükler diğer yük gruplarına göre daha farklıdır. Duyarsız olan yüklerde ise yük miktarı sabit ve enerji sağlayıcı ile kullanıcı arasında iletişim yoktur.

3.2.4. Ortak Bağlantı Noktası

Ortak bağlantı noktası güç üretiminin, enerji dağıtım ağının ve müşteri arayüzünün bir araya geldiği noktadır. En bilindik ve genel yapılanma dağıtılmış kaynakların, enerji depolama sisteminin ve yüklerin kendi kaynakları ile birbirine bağlandığı sistemdir. Bu bağlantı daha sonrasında tek bir ortak bağlantı noktası ile şebekeye bağlanır [47].

Mikroşebekeler Şekil 3.4’de görüldüğü gibi hem ada modunda hem de şebeke bağlantılı olarak çalışabilir. Mikroşebekelerin çoğunda dağıtım sistemini ve yükleri beslemeyi destekleyen besleyiciler (A, B, C) bulunur. Besleyiciler dağıtım sistemine bir statik anahtar ile bağlanır ve bu anahtar mikroşebekenin arıza veya bakım durumlarında ada modunda çalışmasını gerçekleştirebilir. Ortak bağlantı noktası transformatörün birincil tarafında bulunur ve ana elektrik şebekesini mikroşebekeden ayırır.



Şekil 3.4. Mikroşebekenin şematik diyagramı [51].

3.3. MİKROŞEBEKE ÇEŞİTLERİ

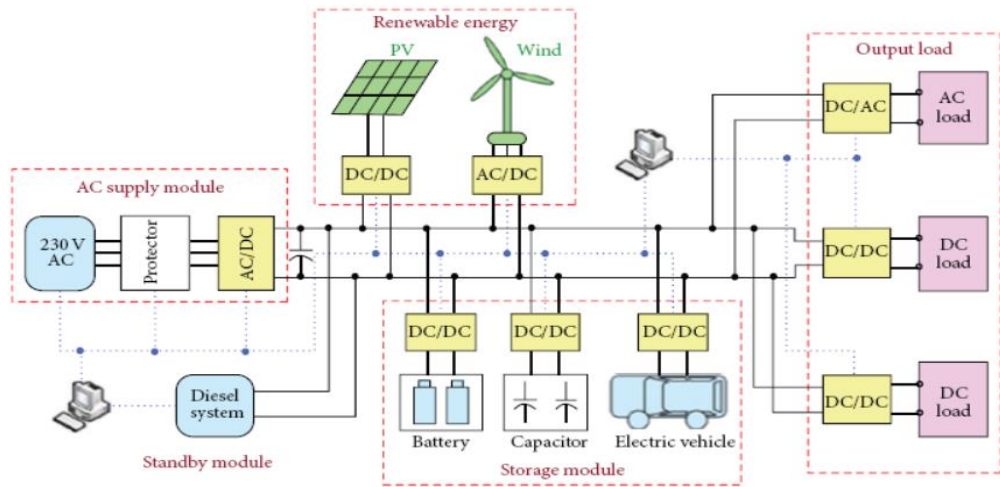
Mikroşebeke çeşitleri şunlardır:

1. DC mikroşebeke
2. AC mikroşebeke
3. Hibrit mikroşebeke

3.3.1. DC Mikroşebeke Sistemleri

DC mikroşebeke ada modunda bir binaya yada başka bir elektrik cihazına verimli ve güvenilir bir şekilde güç sağlamak için doğru akım (DC) elektriği üreten, dağıtan, tüketen ve depolanmasını sağlayan bir elektrik sistemidir. Dağıtılmış enerji kaynaklarının çoğu DC güç ürettiği için DC dağıtım sistemlerinde güç kalitesi sorunu ile daha az karşılaşmaktadır. Bununla birlikte yüklerin çoğu AC dağıtım sisteminde çalışmaktadır ve bu nedenle mevcut DC akım DC/AC inverterler ile dönüştürülmesi gerekmektedir.

Şekil 3.5’de çeşitli dağıtılmış kaynaklardan, depolama birimlerinden ve yüklerden meydana gelen bir DC mikroşebeke sistemi gösterilmektedir.



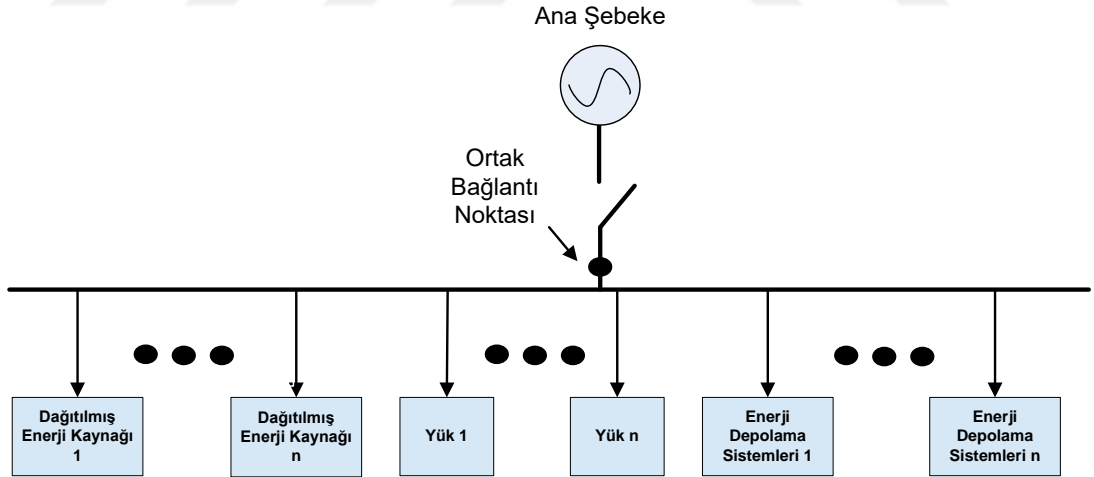
Şekil 3.5. DC mikroşebeke sistemi [52].

AC mikroşebeke sistemlerine göre DC mikroşebekelerin birtakım avantajları mevcuttur [52];

1. DC üretildiğinde AC akıma dönüştürülme zorunluluğu olmadığından her DC mikroşebeke kaynağı için bir invertör gerekli değildir. Bu sayede sadece şebeke bağlantı noktasında konumlanmış olan bir invertör hem sistem kayıplarının ve hemde maliyetin azaltılmasını sağlamaktadır.
2. AC bağlantı noktasında bir arıza gerçekleşmesi veya başka bir olumsuz durumda, DC mikroşebeke sistemi bağımsız olarak çalışabilir.
3. DC mikroşebekedeki güç kaynaklarının her biri birbirleri ile koordineli olarak çalışabilir.

3.3.2. AC Mikroşebeke Sistemleri

Ortak bağlantı noktasında orta gerilim şebeke sistemin ile birbirine bağlanan bir AC mikroşebeke sistemi Şekil 3.6’da gösterilmektedir [53].



Şekil 3.6. AC mikroşebeke sistemi.

Enerji depolama sistemleri ve dağıtılmış jeneratörler dağıtım ağı içerisinde bazı noktalarda birbirine bağlanabilirler. Dağıtılmış jeneratörler ve bazı yüklerin oluşturacağı sistemin bir bölümü küçük izole bir AC mikroşebeke sistemi gibi davranabilir. Normal çalışma koşullarında DC ve AC mikroşebeke ağları ortak bağlantı noktası ile birbirine bağlanabilirken, yükler yenilenebilir kaynaklardan ya da

yardımcı ünitelerden karşılanır. Yük tarafında istenen talep gücü kaynaklar tarafından üretilen güçten az ise üretilen gücün fazlası ana şebekeye aktarılabilir.

Bu alanda yapılan çalışmalardan birinde Solanki ve arkadaşları ekonomik bir mikroşebeke çalışması gerçekleştirmek için akıllı enerji yönetim sistemini kullanmışlardır. Akıllı enerji yönetim sistemi dağıtılmış jeneratörlerin güç tahmini, enerji yönetimi ve optimizasyon aşamalarından meydana gelir. Fotovoltaik panellerin değişik hava şartlarındaki çıkış karakteristikleri incelenir ve gelecek gün için bu veriler kullanılarak bir güç tahmini oluşturulur. Enerji depolama sistemlerinin ise şebeke elektrik fiyatlarındaki değişikliklerden dolayı çok yönlü optimizasyonu gerektiğinden bu sistemin tasarımı biraz daha karmaşıktır. Tüm bu şartlar altında akıllı enerji yönetim sistemi, ekonomik yük dağılımını ve dağıtılmış enerji kaynaklarının optimizasyonunu kontrol ederken, en verimli ve güvenilir çalışma stratejisini belirler [54].

AC mikroşebekeler ile DC mikroşebekeler arasında yapılan bazı karşılaştırmalar aşağıda yer almaktadır;

1. Dönüşüm sırasındaki verimlilik: AC mikroşebekelerde birden çok AC/DC veya DC/AC dönüştürücü kullanıldığından düşüktür. DC mikroşebekelerde ise kaynaklar ve depolama üniteleri arasındaki AC/DC ve DC/AC dönüştürücülerin kullanılmasına daha az ihtiyaç olduğundan verim daha yüksektir.
2. Dönüştürücü maliyeti: AC mikroşebekelerde yenilenebilir kaynaklar ve depolama birimlerinin her biri için ayrı DC/AC dönüştürücüye ihtiyaç olduğundan maliyet yüksektir. DC mikroşebekelerde ise daha az dönüştürücü kullanıldığından maliyet düşüktür.
3. İletim verimliliği: AC mikroşebekelerde reaktif güçten dolayı düşüktür. DC mikroşebekelerde ise bu kayıp ortadan kaldırıldığından iletim esnasındaki verimlilik yüksektir.
4. Güç kaynağı güvenilirliği: AC mikroşebekelerde şebekede oluşacak bir arızadan sonra güç kaynağında kesintiler yaşanabilmektedir. DC

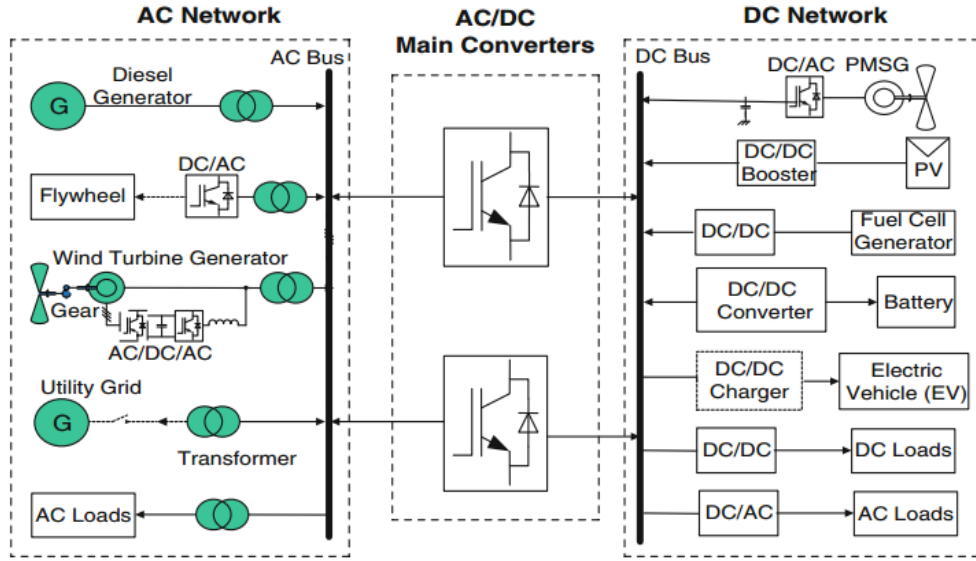
mikroşebekelerde ise depolama sistemleri ile birlikte bu durum minimuma indirilmektedir.

5. Kontrol edilebilirlik: AC mikroşebekelerde üç fazlı sistemin dengesizliğini telafi etmek için hem voltaj hemde frekans düzenlemesine ihtiyaç vardır bu yüzden kontrol edilebilirlik zordur. DC mikroşebekelerde ise frekans, reaktif güç ya da faz dengesizliği gibi sorunlar yoktur ve kontrol edilebilirlik basittir.
6. Yük kullanılabilirliği: AC mikroşebekeler genellikle alternatif akım enerji kaynakları ile tasarlandığından yükün kullanılabilirliği yüksektir. DC mikroşebekelerde ise bu durum daha düşüktür fakat yükün kullanılabilirliği dönüştürücüler ile sağlandığından son derece yüksek potansiyele sahiptir.
7. Koruma: AC mikroşebekelerde kullanılan uygun maliyetli kesiciler ve gelişmiş koruma teknikleri ile sistemin korunması yüksektir. DC mikroşebekelerde ise yüksek maliyetli devre kesicileri ve koruma yöntemleri ile daha maliyetlidir.

3.3.3. Hibrit Mikroşebeke Sistemleri

AC ve DC mikroşebekelerin bir ağa bağlanarak oluşturuldukları sistem modeli hibrit mikroşebekeyi meydana getirmektedir.

DC ve AC iletim ağlarına DC ve AC yüklerin ve kaynakların bağlanması dönüştürücüler ve transformatörler vasıtasıyla gerçekleştirilir (Şekil 3.7). Kaynakların ve yüklerin bağlı oldukları AC ve DC baraların birbirleri arasında ki bağlantısı ise transformatörlü ya da transformatörsüz olabilen çift yönlü AC/DC dönüştürücüler ile yapılır [55].



Şekil 3.7. Hibrit mikroşebeke sistemi [55].

3.4. MİKROŞEBEKENİN ÇALIŞMASI VE KONTROLÜ

Geleceğin enerji sistemlerinin unsurlarından biri kullanımı ölçen, enerji akışını izleyen ve kontrol eden dağıtım ağlarıdır. AC ve DC mikroşebekeler olarak adlandırılan bu güç sistemlerinde enerji üretimi, arz, talep, maliyet ve mevcut güç kaynaklarına bağlıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, güç elektroniğindeki ilerlemeler ve birçok uygulama alanında kullanılabilirlikleri bu sistemlerin kullanılmasını yaygınlaştırmıştır.

Güç elektroniği arayüzleri mikroşebeke sistemi içerisinde güç dengesi, gücün kalitesini sağlamada önemli rol oynamaktadır. Mikroşebekelerin hem şebekeye bağlı hem de ada modunda çalışmasına imkan sağlarken, ekipman maliyetini minimum seviyeye indirerek yüksek kalitede güç sağlar. Güç elektroniği arayüzlerinin işlevleri şöyle sıralanabilir;

1. Dengeli bir güç sağlamak ve voltaj dengelemesi yapmak,
2. Enerji depolama ünitelerini kullanarak yük talebinin karşılanmasında takibi kolaylaştırmak,

3. Dağıtılmış jeneratörler arasında yük paylaşımı için kontrol yöntemleri oluşturmak [56].

Mikroşebelerdeki farklı türden enerji kaynaklarının entegrasyonunu gerçekleştirebilmek için güç dönüştürücülerinin kullanılması doğru kontrol stratejileri gerektirir. Ana şebekeye bağlı mikroşebelerde invertörler, ana şebekeden aldıkları sinyalleri doğru frekans ve voltajı sağlamak için referans olarak kullanırlar. Bu sayede dağıtılmış kaynakların ve enerji depolama sistemlerinin her biri kontrol edilebilen bir akım kaynağı olarak görülebilir. Ada moduna geçildiğinde ise ana şebekeden alınan referans sinyaller ortadan kalkar ve güç kalitesinin aynı kararlılıkta sağlanmasına devam etmek için dağıtılmış kaynaklara ait ayrı bir kontrolör tarafından yeni bir referans voltajı üretilmektedir. Bu durumda mikroşebekelere bağlı dağıtılmış kaynakların herhangi birinin zorlanmaması için yük talebi orantılı olarak ayarlanarak voltaj kontrolü ile kaynaklar arasında sağlanır [57].

Mikroşebeke kontrolörleri genel olarak sistem kısıtlamaları ve düzenlemelerini ihlal etmeden sistemin güvenli çalışmasını, emisyonların azaltılmasını ve bir çalışma modundan diğerine geçişin sorunsuz bir şekilde olmasını sağlar. Bu hedefler her bir birim ile enerji depolama üniteleri arasında bağlı bir dağıtık kaynak denetleyicisi, mikroşebeke merkezi denetleyicisi ve yük denetleyicisi olmak üzere üç tür denetleyici kullanılarak gerçekleştirilir. Denetleyiciler sayesinde dağıtılmış kaynakların her biri yük talebini en uygun şekilde karşılamak için çekilen aktif ve reaktif güç miktarıyla orantılı bir şekilde çıkış frekansını ve voltaj genliğini ayarlar [58]. Tüm bu veriler dikkate alınarak incelendiğinde mikroşebeke sistemlerinin kontrolü dört seviyeye ayrılır [59,60]:

1. Seviye 0 (iç kontrol döngüsü): Dağıtılmış jeneratörlerin ve depolama ünitelerinin çalışma şartlarını belirleyen, alçak seviyeli voltaj ve akım kontrolörüdür. Yüksek bant genişliği ve çalışma performansı ile sistemin kararlı çalışmasını sağlamak ve herhangi bir çalışma şartında hızlı cevap verebilmek bu seviyenin işlevidir.
2. Seviye 1 (yerel kontrol döngüsü): Merkezi kontrol olarak da bilinen bu döngüde sistemin daha kararlı çalışması sağlanır. DC mikroşebekelerin aktif

güç/voltaj düşüşünü, AC mikroşebekeler için aktif güç/frekans ve reaktif güç/voltaj düşüş özelliklerini kapsar.

3. Seviye 2 (ikincil kontrol döngüsü): Mikroşebeke merkezi kontrolörün bulunduğu bu seviyede frekans ve voltaj ölçümleri yapılır. Yerel kontrolörlerin referanslarını ayarlamak için çıkış sinyalleri üretir.
4. Seviye 3 (global kontrol döngüsü): Üçüncül kontrol döngüsü olarak adlandırılan bu döngüde ana şebeke ile mikroşebeke arasındaki güç akışları kontrol edilerek enerji üretimi sağlanması ve enerji piyasası uygulamaları gerçekleştirilir. Ayrıca mikroşebeke dağıtım ağı ile diğer bağlı bir mikroşebekeler arasındaki dengeyi sağlayarak kısa vadeli yük geçişlerini, depolama yeteneklerini ve her bir dağıtık kaynağın üretim maliyetlerini tahmin eder.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

KBÜ kampüsünde yaklaşık olarak 56000 öğrenci ve buna ek akademik ve idari personel vardır. Bu nedenle kampüsün güç tüketimi önemli bir yer tutmaktadır. Artan elektrik faturaları, dolaylı karbon emisyonları ve bu büyük topluluğa elektrik sağlayan bir dağıtım altyapısının devamlılığının sağlanmasının maliyet gibi bazı önemli sorunları vardır. Karabük Üniversitesi yönetimi kampüs içerisinde dört fakülte ve bir spor salonuna fotovoltaik paneller entegre ederek ana dağıtım şebekesinden kullanılan enerji tüketimini azaltmayı ve maliyeti düşürmeyi hedeflemişlerdir. Bu nedenle amacımız mikroşebekenin tekno-ekonomik ve çevresel etkilerini belirlemek ve Karabük Üniversitesi yerleşkesinde mikroşebeke sisteminin etkinliğini göstermektir.

Tezin bu bölümü içerisinde tez çalışması kapsamında modellenecek olan Karabük Üniversitesi yerleşkesinde yer alan Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ve Öğrenci İşleri Merkezi'nin şebekeye bağlı güç sisteminin bileşenlerinin her birinin modellenmesi, her bileşen için gerekli parametrelerin belirlenmesi ve elde edilen bu parametrelerin HOMER yazılımı kullanılarak tekno-ekonomik (optimizasyon, duyarlılık analizi, talep yanıtı) analizi gerçekleştirilecektir. HOMER öncesi analiz, simülasyonda kullanılacak verilerin toplama ve hazırlık aşamalarıdır. HOMER sonrası analiz ise çalışan mikroşebekenin simülasyonunu devam ettirir ve mikroşebeke için optimizasyon, talep yanıtı ve hassasiyet analizleri yapar.

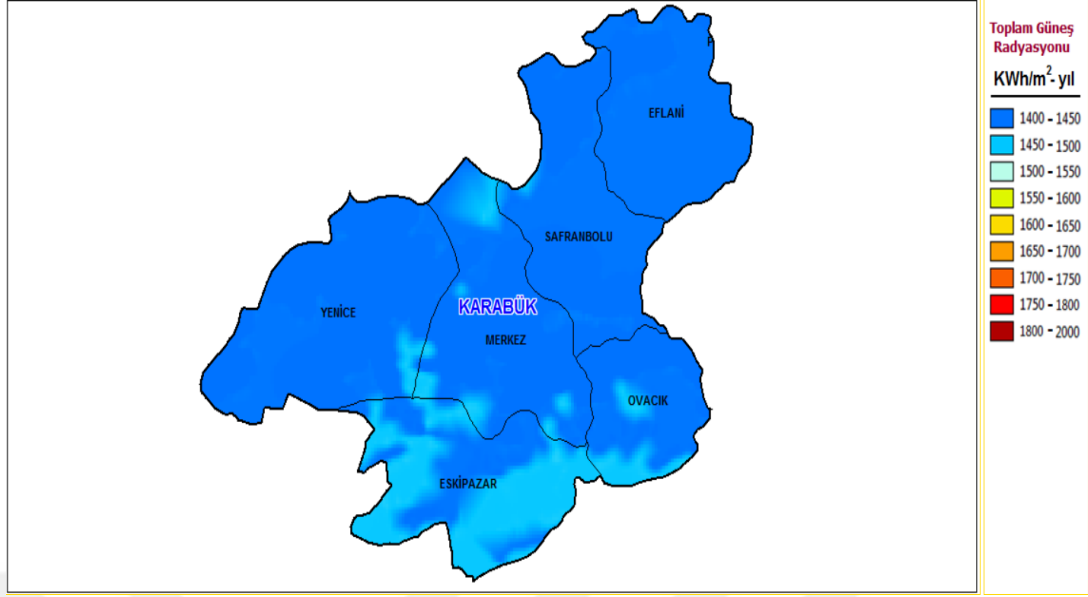
Çalışmada yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi kullanılmıştır. Rüzgar enerjisinin kullanılabilmesi için Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) verilerine göre yıllık ortalama rüzgar hızının 7 m/s'den fazla ve sürekli olması gerekmektedir. Karabük iline ait REPA verilerine göre bu değer yıllık ortalama 3,48 m/s olarak ölçülmüş ve bundan dolayı Karabük Üniversitesi kampüs alanında rüzgar hızının yetersiz olmasından dolayı çalışmada simülasyonu gerçekleştirilen tüm

binalarda ve durumlarda rüzgar enerjisi enerji kaynağı olarak kullanılmamıştır. Bu nedenle rüzgar enerjisi sistemi bu tez çalışmasının mikroşebeke tasarımına dahil edilmemiştir. Diğer enerji kaynaklarının kullanılmamasının nedeni ise yüklerin enerji ihtiyacının karşılanmasında kurulum ve işletme maliyetlerinin minimal seviyede gerçekleştirilme hedefi ve FV panel, aküler ve dizel jeneratörün talebi karşılamada yeterli olacağından kaynaklanmıştır. Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ve Öğrenci İşleri Merkezi binalarının meteorolojik verileri (güneş radyasyonu ve sıcaklık), yük profili, ekipmanların teknik özellikleri HOMER'a teknolojik işleme için giriş verileri olarak toplanmıştır. Karabük ili için güneş radyasyonu ve sıcaklık verileri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yenilenebilir enerji potansiyel atlasları veri tabanından elde edilmiştir.

4.1. BÖLGE YÜK PROFİLİ VE ENERJİ KARAKTERİSTİKLERİ

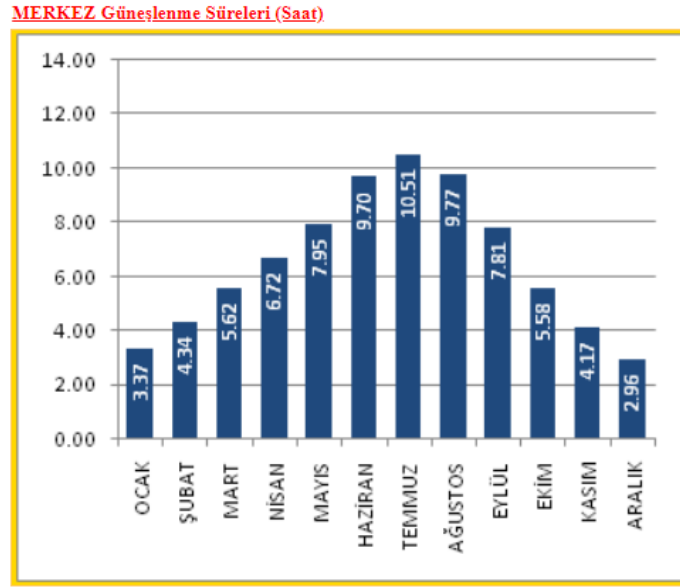
4.1.1. Karabük İli ve Merkez İlçesi Güneş Enerjisi Verileri

Karabük ili Batı Karadeniz bölgesinde yer alıp Türkiye'nin güneyinde yer alan illere göre güneş enerji potansiyeli daha düşük olan ilimizdir. Şekil 4.1'de Karabük ili güneş enerji potansiyeli gösterilmektedir. Koyu mavi renk yıllık 1400-1450 kWh/m²'lik bir ışımayı ifade etmekte ve buda Karabük ilinin kuzey kısımlarında gerçekleşmektedir. Daha güney bölgelerde ise güneş enerjisi ışıması yıllık 1450-1500 kWh/m²'ye ulaşmaktadır.



Şekil 4.1. Karabük ili güneş enerji potansiyeli [61].

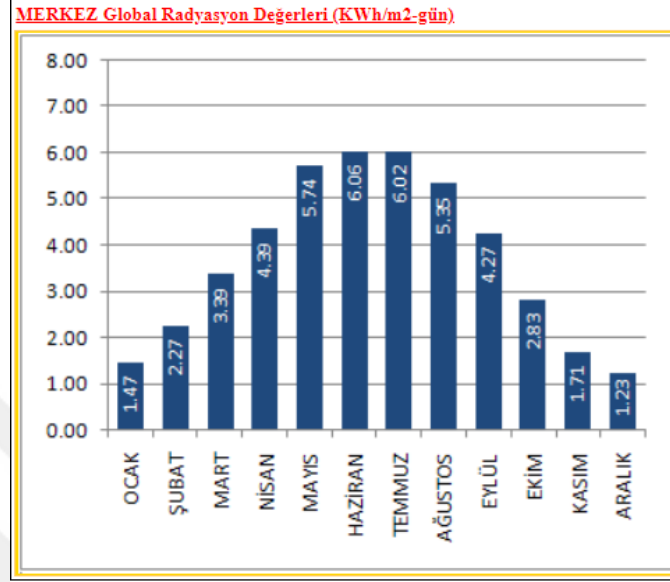
Şekil 4.2’de Karabük ili merkezine ait yıllık güneşlenme süreleri verilmiştir. Şekile göre yıllık güneşlenme süresinin 2,96 saat ile en az olduğu ay Aralık ayı olmasına karşın en yüksek güneşlenme süresi 10,51 saat ile Temmuz ayı olmuştur.



Şekil 4.2. Karabük ili merkezinin aylara göre güneşlenme süreleri [61].

Karabük Merkez ilçesinin yılın tüm aylarına ait yatay düzlem günlük güneş radyasyon verileri Şekil 4.3’de yer almaktadır. Veriler Enerji İşleri Genel Müdürlüğü’nün Güneş

Enerji Potansiyel Atlası kullanılarak elde edilmiştir. Karabük Üniversitesi merkez kampüs alanı için yapılan bu tez çalışmasında sistem tasarımı için yapılan hesaplamalarda Şekil 4.3'deki verilerden yararlanılmıştır.



Şekil 4.3. Karabük ili merkez yatay düzlem günlük güneş radyasyon verileri [61].

4.1.2. Karabük Üniversitesi Merkez Kampüs Alanı

Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölgesi'nde olup Karabük'ün Merkez ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve bir devlet üniversitesi olarak 2007 yılında kurulan Karabük Üniversitesi, 41°12' kuzey enlemi ve 32° 39' doğu boylamı koordinatlarında yer almaktadır.

Karabük Üniversitesi Merkez Kampüs bünyesinde 1 MW'lık kurulu güce sahip olan dört adet fakülte binası (Teknoloji Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İlahiyat Fakültesi, Yabancı Diller Yüksekokulu) ile bir adet spor salonunun çatı ve yan yüzlerinde konumlandırılmış güneş panellerinden elektrik üretimi yapılmaktadır. Karabük Üniversitesi güneş panellerinin yakın ve uzak görünüşleri Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Karabük Üniversitesi güneş panellerinin yakın görünümü [62].



Şekil 4.5. Karabük Üniversitesi güneş panellerinin uzak görünümü [62].

Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de Karabük Üniversitesi Merkez Kampüsünde yeralan ve bu tez çalışmasının gerçekleştirileceği sırasıyla Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ve Öğrenci İşleri Merkezi binaları gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Mühendislik Fakültesi [62].



Şekil 4.7. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi [62].



Şekil 4.8. Öğrenci İşleri Merkezi [62].

4.1.3. Elektrik Tüketim Verilerinin Elde Edilmesi

Karabük Üniversitesi Merkez Kampüsünde yapılan bu tez çalışmasında yüklerin günlük ve saatlik elektrik tüketim değerleri her fakülte ve binanın elektrik ana dağıtım odasında yeralan GA4113 ANL 13-haberleşmeli güç analizörlerinin SCADA sistemi ile takip edilip verilerin bu sistemden okunması ile elde edilmiştir. Elde edilen elektrik tüketim değerlerinin tamamı saatlik ve günlük gerçek tüketim değerlerini göstermektedir. Şekil 4.9’da elektrik tüketimlerinin elde edildiği haberleşmeli güç analizörü görülmektedir.

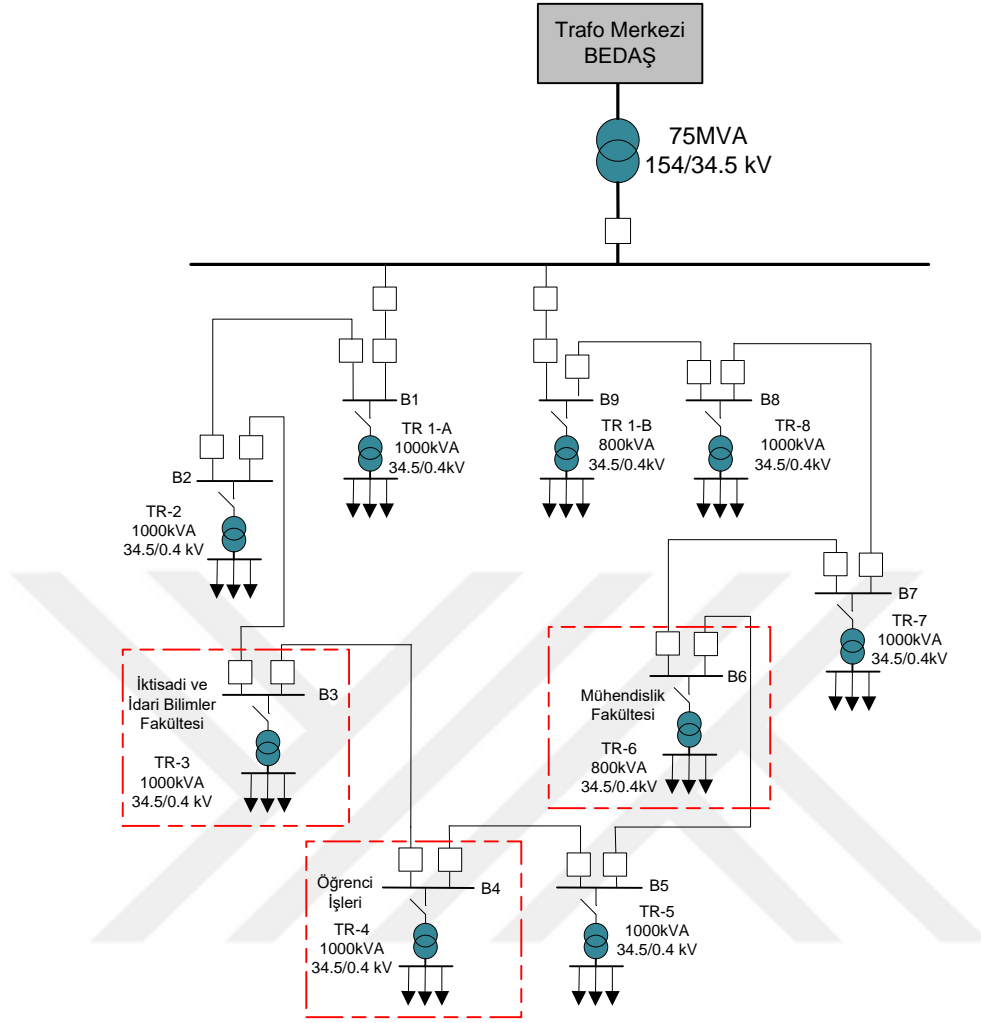


Şekil 4.9. Elektrik tüketim değerlerinin alındığı güç enerji analizörü.

Mikroşebeke sisteminin kurulacağı, boyut ve ekonomik analizinin yapılacağı yer olarak Karabük Üniversitesi'nin Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ve Öğrenci İşleri Merkezi binaları seçilmiştir.

Kurulacak sistemin optimizasyon çalışmasında yük karakteristiği oldukça önemlidir. Örnek vermek gerekirse eğitim öğretim döneminde puant yük talebi akşam saatlerinde olduğundan, aydınlatma ve kritik yüklerin enerjili kalmaları gerektiğinden bunu karşılamak için yalnızca güneş enerjisinden faydalanmak yetersiz olacaktır. Bu durumda puant yük talebini karşılamak için gün boyu FV paneller tarafından üretilen enerjinin bataryalar tarafından depolanmasıyla ve yetersiz kaldığı durumda da dizel jeneratör ile karşılanacaktır.

Şekil 4.10'da Karabük Üniversitesi'nin sekiz adet OG trafosu görülmektedir. Mühendislik Fakültesi TR-6 numaralı trafonun AG trafosundan beslenmektedir. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi (İİBF) TR-3 numaralı trafonun AG trafosundan beslenmektedir. Öğrenci İşleri Merkezi binası TR-4 numaralı trafonun AG trafosundan beslenmektedir.



Şekil 4.10. KBÜ OG trafoları [63].

Yük profilinin belirlenmesi, optimum sistem tasarımının yapılabilmesi için en önemli adımdır. Çünkü hibrit sistem tasarımı ve bileşenlerin belirlenmesi yük profiline göre gerçekleştirilecektir. Bu tez çalışmasında seçilen yük profilleri Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ve Öğrenci İşleri Merkezi binasıdır. Yük profili oluşturulurken olası verilerden veya farazi bir yük profili oluşturularak değil her binanın güç enerji analizörlerinden alınan gerçek tüketim değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.1’de Mühendislik Fakültesi (a), İİBF (b) ve Öğrenci İşleri Merkezi (c) günlük yük talebi verilmiştir. Elektrik enerjisine olan ihtiyaç her binada kullanılan cihazlara ve saatlere göre değişiklik göstermektedir.

Çalışma alanlarının yük profilleri oluşturulurken güç analizörlerinden alınan güç değerleri HOMER programına aylık olarak girilerek gerçekleştirilmiştir. Bu değerler programa girilirken HOMER her ay için hafta içi ve hafta sonu günlerinde ayrı tüketim değerleri girilmesine ve bir oran atanmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede hafta sonu fakülte ve binaların daha az kullanılmasının etkileride sisteme girilmiştir.

Çizelge 4.1. Mühendislik Fakültesi (a), İİBF (b) ve Öğrenci İşleri Merkezi (c) saatlik yük talebi.

Saat	Yük (kW)	Saat	Yük (kW)	Saat	Yük (kW)
00:00	31.94	00:00	19.96	00:00	13.75
01:00	31.01	01:00	19.45	01:00	13.64
02:00	31.24	02:00	19.76	02:00	13.08
03:00	31.27	03:00	19.80	03:00	13.28
04:00	31.07	04:00	19.62	04:00	13.59
05:00	29.94	05:00	19.44	05:00	13.87
06:00	22.84	06:00	16.17	06:00	10.52
07:00	22.53	07:00	15.21	07:00	8.85
08:00	29.40	08:00	21.90	08:00	18.33
09:00	39.16	09:00	38.46	09:00	31.03
10:00	46.22	10:00	43.27	10:00	36.35
11:00	51.06	11:00	43.75	11:00	33.40
12:00	51.24	12:00	44.98	12:00	35.12
13:00	55.44	13:00	47.98	13:00	45.16
14:00	59.01	14:00	30.28	14:00	52.57
15:00	63.43	15:00	32.21	15:00	53.79
16:00	57.67	16:00	31.50	16:00	52.98
17:00	40.66	17:00	34.76	17:00	26.45
18:00	31.64	18:00	39.54	18:00	13.26
19:00	38.98	19:00	24.98	19:00	17.57
20:00	34.67	20:00	29.45	20:00	16.44
21:00	32.09	21:00	29.67	21:00	16.00
22:00	31.34	22:00	28.62	22:00	15.99
23:00	31.79	23:00	21.28	23:00	16.02

(a)

(b)

(c)

Çalışmada sistem ömrü 25 yıl olarak ve yıllık elektrik kesintisi (annual capacity shortage) %3 olarak belirlenmiştir. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) 22.04.2020 verilerine göre indirim oranı (discount rate) %8,75, enflasyon oranı (inflation rate) %11,86 olarak alınmıştır. 1 Amerikan Doları 6,97 TL olarak hesaplamalarda kullanılmıştır.

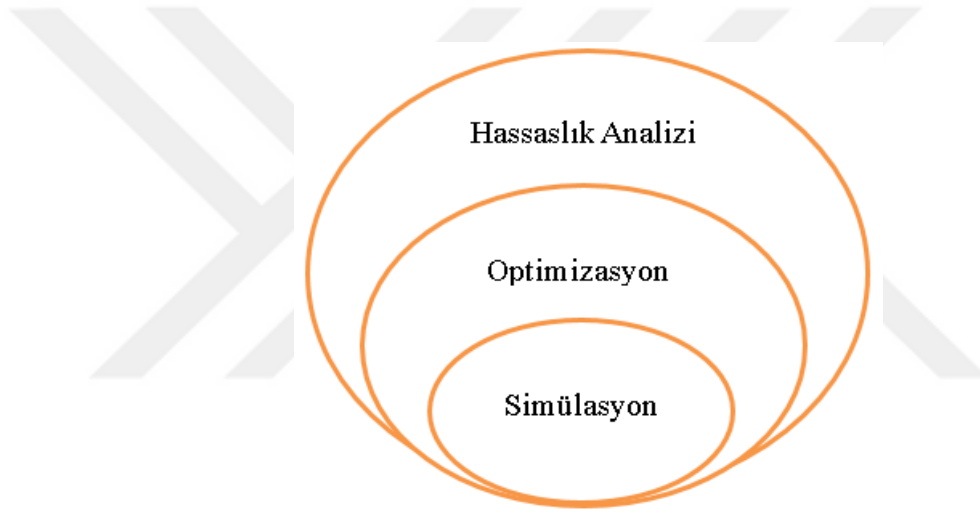
4.2. HOMER PROGRAMI

HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) yazılımı yenilenebilir enerji kaynağı tabanlı optimizasyon aracı olarak kullanılan, Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilmiştir. HOMER tasarlanmak istenen sistemin başlangıç maliyeti ile sistemin proje ömrü süresince işletim maliyetinin toplamından meydana gelen toplam net bugünkü maliyeti modeller. HOMER yazılımı modelleme yapan kullanıcılara girdi olarak tanımlanan teknik ve ekonomik verileri işleyerek farklı enerji sistemlerinin tasarımına olanak sağlar. Bu program ile elektrik enerjisi üreten ve depolama birimlerine sahip, şebekeye bağlı ya da şebekeden ayrı çalışabilen birçok hibrit sistem tasarımını modellemeyi mümkün kılar. Örnek vermek gerekirse ana elektrik dağıtım şebekesinden uzakta bir yükü besleyen FV ve akü sistemi, bir yerleşim yerini besleyen rüzgar türbini ve dizel jeneratörlü bir sistem ya da şebeke bağlantılı olarak doğal gaz mikro türbin ile bir fabrikanın elektrik ve ısı enerjisini sağlayan sistemler modellenabilir. HOMER yazılımı ile bir elektrik yükünü ya da termal bir yükü besleyen, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız modlarda çalışan FV panellerin, rüzgar türbinlerinin, bataryaların, yakıt hücrelerinin, jeneratörlerin, konvertörlerin, elektrolizörlerin, biyokütle enerjisinin ve küçük güçlü HES'lerin modellenmesi yapılabilir. Ayrıca yazılım elektrik yükü, ertelenebilir yük, ısı yük ve hidrojen yükü olarak 4 farklı yük grubunun girdisine izin vermektedir. Bunlara ilave olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında mevsimlere göre güç çıkışlarının değişmesi nedeniyle sistem tasarımı zorlaşmaktadır. HOMER tüm bu güçlükleri hesaplayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu program üç ana görevi yerine getirmektedir. Bu görevler; simülasyon (benzetim), optimizasyon (iyileştirme) ve hassaslık (duyarlılık) analizidir [64].

Simülasyon (benzetim) işleminde, yılın her saati için mikro enerji sisteminin performansı modellenir ve sistemin gerçekleştirilebilirliği ile yaşam döngüsü maliyeti hesaplanır. Optimizasyon (iyileştirme) işleminde, birbirinden farklı olarak oluşturulmuş birçok sistemin içerisinde en düşük ömür boyu maliyetli tasarımı ve teknik kısıtlamalara çözüm getiren sistem konfigürasyonunu ortaya koymak için simülasyon gerçekleştirir. Hassaslık (duyarlılık) analizinde ise, kullanıcının sisteme tanıttığı giriş verilerinde yer alan değişiklikler ve belirsiz durumların sisteme olan

etkilerini ölçmek birçok farklı varsayım altında optimizasyon işlemini gerçekleştirir. Hassaslık (duyarlılık) analizinde sıcaklık, gelecek yıllara göre yakıt fiyatları, güneş radyasyonu gibi değişken parametrelerin etkilerinin değerlendirilmesini sağlar [64].

Şekil 4.11’de simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki bağlantı gösterilmiştir. Simülasyon alanının optimizasyon alanı içerisinde yer alması optimizasyon (iyileştirme) işleminin çok sayıda simülasyondan oluştuğunu göstermektedir. Optimizasyon işleminin de hassaslık (duyarlılık) analizinin alanı içerisinde yer alması ise çok sayıda optimizasyon işlemi ile hassaslık analizi yapıldığını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.11. Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki ilişki.

4.2.1. Simülasyon

HOMER simülasyon işlemini yenilenebilir kaynakların güç seviyelerini saatlik olarak hesaplayarak, karşılanması istenilen elektrik yükü ile karşılaştırır ve üretilen enerjinin fazla olduğu dönemlerde ne yapılacağına ya da tüketilen enerjinin üretilenden fazla olması durumunda ek bir kaynaktan mı yoksa şebeke elektriğinin mi kullanılmasının uygun olması gerektiğine karar verir. Bir yılın tamamı için hesap yapan HOMER, yenilenebilir kaynaklar ile üretilen enerji ile toplam enerji miktarını oranlar ve gaz emisyon miktarı, güneş radyasyon miktarı veya aylık ortalama sıcaklık değerleri gibi kullanıcının gireceği değerlere göre sistemin sınırlarını belirler ve simülasyon işlemini gerçekleştirir.

HOMER sistemin yaşam maliyetini hesaplayabilmek için bazı ek değerleri de hesaplamaktadır. Bu değerler yakıt miktarının yıllık tüketimi, ilk yatırım maliyeti, yenileme maliyeti, bakım maliyeti, jeneratörün çalışma süresi, batarya ömrü, şebekeden kullanılan enerji miktarı vb. değerlerdir. HOMER tarafından modellenen sistemin yaşam süresi maliyeti NBM (net bugünkü maliyet) olarak ifade edilir. Toplam net bugünkü maliyet değeri, şimdiye indirgenmiş gelecek nakit harcamaları ile modellenen sistemin yaşam süresi boyunca oluşacak tüm maliyetleri kapsar. Üretilen enerjinin tüketilenden geriye kalan kısmının satışı toplam net bugünkü maliyeti azaltır.

HOMER belirli bir sistem modellemesini, bir yıllık saatlik simülasyonu değerlendirip modeller. Saatlik zaman diliminden daha küçük zamanlardaki anlık elektrik gereksinimlerini, yükün artması ya da bataryanın çalışma performansının azalması ve diğer olası etkileri modellememektedir. Ancak girdi olarak duyarlılık analizi kısmında bu etkilerin analiz edilmesi kullanıcı tarafından gerçekleştirilebilir.

4.2.2. Optimizasyon

Optimizasyon (iyileştirme) işleminde sistem konfigürasyonları içerisinde en iyi olanı belirlenir. HOMER bu aşamada toplam net bugünkü maliyetin en düşük değerini sağlayacak, kullanıcının girdiği duyarlılık parametrelerini karşılayıp en iyi ve optimum sistem konfigürasyonunu bulur. Optimizasyon (iyileştirme) işleminde ki temel amaç kullanıcı tarafından tanımlanan karar değişkenlerinin her birinin en uygun değerini belirlemektir. HOMER'in karar değişkenleri şu şekilde sıralanabilir [64];

1. FV dizisinin boyutu
2. Rüzgar türbinlerinin adedi
3. Hidro sistemin kullanılması
4. Jeneratörlerin büyüklükleri
5. Elektrolizörün büyüklüğü
6. Batarya adedi
7. Dönüştürücülerin büyüklükleri
8. Hidrojen depolama tankının kapasitesi
9. Dispatch stratejisi (sistemin nasıl çalışacağına karar verilmesi)

Program optimizasyon aşamasında birden çok farklı sistem konfigürasyonu için simülasyon işlemini gerçekleştirir ve istenilen kriterlere uymayanları eleyerek kalanlar içerisinde toplam net bugünkü maliyete göre en uygun sistemleri sıralar. Optimizasyon (iyileştirme) işleminin amacı kullanıcı tarafından girilen karar değişkenlerinden optimum olanını belirlemektir. Örneğin FV- dizel jeneratör-batarya grubu-dönüştürücüyü kapsayan bir sistem modellemesini inceleyelim. Kullanıcı, programa tanımlayacağı FV büyüklüğü, batarya adedi, dönüştürücü boyutu gibi değişkenlerin toplam net bugünkü maliyete olan etkisini önceden belirleyemez. Bu sebeple bu değerler karar değişkenleri olarak isimlendirilir. HOMER kullanıcılara herbir değişken için farklı sayıda ve büyüklüklerde değerler girmesine izin verir. Yazılım tüm bu değerleri dikkate alarak optimum sistem tasarımını gerçekleştirir. Sonuçlar kısmında listelenen tabloları toplam net bugünkü maliyetlerinin en düşük olanından en büyüğüne doğru sıralayarak en uygun sistemin hangisi olabileceğini kullanıcıya sunar.

4.2.3. Hassaslık Analizi

HOMER belirli bir değişken girdisi için çok sayıda değer girilmesine olanak tanıyarak hassaslık analizini gerçekleştirir. Değişkenin her değeri için optimizasyon işlemini gerçekleştirerek sonuçların nasıl değiştiğini kullanıcıya gösterir. Çok sayıda değer atanan giriş değişkeni duyarlılık değişkeni olarak adlandırılır ve kullanıcı istediği kadar duyarlılık değişkenini programa tanımlayabilir. Duyarlılık değişkeni tek girildiyse tek boyutlu olarak bir analiz gerçekleştirilir. İki adet değişken tanımlandıysa iki boyutlu bir duyarlılık analizi gerçekleştirilir ve bu sayı artırılabilir. Çok sayıda değişkenin tanımlanması analizin gerçekleştirilme süresinde uzatacaktır. HOMER'in sonuçlar bölümünde hassasiyet durumlarının tablosu yer almaktadır. Bu tabloda uygulanabilir tüm sistemler hassasiyet analizinin sonucu olarak sıralanır. Hassasiyet analizi çok sayıda çıktı verisiyle sonuçlanabilir. HOMER tarafından gerçekleştirilen her simülasyon düzinelerce çıktı (yakıt tüketimi ve sermaye toplamı gibi) ve çok sayıda zaman serisi dizisi (rüzgar türbini çıktısı gibi) ile sonuçlanabilir. HOMER analizi yapılan tüm bu verileri grafik ve tablo olarak hazırlar ve kullanıcının kolayca analiz etmesini sağlar.

4.2.4. Ekonomik Analiz

HOMER hem simülasyon aşamasında hem de optimizasyon aşamasında ekonomik verilere yer vermektedir. HOMER yazılımı ekonomik modellemede toplam net bugünkü maliyeti minimize etmek üzere çalışır. Optimizasyon işlemini gerçekleştirdiğinde bu maliyetleri en düşükten en yükseğe doğru sıralar. HOMER, enerji kaynaklarının farklı sistem konfigürasyonlarını ekonomik olarak çok defa analiz etmektedir. Bu analizi sermaye ve işletme maliyetini hesaba katarak gerçekleştirir. Toplam net bugünkü maliyet değeri sistemin yaşam döngüsü maliyetine karşılık gelir ve bugüne endekslenmiş iskonto nakit akışları ile beraber, projenin yaşam süresince yapılacak harcamaların ve elde edilecek gelirlerin bugünkü dolar fiyatı üzerinden toplam olarak ödenilen para miktarı yerine geçer. Kullanıcı projenin yaşam ömrüne ve iskonto oranına karar verebilir. İlk sermaye maliyeti; ekipman satın alma maliyeti ve kurulum maliyetini içerir. Değiştirme maliyeti; kullanılabilirlik süresini dolduran sistem bileşenlerini değiştirmenin maliyetidir. Bu maliyet, bileşenlerin yalnızca bir kısmının değiştirilmesi gerekebileceğinden ilk sermaye maliyetinden farklı olabilir. İşletme ve bakım maliyeti; işletme maliyeti, ilk sermaye maliyeti dışındaki tüm maliyetlerin (değiştirme, yakıt, işletme ve bakım) ve gelirlerin yıllık değeridir. Aşağıdaki denklem işletim maliyetini hesaplamak için kullanılır [64].

$$C_{\text{işletme}} = C_{\text{yıl.top.}} - C_{\text{ser.top.}} \quad (4.1)$$

$C_{\text{işletme}}$: İşletim maliyeti

$C_{\text{yıl.top.}}$: Toplam yıllık maliyet

$C_{\text{ser.top.}}$: Toplam yıllık sermaye maliyeti

HOMER yazılımı kullanılan bileşenlerin hurda maliyetini hesaplamak için aşağıdaki denklemi kullanmaktadır.

$$S = C_{\text{değiştirme}} \frac{R_{\text{kalan}}}{R_{\text{bileşen}}} \quad (4.2)$$

S : Hurda değeri

$C_{\text{değiştirme}}$: Bileşenlerin değişim maliyeti

R_{kalan} : Bileşenlerin kalan ömrü

$R_{\text{bileşen}}$: Bileşenlerin ömrü

Yıllık maliyetde ise HOMER, bileşenin yıllık maliyetini bulmak için her bir bileşen için sermaye, yenileme, bakım ve yakıt maliyetlerinin yanı sıra kurtarma ve diğer maliyetleri veya gelirleri birleştirir. Bu, eğer proje ömrünün her yılında meydana gelirse, proje ömrü boyunca o bileşenle ilişkili tüm münferit maliyetler ve gelirlere eşdeğer bir net mevcut maliyet getireceği varsayımsal yıllık maliyettir. HOMER, sistemin toplam yıllık maliyetini bulmak için her bileşenin yıllık maliyetlerini ve çeşitli diğer maliyetleri toplar. Toplam net bugünkü maliyet (4.3)'de verilen eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$C_{\text{NBM}} = \frac{C_{\text{yıl.top}}}{\text{CRF}(i, R_{\text{proje}})} \quad (4.3)$$

Bu eşitlikte;

$C_{\text{yıl.top}}$: Yıllık toplam maliyet (\$/yıl)

i : Yıllık reel faiz oranı (%)

R_{proje} : Proje yaşam süresi (yıl)

CRF : Sermaye kurtarma faktörü

Sermaye kurtarma faktörü yıllık toplam gelirin bugünkü değerini hesaplamada kullanılan bir orandır. Sermaye kurtarma faktörü eşitlik (4.4)'de verilmiştir. Burada N yıl sayısıdır.

$$\text{CRF}(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (4.4)$$

4.2.5. HOMER’da Bazı Parametreler

Net Bugünkü Maliyet (NBM-Net Present Cost) : Bir bileşenin proje süresi boyunca tüm kurulum ve çalıştırma maliyetlerinin mevcut değerinden, proje süresi boyunca kazandığı gelirlerin toplamının bugünkü değerlerinin çıkarılması ile elde edilen değerdir. Maliyetler arasında sermaye maliyetleri, yenileme maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri, yakıt maliyetleri, şebekeden satın alınan elektrik maliyetleri ve emisyon cezaları bulunmaktadır. Gelirlere ise kurtarma değeri ve şebekeye geri satış değerleri dahildir [64].

İşletme Maliyeti (Operating Cost): İlk sermaye maliyetleri dışında kalan tüm maliyet ve gelirlerin yıllık değeridir.

İlk Sermaye Maliyeti (Initial Capital): Bir bileşenin ilk sermaye maliyeti, o bileşenin projenin başındaki toplam maliyetidir.

Yenilenebilir Bölüm (Renewable Fraction %): Üretilen enerjinin ne kadarının yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlandığının oranıdır.

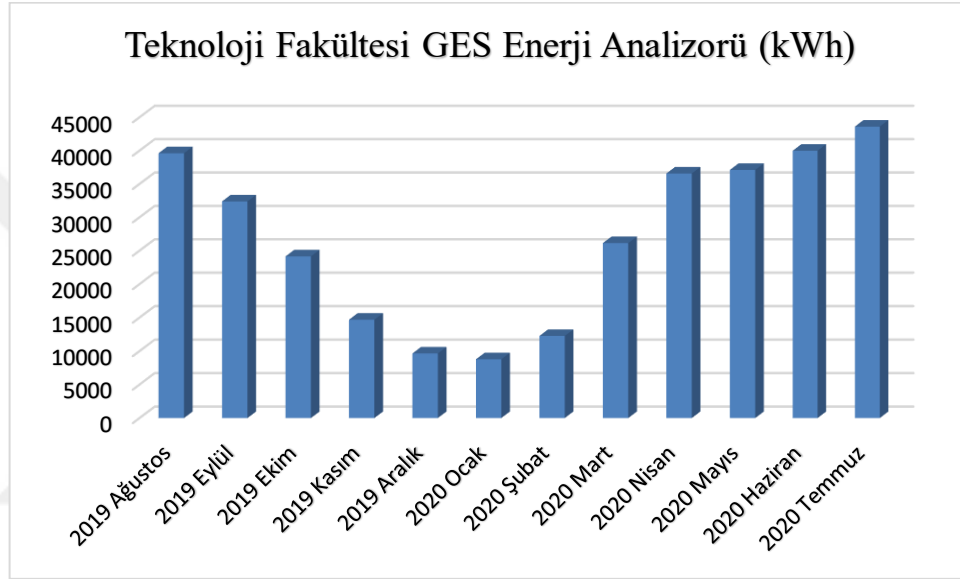
4.3. KARABÜK ÜNİVERSİTESİ GES ÜRETİM DEĞERLERİ

Karabük Üniversitesi kurulu gücü yaklaşık olarak 1 MW olan güneş enerji sistemine sahiptir. Bu kurulum merkez kampüs alanı içerisindeki 5 adet binanın çatı ve yan yüzeylerine montajı yapılarak kurulmuştur. Bu binalar Teknoloji Fakültesi, Spor Salonu, Yabancı Diller Yüksekokulu, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ve İlahiyat Fakültesinden oluşmaktadır. Kullanılan güneş panelleri Telefunken marka olup 275 W gücünde panellerdir.

Üniversitenin elektrik enerjisi ihtiyacı temel olarak şebeke enerjisi ile sağlanmaktadır. Ancak gündüz saatlerinde FV paneller ile üretilen elektrik enerjisi invertörler ile AC’ye dönüştürülüp AC baralar ile yüklere aktarılmaktadır. Yükün ihtiyacı olandan fazla üretilen elektrik enerjisi ise BAŞKENT Elektrik A.Ş.’ye geri satılmaktadır.

4.3.1. Teknoloji Fakültesi GES Üretim Değerleri

Teknoloji Fakültesi'nde FV paneller çatıya konumlandırılmıştır. 1136 adet 275W FV panel kullanılan binanın DC kurulu gücü ($1136 \cdot 0,275 \text{kW}_p$) 312,4 kW_p olarak hesaplanmıştır. 1 adet 60 kW, 5 adet 50 kW'lık eviricinin kullanıldığı binanın AC kurulu gücü ($1 \cdot 60 + 5 \cdot 50$) 310 kWe olarak bulunmuştur. Teknoloji Fakültesi aylık GES enerji üretim değerleri Şekil 4.12'de verilmiştir.

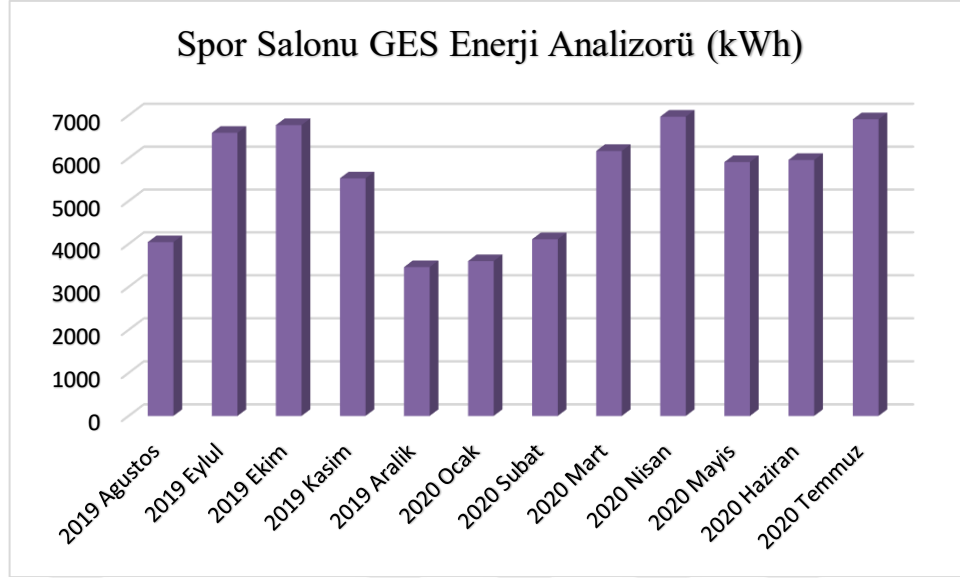


Şekil 4.12. Teknoloji Fakültesi aylık GES enerji üretim değerleri [63].

4.3.2. Spor Salonu GES Üretim Değerleri

Spor Salonu'nda FV paneller çatıya konumlandırılmıştır. 198 adet 275W FV panel kullanılan binanın DC kurulu gücü ($198 \cdot 0,275 \text{kW}_p$) 54,45 kW_p olarak hesaplanmıştır. 1 adet 50 kW'lık eviricinin kullanıldığı binanın AC kurulu gücü ($1 \cdot 50$) 50 kWe olarak bulunmuştur.

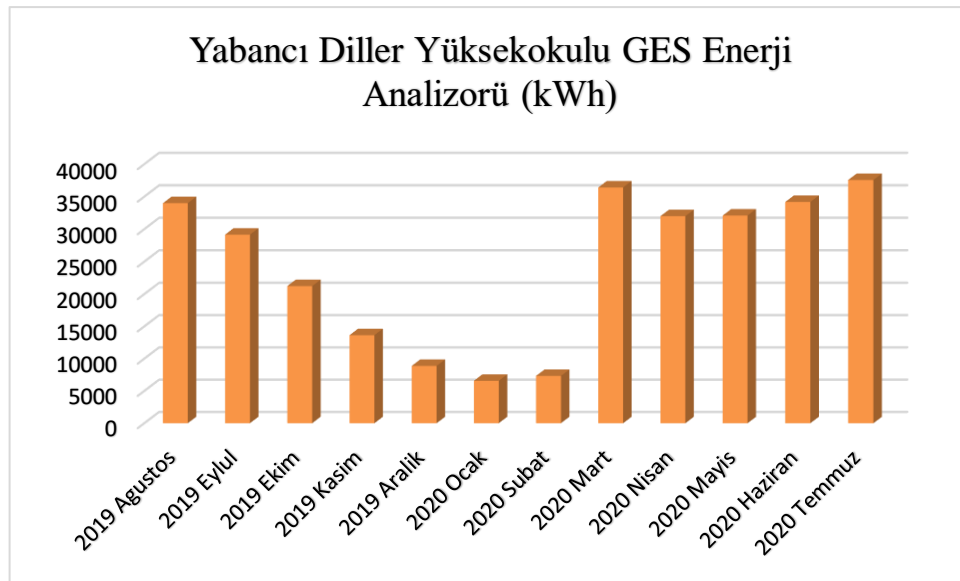
Spor Salonu aylık GES enerji üretim değerleri Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Spor Salonu aylık GES enerji üretim değerleri [63].

4.3.3. Yabancı Diller Yüksekokulu GES Üretim Değerleri

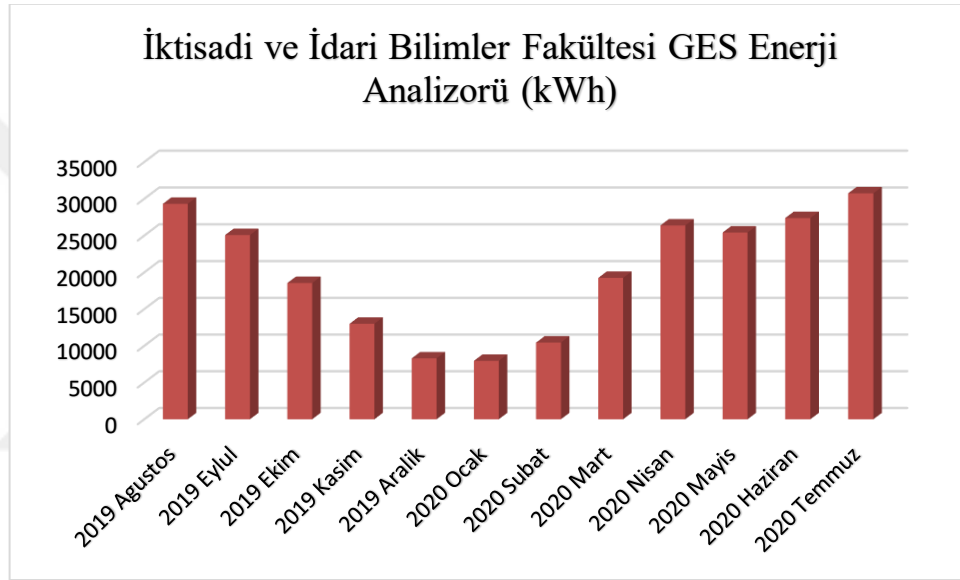
Yabancı Diller Yüksekokulu'nda FV paneller çatıya konumlandırılmıştır. 980 adet 275W FV panel kullanılan binanın DC kurulu gücü ($980 \cdot 0,275 \text{kW}_p$) 269,5 kW_p olarak hesaplanmıştır. 3 adet 60 kW, 1 adet 50 kW ve 2 adet 20 kW'lık eviricinin kullanıldığı binanın AC kurulu gücü ($3 \cdot 60 + 1 \cdot 50 + 2 \cdot 20$) 270 kWe olarak bulunmuştur. Yabancı Diller Yüksekokulu aylık GES enerji üretim değerleri Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Yabancı Diller Yüksekokulu aylık GES enerji üretim değerleri [63].

4.3.4. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi GES Üretim Değerleri

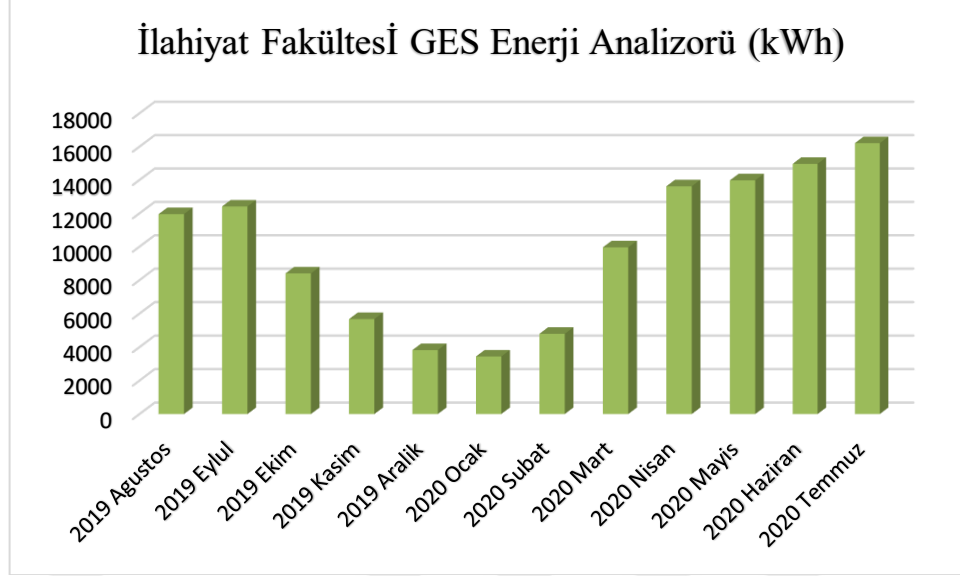
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde FV paneller çatıya ve binanın yan yüzeylerine konumlandırılmıştır. 1202 adet 275W FV panel kullanılan binanın DC kurulu gücü ($1202 \cdot 0,275 \text{kW}_p$) 330,55 kW_p olarak hesaplanmıştır. 1 adet 60 kW, 3 adet 50 kW ve 4 adet 20 kW'lık eviricinin kullanıldığı binanın AC kurulu gücü ($1 \cdot 60 + 3 \cdot 50 + 4 \cdot 20$) 290 kWe olarak bulunmuştur. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi aylık GES enerji üretim değerleri Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.15. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi aylık GES enerji üretim değerleri [63].

4.3.5. İlahiyat Fakültesi GES Üretim Değerleri

İlahiyat Fakültesi'nde FV paneller çatıya ve binanın yan yüzeylerine konumlandırılmıştır. 423 adet 275W FV panel kullanılan binanın DC kurulu gücü ($423 \cdot 0,275 \text{kW}_p$) 116,325 kW_p olarak hesaplanmıştır. 2 adet 50 kW ve 2 adet 20 kW'lık eviricinin kullanıldığı binanın AC kurulu gücü ($2 \cdot 50 + 2 \cdot 20$) 140 kWe olarak bulunmuştur. İlahiyat Fakültesi aylık GES enerji üretim değerleri Şekil 4.16'da verilmiştir.



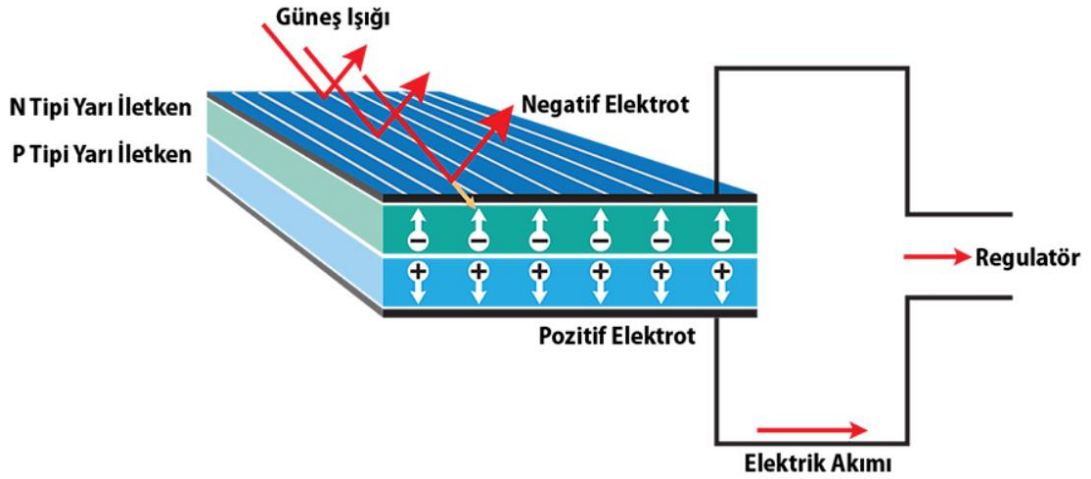
Şekil 4.16. İlahiyat Fakültesi aylık GES enerji üretim değerleri [63].

4.4. KAYNAKLARIN SEÇİMİ

Kaynak seçimi yapılırken yüklerin elektrik ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisi, enerji kaynağı olarak kullanılmıştır.

4.4.1. Fotovoltaik Hücreler

Yunanca'da ışık kelimesinin karşılığı olan foto ve gerilim birimi olan volt kelimelerinin birleşmesinden meydana gelen fotovoltaik olay ilk olarak Fransız fizik adamı Edmund Becquerel tarafından 1839'da keşfedilmiştir. Bir çözeltilinin içine iki adet elektrot katarak ışık uygulamış ve elektrotlar üzerinde gerilimin arttığını gözlemlemiştir [65]. Şekil 4.17'de FV hücre tarafından güneş ışınlarının elektrik enerjisine çevrilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.17. FV hücrenin genel yapısı [66].

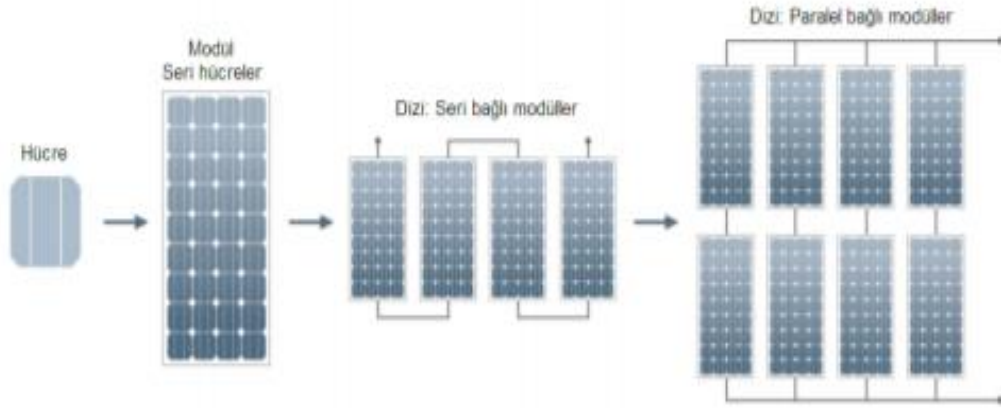
Fotovoltaik hücreler, yüzeylerine düşen güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken malzemelerdir. Alanları genel olarak 100 cm^2 , kalınlıkları $0,1-0,4 \text{ mm}$ arasında olan fotovoltaik hücrelerin yüzeyleri kare, dikdörtgen ve daire biçiminde üretilebilmektedir.

Güneş ışınları fotovoltaik hücre üzerine düştüğü zaman uçlarında bir elektrik gerilimi oluşur. Hücrede oluşan bu elektrik enerjisinin kaynağı yüzeyine etki eden güneş enerjisidir. Güneş enerjisini parçacık formatında bulunan fotonlar aracılığı ile iletir. Fotonlar ile taşınan enerji yarı iletken yüzeye temas ettiğinde elektronların hareketi gerçekleşerek elektrik akımı oluşmaktadır.

Güneş hücreleri yapılarına bağlı olarak güneş enerjisini %5 ile %30 arası verimle elektrik enerjisine dönüştürebilmektedirler. Güneş hücrelerinin seri bağlanması ile gerilim arttırılırken, modüllerin paralel bağlanmasıyla da akım miktarının arttırılması sağlanmaktadır.

Bir fotovoltaik hücre yarı iletkenin özelliğine bağlı olarak $0,5 - 0,8 \text{ V}$ arası gerilim üretirler. Ancak üretilen bu değer yetersizdir. Kullanılabilir bir gerilim değeri elde etmek için çok sayıda FV hücre (yaklaşık olarak 36- 72 arasında) seri ya da paralel bağlantı metodları ile birleştirilerek modüller oluşturulur. Modüllerinde birleştirilmesi

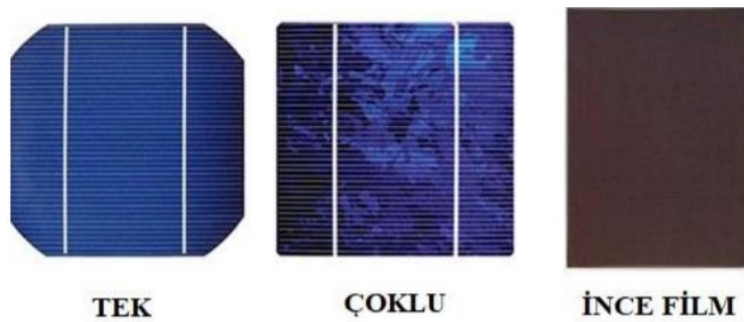
ile paneller meydana gelir. Şekil 4.18’da FV hücre, modül ve dizi tasarımları gösterilmiştir.



Şekil 4.18. FV hücre, modül ve dizi tasarımları [67].

Fotovoltaik hücreler farklı yöntemler ve farklı malzemeler ile üretilebilmektedir. Günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip maddeler şunlardır [68]:

Kristal Silisyum: Tek kristal silisyum bloklardan meydana getirilen güneş pilleri 150-200 mikron kalınlığında dilimlenerek üretilirler. Laboratuvar ortamında % 24, ticari uygulamalarda ise % 15 ve daha fazla verim elde edilmektedir. Üretilen bir diğer malzeme ise Çok kristal silisyum güneş pildir. Üretim maliyetinin düşük olmasının yanı sıra verimleri % 2-5 daha düşüktür. Verimleri laboratuvar ortamında % 18, ticari uygulamalarda ise yaklaşık % 14’dür (Şekil 4.19) [68].



Şekil 4.19. Tek kristalli, çok kristalli ve ince film FV hücreler [68].

Galyum Arsenit (GaAs): Laboratuvar ortamında % 25 – %28 verim elde edilebilen bir madde olmasına ek olarak diğer yarı iletken maddeler ile oluşturulduğunda % 30’a

kadar verim elde edilmektedir. Optik yoğunlaştırıcı sistemlerde ve uzay uygulamalarında kullanılmaktadır.

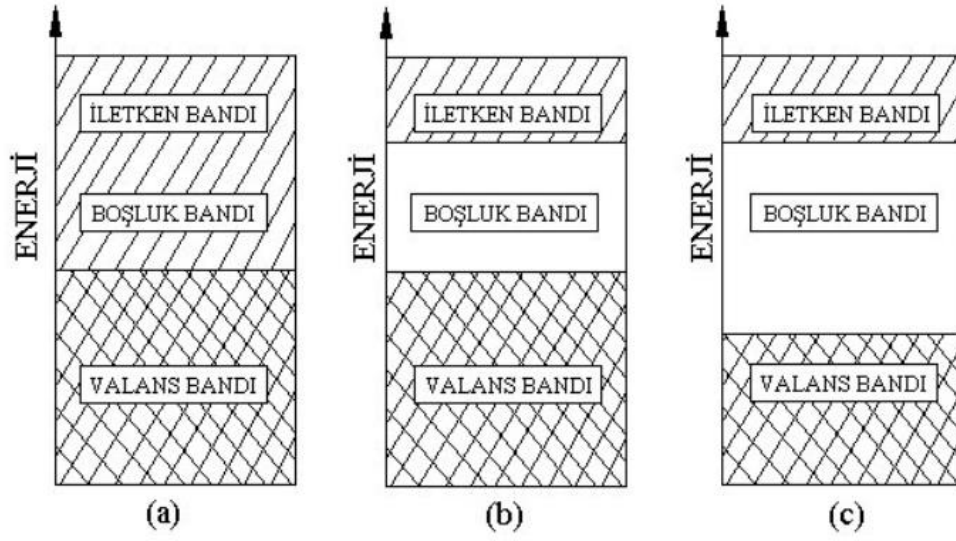
Amorf Silisyum: Günümüzde genel olarak küçük elektronik aletlerin güç kaynağı olarak kullanılan bu maddeden elde edilen verim laboratuvar ortamında %10 iken ticari uygulamalarda %5 - %7 seviyelerindedir. Bir diğer kullanım alanı ise enerji üretici çalışmaları, binalara monte edilen yarısaydam cam yüzeyler ve dış koruyuculardır [68].

Kadmiyum Tellürid (CdTe): Özellik olarak çok kristal yapıda olan kadmiyum tellürid ile güneş hücrelerinin üretim maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmektedir. Laboratuvar çalışmalarında %16, ticari uygulamalarda %7 oranında verim alınmaktadır. Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler: Yapımı uygun maliyetli plastik malzeme ya da cam olan yoğunlaştırıcılar üzerlerine gelen ışığı 10-500 kat arası oranda yoğunlaştırırlar ve modül verimleri %20'yi, hücre verimleri ise %30'u geçebilmektedir [68].

4.4.2. Fotovoltaik Hücrelerin Çalışma Prensibi

Yarı iletken maddeler elektriksel olarak iletken duruma geçebilmeleri için bazı dış etkenler ile katkılanmaları gerekmektedir. Normal şartlarda yalıtkan özellik gösteren bu maddeler manyetik etki, elektriksel gerilim, ışık gibi dış etkiler ile elektronlarının bir kısmını serbest bırakarak iletim durumuna geçerler. Elektronik ürünlerde kullanılmakta olan transistor, diyot gibi FV hücreler de yarı iletken maddelerden üretilirler. Özellikleri en iyi bilinen yarı iletken malzemelerden birisi silisyumdur.

Şekil 4.20 iletken, yarı iletken ve yalıtkan malzemelerin iletkenlik seviyesine göre değişen bant enerjilerini göstermektedir.



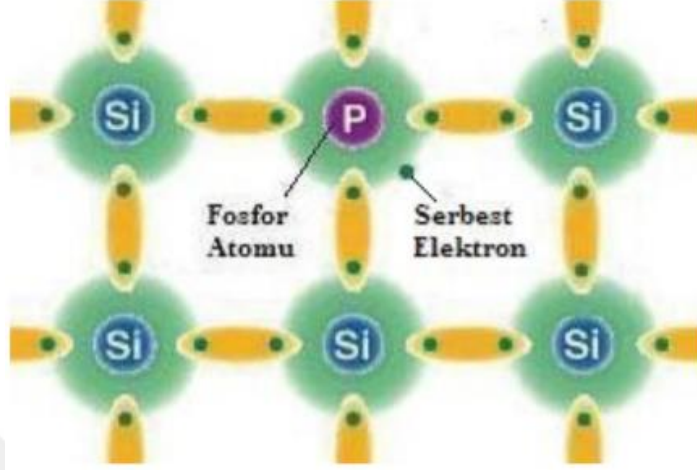
Şekil 4.20. a) iletken, b) yarı iletken ve c) yalıtkan malzemelerin enerji seviyeleri [69].

FV hücrelerin çalışma prensibi üzerlerine düşen güneş ışınlarına dayanır. Güneşten gelen ve farklı dalga boyutlarına bağlı olarak enerji içeren fotonlar FV hücre yüzeyine geldiklerinde bir bölümü hücre tarafından soğurulur, bir bölümü geri yansıtılır, bir bölümü de hücrenin içerisinden geçer. Hücrenin soğurduğu fotonlar tarafından elektrik üretimi gerçekleştirilir. Fotonun taşıdığı enerji yarı iletken maddenin atomun da yeralan elektrona aktarılır. Elektron, aldığı bu enerji sayesinde normal seviyesinden kurtulma yeteneği kazanır.

Şekil 4.20’de gösterildiği gibi iletkenlik bandı ile valans bandı arasında kalan boşluk bandı ne kadar az olursa madde o kadar iletken kabul edilir. Aradaki bu boşluk bandının artması atomu iletken formdan yalıtkan forma çevirir. Yarı iletkenlerin boşluk bandı yalıtkan ve iletken özellikteki atomların arasındadır. Yarı iletken maddelerin elektrik akımını en iyi şekilde iletmelerini sağlamak için katkılama işlemi yapılmalıdır. Katkılama işlemi kullanılacak katkı maddelerinin saf yarı iletken madde içerisine kontrollü olarak eklenmesi ile gerçekleşir.

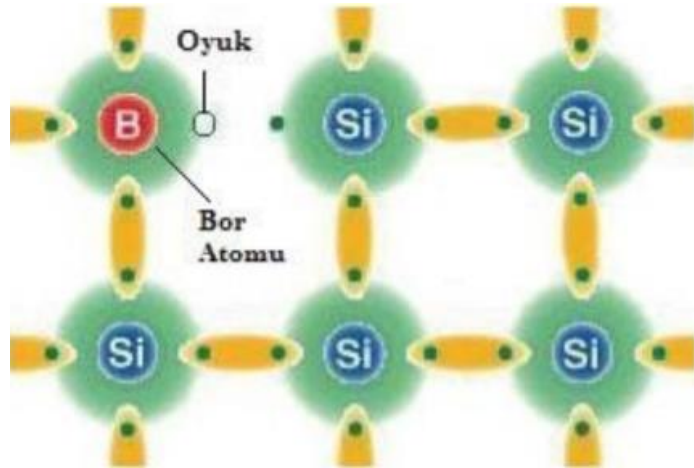
Şekil 4.21’de gösterildiği gibi n tipi malzemeyi elde edebilmek için silisyum elementi genellikle periyodik cetvelin 5A grubundan seçilen fosfor ile katkılanır. Silisyumun son yörüngesinde 4 elektron, fosforun son yörüngesinde ise 5 elektron bulunmaktadır.

Fosfor fazla olan bir elektronunu kristal yapıya verir ve elektron bakımından zengin olan bir n tipi madde oluşur.



Şekil 4.21. Katkılama işleminde n-tipi malzeme oluşumu [70].

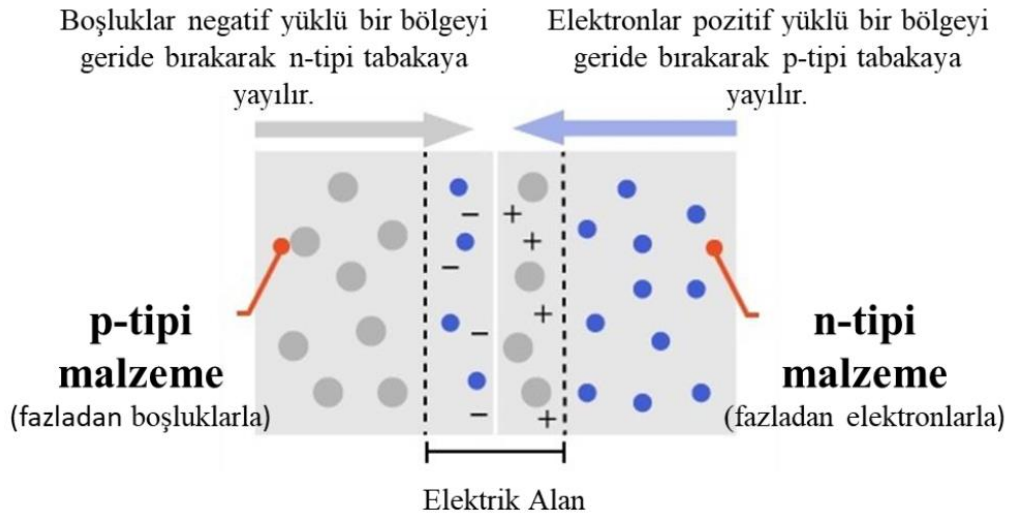
Şekil 4.22’de gösterildiği gibi p tipi maddenin oluşması için silisyum 3A grubundan bor elementi ile katkılanır. Elektronların karşılıklı bağ kurması sonucunda silisyumda bir elektron boşa çıkar ve karşısında boşluk adı verilen bir kısım oluşur.



Şekil 4.22. Katkılama işleminde p-tipi malzeme oluşumu [70].

Artık yarı iletken malzemeden elektrik üretilmesi için gereken işlemler yapılmıştır. Bu adımdan sonra Şekil 4.23’de gösterildiği gibi bu iki madde birleştirilir ve aralarında bir elektrik alanı meydana getirilir. FV hücreler p tipi ve n tipi olmak üzere yarı iletken

malzemelerin birleşiminden oluşurlar. P tipi ve n tipi yarı iletken maddelerin içerlerine katılan gerekli katkı maddeleri ile yarı iletken malzemeler oluşturulur. P tipi yarı iletken de boşluklar, n tipi yarı iletken de ise elektronlar çoğunluk akım taşıyıcısıdır. Bu iki madde bir araya getirilmeden önce elektriksel olarak nötr durumdadırlar. PN eklem meydana getirildiğinde n tipi yarı iletkendeki elektronlar p tipi yarı iletkene doğru akım oluşturur. Yük dengesi sağlanana kadar bu işlem iki tarafta da olur. PN türü malzemenin birleşme bölgesinde p tipine yakın tarafta negatif ve n tipine yakın tarafta pozitif yük birikir. Bu birleşme bölgesine geçiş bölgesi denir. Yarı iletken maddenin FV hücre gibi çalışması için birleşme bölgesinde bu dönüşümün sağlanması gerekmektedir. Bu işlem iki şekilde gerçekleştirilebilir; birincisi birleşim bölgesine güneş ışınlarının düşürülüp elektron-hol çiftleri meydana getirilerek, ikincisi ise bunların birleşim bölgesine uygulanacak elektrik alan sayesinde birbirinden ayrılmasıdır. Elektronların hareketi n tipi maddeden p tipi maddeye doğru gerçekleşirken, akımın da p tipi maddeden n tipi maddeye olduğu kabul edilir.



Şekil 4.23. P tipi ve N tipi malzemelerin birleşmesi [71].

4.4.3. FV Panel Seçimi

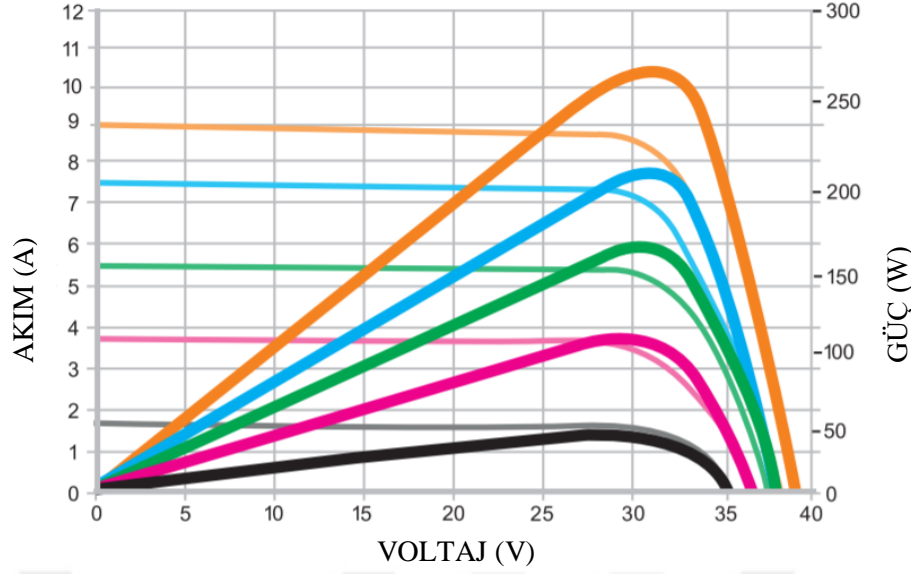
Modellenen hibrit güç üretim sisteminde FV panellerin modellenmesi aşamasında seçilen bölgede en yüksek verimle elektrik enerjisi üretebilmek için bazı şartların dikkate alınması gerekmektedir. FV panellerde dikkat edilmesi gereken önemli faktörlerden bazıları; FV panelin gücü, verimi, türü ve çalışma koşullarıdır. HOMER

programı ile girilen yük değerline göre yapılan simülasyon sonuçlarında her bina için kullanılacak FV panelin ideal boyutu belirlenmiştir. Çalışmada benzetim yapılırken kullanılacak olan FV panel, yerli bir üretici firma olan Alfa Solar Enerji firmasının A3S60P 275 modeli seçilmiştir. Maksimum gücü 275 W, modül verimi % 16,69 ve 60 adet polikristal hücreye sahiptir (). Seçilen panelin karakteristik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

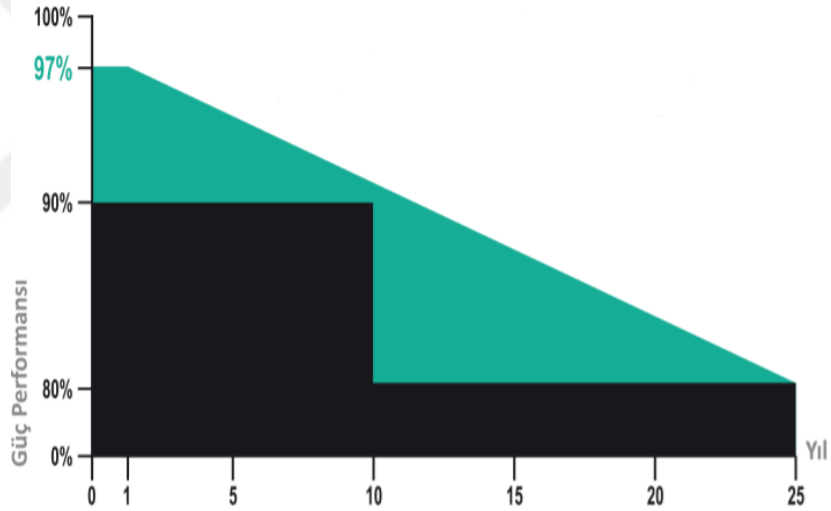
Çizelge 4.2. FV panelin karakteristik özellikleri [72].

MODEL	A3S60P 275
(P_{max}) Maksimum Güç	275 W
(%) Modül Verimi	16,69
(I_{mpp}) Maksimum Güç Noktası Akımı	8,46 A
(I_{sc}) Kısa Devre Akımı	8,99 A
(V_{mpp}) Maksimum Güç Noktası Voltajı	32,52 V
(V_{oc}) Açık Devre Voltajı	38,58 V
Güneş Hücresi	60 Adet Polikristal Tip 6” Silikon Hücre
Panel Yaşam Ömrü	25 yıl

Seçilen Alfa Solar A3S60P 275 model FV panelin I-V eğrisi Şekil 4.24’de, güç kaybı faktörü ise Şekil 4.25’de gösterilmektedir ve ürünün veri sayfasında mevcuttur. Standart test koşullarından (1000 W/m², 25°C, 1,5 AM) başlayarak 200 W/m² zayıf ışık koşullarında dahi üstün performansa sahip bir paneldir. Panelin güç performansı ilk 10 yıl % 90 üzeri sonraki 15 yıl %80 üzeridir. Panel ömrü ise 25 yıl olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.24. Alfa Solar A3S60P 275 I-V eğrisi [72].



Şekil 4.25. Alfa Solar A3S60P 275 doğrusal güç kaybı faktörü [72].

FV paneller tarafından üretilen elektrik gücünün 1 kW için sermaye maliyeti 325\$, yenileme maliyeti 325\$, işletme ve bakım maliyeti ise 10\$ olarak belirlenmiştir. Programda farklı değer aralıklarında FV panel gücünün girilmesine olanak tanıyan alana benzetim hesabında kullanılmak üzere şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı hibrit sistem modellemelerine en düşük 0 kW ve en yüksek 700 kW aralığında panel gücü tanıtılmıştır [73].

HOMER, yeryüzüne gelen güneş ışınlarının zeminden yansıma değerini çimle kaplı bölgeler için %20, kar ile kaplı bölgeler için yaklaşık %70 olarak almaktadır. Bu tez çalışmasında her bina için kullanılan FV panellerde zemin yansıma değeri %20 olarak belirlenmiştir.

4.4.4. Dizel Jeneratör Seçimi

Hibrit sistem tasarımında yenilenebilir enerji kaynaklarına ilaveten elektrik enerjisinin devamlılığını sağlamak için bir dizel jeneratör seçilmiştir. Dizel jeneratör HOMER programında AC iletim hattına bağlanır ve AC enerjisi üretmektedir. Sistem tasarımı yapılırken çalışma alanı olarak seçilen binalarda kullanılacak olan dizel jeneratör seçiminde tepe yük değerlerini karşılayacak kadar (90,55 kW ve 86,44 kW) güce sahip bir jeneratör gerekmektedir. Jeneratörlerin tam kapasite çalışmayıp %80 - %90 kapasite oranında çalışması uygundur. Bu nedenle yükün kesinti zamanlarında elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için EMSA JENERATÖRÜN 400V/50 Hz; 1500 rpm, 3 faz 100 kW'lık bir jeneratör seçilmiştir ve yakıt kaynağı olarak dizel yakıt kullanılmıştır. Jeneratörün ömrü 150 bin saat olup bu yaklaşık 18 yıl'a denk gelmektedir.

Sistem tasarımında kullanılan jeneratör modelinin sermaye maliyeti 15000 \$, yenileme maliyeti 15000 \$, işletme ve bakım maliyeti 120 \$/yıl ve dizel yakıt fiyatı 0.76 \$/L olarak belirlenmiştir [74].

4.4.5. Şebeke Seçimi

HOMER programında yenilenebilir enerji kaynakları şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız olarak modellenabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerjinin eksik olduğu zamanlarda şebekeden enerji alınabildiği gibi üretim fazlası durumlarda da şebekeye enerji satılabilmektedir. Bu tez çalışmasında Karabük Üniversitesi şebeke elektrliğini kullandığından dolayı şebekeye bağlı tasarımlar gerçekleştirilmiştir.

Şebekeden satın alınan elektriğin birim fiyatı 0.0928 \$/kWh, şebekeye satılan elektriğin birim fiyatı ise 0.05 \$/kWh olarak alınmıştır [75].

4.4.6. Akü Seçimi

Hibrit sistem modellemesinde kullanılan bataryalar, yenilenebilir enerji kaynakları ile yükün enerji ihtiyacının karşılandıktan sonra üretilen fazla enerjinin depolandığı ve üretilen enerjinin yetersiz kaldığı durumlarda depoladığı enerjiyi sisteme aktaran elemanlardır.

Bu tez çalışmasında kullanılan akü adeti en uygun maliyeti hesaplayabilmek adına kullanıcıya bırakılmamış, HOMER programının optimizer bölümünden ayarlanmıştır.

Tasarımda kullanılan akü GAMATECH firmasının 12 V 83.4Ah'lik kurşun asit aküsüdür ve ömrü 800 kWh'tir. 1 kWh' lik bir adet akünün fiyatı 177\$ olarak alınmıştır [76].

4.4.7. Konvertör ve Şarj Regülatörü Seçimi

Çalışma alanı olarak belirlenen binalardaki yüklerin tamamı AC baraya bağlıdır. Ancak yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminde ise bazen DC bara bağlantısı gerekmektedir. AC'dan üretilen enerjinin fazlasını DC'a çevirip aküler üzerinde depolamak veya DC olarak depolanan enerjinin AC yüklerde kullanılmasını sağlamak için kullanılan cihazlar konvertörlerdir.

Bu tez çalışmasında 100 kVA'lık bir konvertör kullanılmıştır. Konvertörün sermaye verimi %96,4, sermaye maliyeti 5000\$, yenileme maliyeti 5000\$, işletme ve bakım maliyeti 0\$/yıl'dır [73].

Şarj regülatörünün fiyatı ise 200\$ olarak alınmıştır [73].

BÖLÜM 5

SİMÜLASYON SONUÇLARI

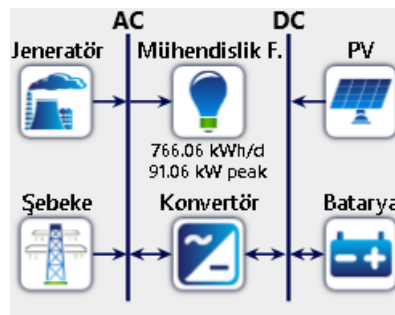
HOMER yazılımı ile şebekeye bağlı KBÜ hibrit mikroşebekesi için girilen değerler ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyonların sonucunda birçok farklı durumu analiz ederek karşılaştıran HOMER en iyi net bugünkü maliyet (NBM), seviyelendirilmiş enerji maliyeti (SEM), işletme maliyetini, başlangıç maliyetini ve diğer ekonomik parametreleri önerir.

Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ve Öğrenci İşleri Merkezi binaları için farklı bileşenlere sahip dört senaryoda analizler gerçekleştirilecektir:

- Durum 1– Şebeke ve jeneratör
- Durum 2 – Şebeke, FV sistem ve jeneratör
- Durum 3– Şebeke, FV sistem, batarya ve jeneratör
- Durum 4 – Şebeke, batarya ve jeneratör.

5.1. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ SİMÜLASYON SONUÇLARI

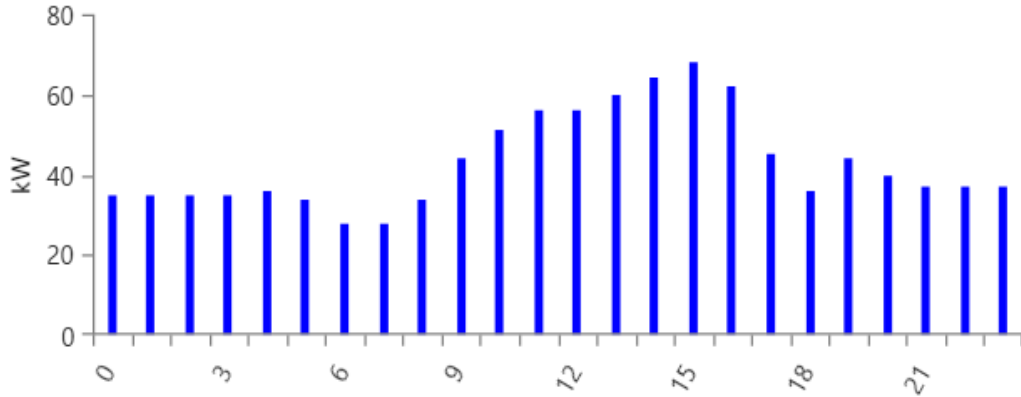
HOMER programında şebekeye bağlı modda oluşturulan çalışmada KBÜ Mühendislik Fakültesi hibrit sistem bileşenleri tasarlanmıştır (Şekil 5.1).



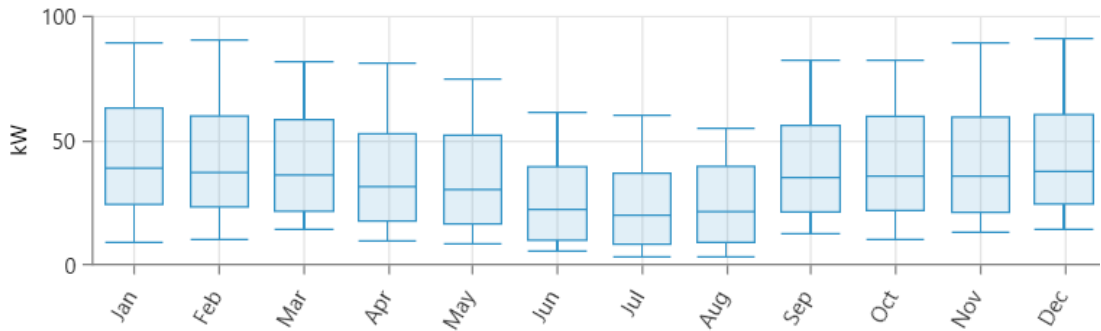
Şekil 5.1. Mühendislik Fakültesi hibrit sistem tasarımı.

Önerilen sistem elektrik şebekesi, FV sistemi, dizel jeneratör, akü ve yükten oluşmaktadır. Şebeke ve dizel jeneratör AC baraya bağlanırlar ve yükler de AC baradan beslenir. FV sistem ve depolama üniteleri DC baraya bağlı olup FV paneller tarafından üretilen DC enerji AC'a konvertör aracılığıyla dönüştürülerek yükün ihtiyacı karşılanır. HOMER girilen yük profili verilerini kullanarak ortalama günlük enerji tüketim değerlerini ve yükün tepe noktasını hesaplar.

HOMER tarafından hesaplanan yükün günlük ve mevsimsel profili sırasıyla Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de gösterilmektedir. Oluşturulan yük profilinde tasarlanan sistemin gerçekliliğini artırmak için HOMER'da şebeke elektriğinde yılda ortalama 4 kez kesinti olduğu, kesintilerin ortalama 3 saat sürdüğü ve onarım süresi değişkenliği de %10 olarak alınıp hesaplamalara dahil edilmiştir. Elektrik şebekesinde yaşanan bu kesintilerde ya da yaşanabilecek arızalarda mikroşebeke sistemi şebekeden ayrılarak yükün elektriğini FV sistem ve dizel jeneratör ile karşılar.

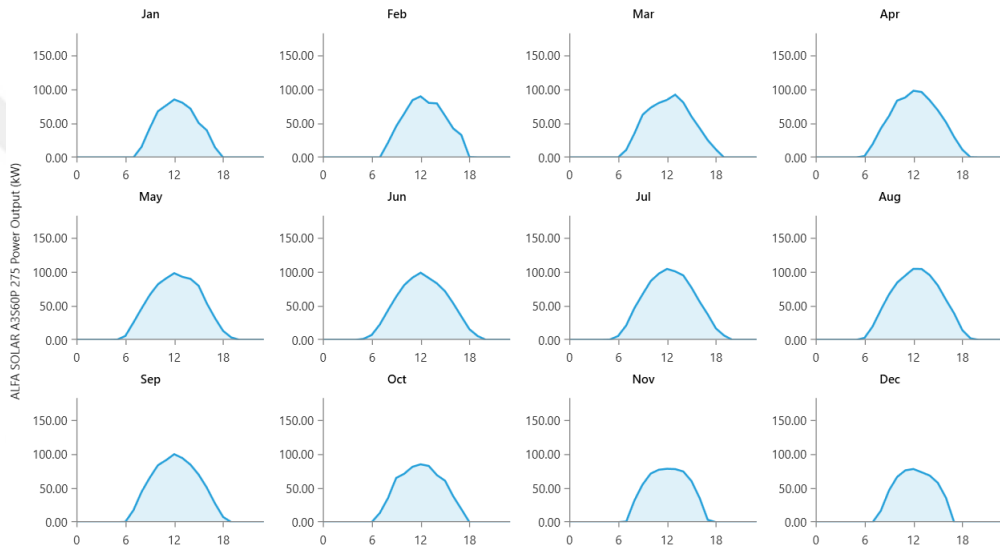


Şekil 5.2. Mühendislik Fakültesi günlük yük profili.

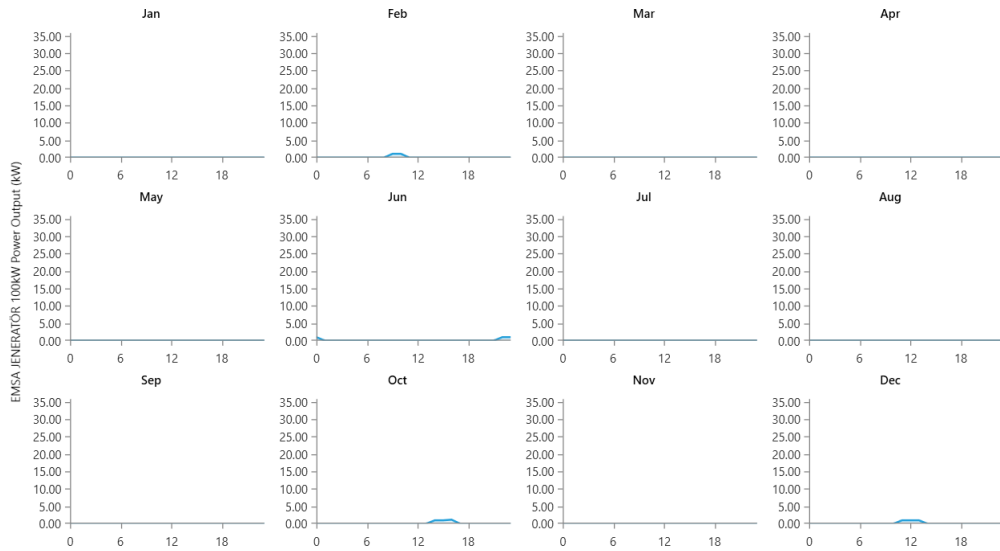


Şekil 5.3. Mühendislik Fakültesi mevsimsel yük profili.

Mühendislik Fakültesi için ortalama yük değeri HOMER tarafından günlük 766,06 kWh/gün olarak hesaplanmıştır. Ortalama yük değeri 31,92 kW, maksimum yük değeri 91,06 kW ve yük faktörü 0,35 olarak elde edilmiştir. Maksimum yük Aralık 2019'da gerçekleşmiştir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında en düşük güç tüketimlerinin yaşanmasının nedeni eğitim-öğretimde yaz tatiline girilmesi, öğrenci ve personel sayısında ki azalma ve ısıtma sistemi için kazanların çalışmıyor olmasıdır. FV sistemin ve dizel jeneratörün yıllık yük profilleri sırasıyla Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.4. Mühendislik Fakültesi FV panel yıllık yük profili (kW).



Şekil 5.5. Mühendislik Fakültesi dizel jeneratör yıllık yük profili (kW).

Şebeke bağlantılı olarak tasarımı gerçekleştirilen bu sistemde simülasyon sonuçlarına göre batarya grubuna ihtiyaç duyulmamıştır. Enerjinin sürekliliğinin şebeke, FV panel ve jeneratör ile karşılanması sağlanmıştır.

Mühendislik Fakültesi için şebeke bağlantılı olarak gerçekleştirilen hibrit sistem tasarımı sonucunda HOMER ile kategorize edilen optimizasyon sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Optimizasyon sonuçları 4 farklı durum ile listelenmiş olup kazanan sistem tasarımı yani önerilen en uygun optimizasyon sonucu Durum 2’de verilmiştir. Bu tabloda kWh başına düşen en düşük elektrik enerjisi fiyatı 0,0618\$ olan ve Durum 2’de verilen şebeke, FV sistem ve dizel jeneratörden oluşan sistem en ekonomik ölçüm sonucu olarak elde edilmiştir.

Durum 2 ve Durum 3’de kWh başına düşen enerji maliyetleri aynı olmasına rağmen Durum 2’yi en optimal tasarım yapan nedenler başlangıç maliyetinin, net bugünkü maliyetinin ve işletme maliyetinin Durum 3’den daha ucuz olmasıdır.

Çizelge 5.1. Mühendislik Fakültesi hibrit sistemin optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.

	Durum 1 Temel Durum (Şebeke, jeneratör)	Durum 2 Önerilen sistem (Şebeke, FV-sistem ve jeneratör)	Durum 3 (Şebeke, FV-sistem, batarya ve jeneratör)	Durum 4 (Şebeke, batarya ve jeneratör)
Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (\$/kWh)	0,0970\$	0,0618\$	0,0618\$	0,0976\$
Başlangıç maliyeti (\$)	15.200\$	78.541\$	80.707\$	16.484\$
Net bugünkü maliyet (\$)	998.230\$	691.259\$	692.585\$	1.00M\$
İşletme maliyeti (\$/yıl)	26.699\$	16.641\$	16.619\$	26.841\$
Elektrik üretimi (kWh/yıl)	279.654	413.160	419.479	279.654
Yatırımın geri dönüşü (%)	0	11,8	11,4	-15,5
Yenilenebilir oran (%)	0	46,2	46,5	0

İncelenen dört durum içinde yıllık elektrik üretimi ve tüketiminin karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda FV sistem kullanılarak oluşturulan sistemlerin (Durum 2 ve Durum 3) diğer sistemlerden (Durum 1 ve Durum 4) daha fazla elektrik enerjisi ürettiği sonucuna ulaşılmaktadır. Yine Durum 2 ve Durum 3’te FV panellerin elektrik üretim payı sırasıyla %60,4 ve %61,2’dir. Yük AC baraya bağlı olduğundan tüketimler tüm durumlar için aynıdır. FV paneller tarafından üretilip şebekeye satılan yıllık fazla elektrik Durum 2’de 24.233 kWh/yıl ve Durum 3’de 24.827 kWh/yıl olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.2. Mühendislik Fakültesi durum bazında yıllık elektrik üretim ve tüketimin karşılaştırılması.

Bileşenler	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
Üretim (kWh/yıl)				
FV-sistem	-	249.556 (% 60,4)	256.756 (% 61,2)	-
Jeneratör	527 (% 0,188)	336 (% 0,0813)	335 (% 0,0798)	527 (% 0,188)
Şebeke satın alımları	279.126 (% 99,8)	163.268 (% 39,5)	162.388 (% 38,7)	279.126 (% 99,8)
Toplam	279.654	413.160	419.479	279.654
Tüketim (kWh/yıl)				
AC Birincil Yük	279.612 (% 100)	279.612 (% 92)	279.612 (% 91,8)	279.612 (100)
Şebeke satışları	-	24.233 (% 7,98)	24.827 (% 8,16)	-
Toplam	279.612	303.845	304.439	279.612
Aşırı elektrik (kWh/yıl)	41.6	104.076	109.746	41.6

Çizelge 5.3’de Mühendislik Fakültesi için yıl bazında emisyonlar karşılaştırılmıştır. Tüm durumlar için karbon monoksit ve partikül madde karşılaştırması yapıldığında FV panel içeren durumların birbiriyle (Durum 2 ve Durum 3) emisyon değerlerinin aynı olduğu, FV panel içermeyen durumlarında birbiriyle (Durum 1 ve Durum 4)

emisyona değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. Farklılıklar FV sisteminin yer aldığı ve FV sistemi olmayan durumlarda karbondioksit, kükürt dioksit ve nitrojen oksit emisyonları arasında gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.3. Mühendislik Fakültesi durum bazında yıllık emisyonların karşılaştırılması.

	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
Emisyonlar (kg/yıl)				
Karbondioksit	176,978	103,599	103,042	176,978
Karbonmonoksit	0,494	0,358	0,358	0,494
Yanmamış Hidrokarbonlar	0,0712	0,0517	0,0516	0,0712
Partikül Madde	0,0518	0,0376	0,0376	0,0518
Sülfürdioksit	766	448	446	766
Nitrojen Oksit	375	219	218	375

Optimizasyon sonuçları değerlendirildiğinde en iyi emisyon azaltımı Durum 3’de gerçekleşmiştir. Bunun nedeni FV panellerin Durum 3’te diğer durumlardan daha fazla kullanılması ve ilaveten batarya grubunu içermesidir. FV panellerin kullanılması FV panel olmayan sistemlere göre karbondioksit (CO₂) emisyonunu yaklaşık % 41 oranında azaltmaktadır. Şekil 5.6’da HOMER programında Mühendislik Fakültesi simülasyon sonuçları verilmiştir.

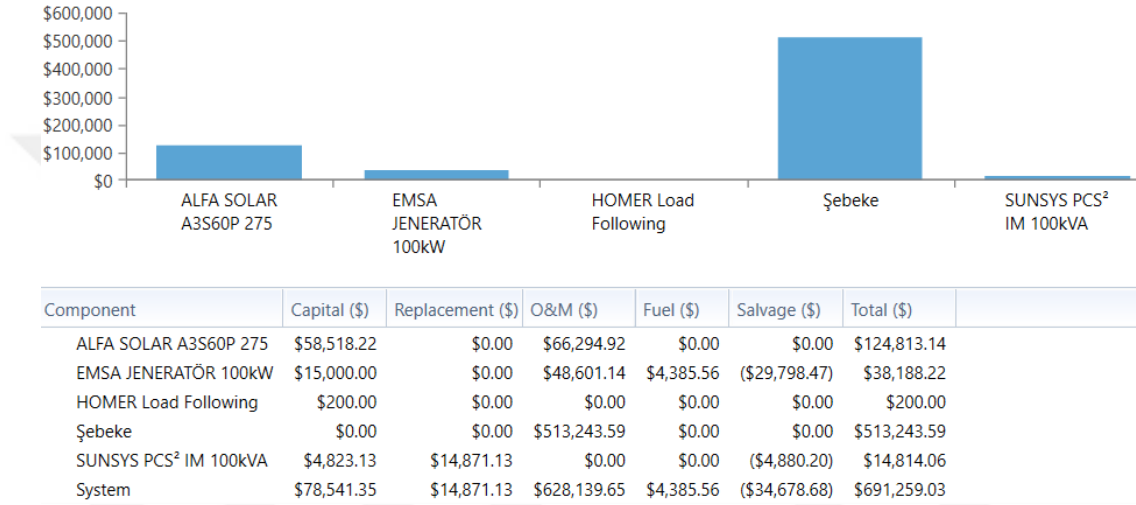
Mimari									Maliyet			
PV (kW)	Jeneratör (kW)	Batarya	Şebeke (kW)	Konvertör (kW)	Dispatch	NBM (\$)	SEM (\$)	İŞletme Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti(\$)			
180	100		300,000	77.2	LF	\$691,259	\$0.0618	\$16,641	\$78,541			
185	100	1	300,000	82.0	LF	\$692,585	\$0.0618	\$16,619	\$80,707			
	100		300,000		LF	\$998,230	\$0.0970	\$26,699	\$15,200			
	100	7	300,000	0.714	LF	\$1.00M	\$0.0976	\$26,841	\$16,484			

Şekil 5.6. HOMER programında Mühendislik Fakültesi simülasyon sonuçları.

KB Mühendislik Fakültesinde en iyi sonuç olarak Şebeke, FV panel 180 kW, dizel jeneratör 100 kW ve konvertör 77,2 kW olarak hesaplanmıştır. Seviyelendirilmiş

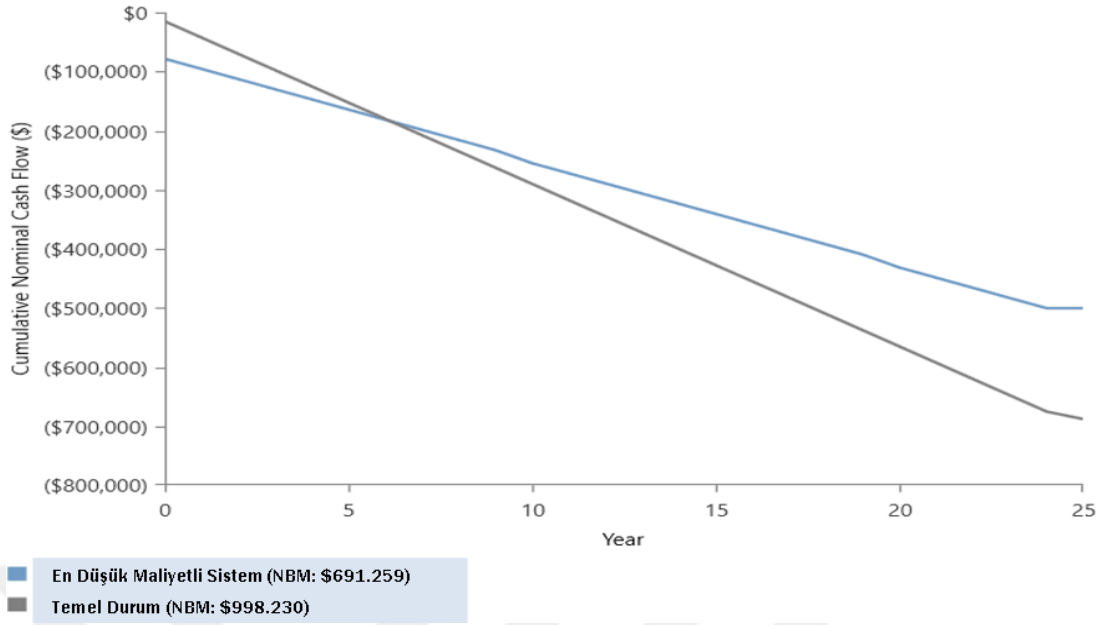
Enerji Maliyeti (SEM) 0,0618 \$ bulunmuştur. Net Bugünkü Maliyet (NBM) 691.259 \$, işletme maliyeti (\$/yıl) 16.641 \$ ve başlangıç maliyeti 78.541 \$ değerindedir. Sevk stratejisi (dispatch strategy), LF (Load Following) yük takibi yani öncelik olarak yükün ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılama stratejisi kullanılmıştır.

Şekil 5.7’de HOMER tarafından Mühendislik Fakültesi için bileşenlerin maliyet özeti görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.7. Mühendislik Fakültesi maliyet özeti.

Dört adet durum içerisinde Durum 2 en düşük maliyet ile önerilen sistem olarak analiz edilir. Şekil 5.8’de toplam net maliyetlerin karşılaştırılması Durum 2 ve Durum 1 arasında gerçekleşmiştir. Önerilen sistem tasarımı ile temel sistemin karşılaştırılması sistemin nasıl tasarruf ettiğini göstermektedir. İki sistemin kesiştiği ve basit geri ödemenin gerçekleştiği süre 6,1 yıl olarak gerçekleşmiştir.

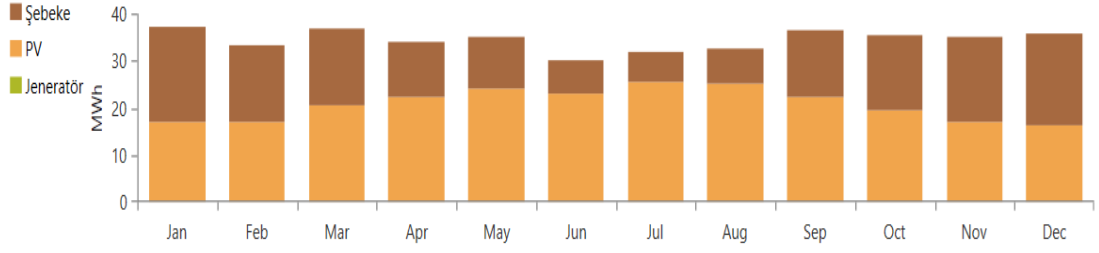


Şekil 5.8. Mühendislik Fakültesi temel durum ve en düşük maliyetli sistem tasarımının net bugünkü maliyet karşılaştırması.

Şebeke ve dizel jeneratörden oluşan temel sistemin başlangıç maliyeti 15.200 \$ iken önerilen sistemin başlangıç maliyeti 78.541 \$ olarak temel sistemden daha pahalı olmasına rağmen Net Bugünkü Maliyet (NBM) önerilen sistemden 306.971 \$ daha ucuzdur. Önerilen sistemin iç karlılık oranı (IRR) % 15,5, yatırım getirisi (Return of investment) % 11,8 ve 5,58 yıl indirimli geri ödemesi (discounted payback) vardır.

Şebeke ve dizel jeneratörlü temel sistem ile yenilenebilir enerji kaynağının kullanıldığı önerilen sistem arasındaki aylık enerji kullanımlarının karşılaştırılması EK AÇIKLAMALAR B’de verilmiştir.

Şekil 5.9’da Durum 2 için aylık elektrik üretiminin bileşenlere göre dağılımı gösterilmiştir. Elektrik üretiminde şebeke, FV panel ve dizel jeneratör arasında en yüksek pay FV panellere aittir. Alfa Solar A3S60P 275W’lık FV panellerden 249.556 kWh/yıl, şebekeden 163.268 kWh/yıl ve dizel jeneratörden 336 kWh/yıl üretilmiştir. Bu dağılım dizel jeneratörün sadece kesinti anlarında şebeke elektriği gelene kadar devreye girdiğini göstermektedir. Kesintiler Şubat, Haziran, Ekim ve Aralık aylarında yaşanmıştır.



Şekil 5.9. Mühendislik Fakültesi önerilen sistem için aylık elektrik üretimi.

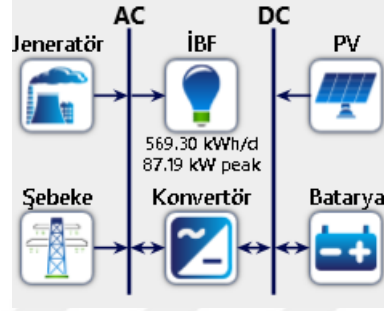
FV panellerin neredeyse yılın tüm aylarında şebeke elektriğinden daha fazla oranda yükün elektrik talebini karşılayabildiği görülmektedir. Öğle saatlerinde FV paneller devreye girdiğinden dolayı yükün enerji ihtiyacını karşılamada FV paneller öne çıkmıştır. Konvertör üretilen DC'yi AC'ye çevirerek depolamadan anlık tüketimi karşılamayı amaçlamıştır. Çizelge 5.4'te dizel jeneratörün yıl içerisindeki çalışma istatistiğine bakıldığında 4 kez gerçekleşen kesinti sırasında devreye girdiği, toplamda 157 L yakıt tüketimi gerçekleştirdiği ve veriminin % 21,8 olduğu görülmüştür. 100 kW olan jeneratör kapasitesinin ortalama güç çıkışı 30,5 kW'dır.

Çizelge 5.4. Dizel jeneratör istatistiği.

Miktar	Değer	Birim
Kapasite	100	kW
Çalışma Saatleri	11,0	saat/yıl
Sermaye Maliyeti	15.000	\$
Devreye Girme Sayısı	4,00	başlama/yıl
Operasyonel Yaşam	1,364	yıl
Kapasite Faktörü	0,0383	%
Sabit Üretim Maliyeti	125	\$/yıl
Elektrik Üretimi	336	kWh/yıl
Ortalama Elektrik Çıkışı	30,5	kW
Yakıt Tüketimi	157	L
Özel Yakıt Tüketimi	0,467	L/kWh
Ortalama Elektrik Verimliliği	21,8	%

5.2. İKTİSADİ VE İDARİ BİLİMLER FAKÜLTESİ (İİBF) SİMÜLASYON SONUÇLARI

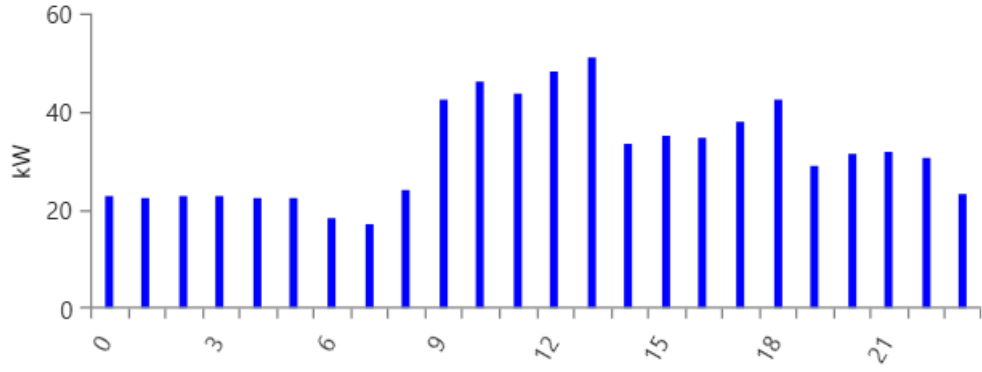
HOMER programında şebekeye bağlı modda oluşturulan çalışmada KBÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi hibrit sistem bileşenleri tasarlanmıştır (Şekil 5.10).



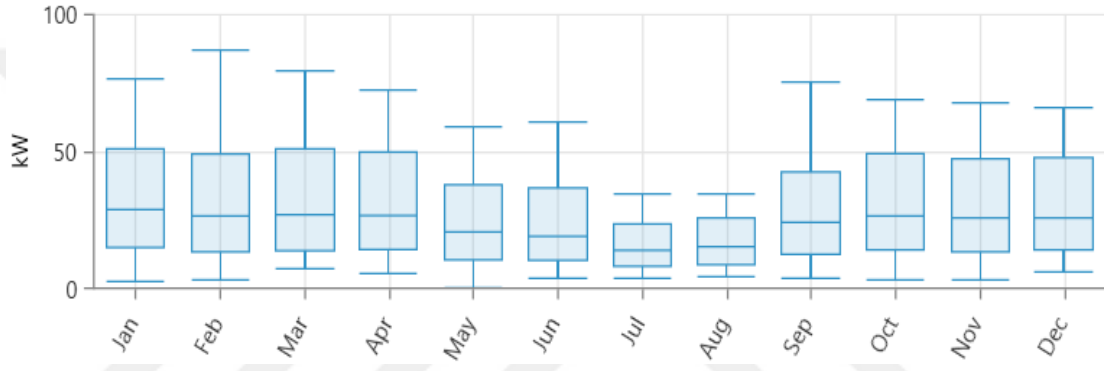
Şekil 5.10. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi hibrit sistem tasarımı.

Önerilen sistem şebeke, FV sistemi, dizel jeneratör ve yükden oluşmaktadır. Şebeke ve dizel jeneratör AC baraya bağlanırlar ve yükler de AC baradan beslenir. FV sistem ve depolama üniteleri DC baraya bağlı olup FV paneller tarafından üretilen DC enerji AC'ye konvertör aracılığıyla dönüştürülerek yükün ihtiyacı karşılanır. HOMER İİBF için girilen yük profili verilerini kullanarak ortalama günlük enerji tüketim değerlerini ve yükün tepe noktasını hesaplar.

HOMER tarafından hesaplanan yükün günlük ve mevsimsel profili sırasıyla Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de gösterilmektedir. Oluşturulan yük profilinde tasarlanan sistemin gerçekliliğini artırmak için HOMER'da şebeke elektriğinde yılda ortalama 9 kez kesinti olduğu, kesintilerin ortalama 3 saat sürdüğü ve onarım süresi değişkenliği de %10 toleransa sahip olduğu hesaplamalara dahil edilmiştir. Elektrik şebekesinde yaşanan bu kesintilerde ya da yaşanabilecek arızalarda mikroşebeke sistemi şebekeden ayrılarak yükün elektriğini FV sistem ve dizel jeneratör ile karşılar.



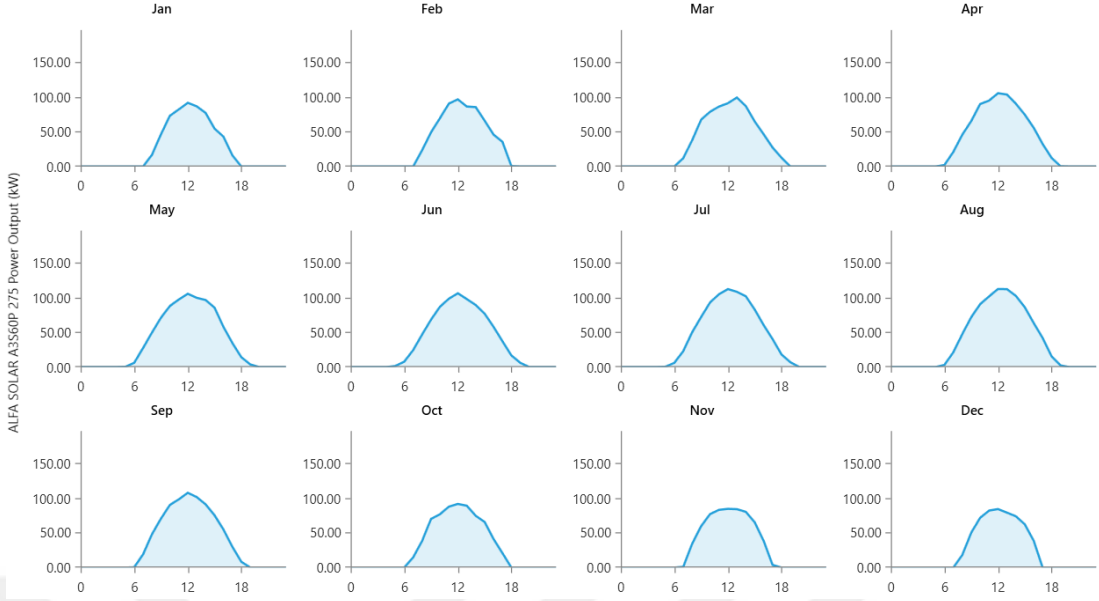
Şekil 5.11. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi günlük yük profili.



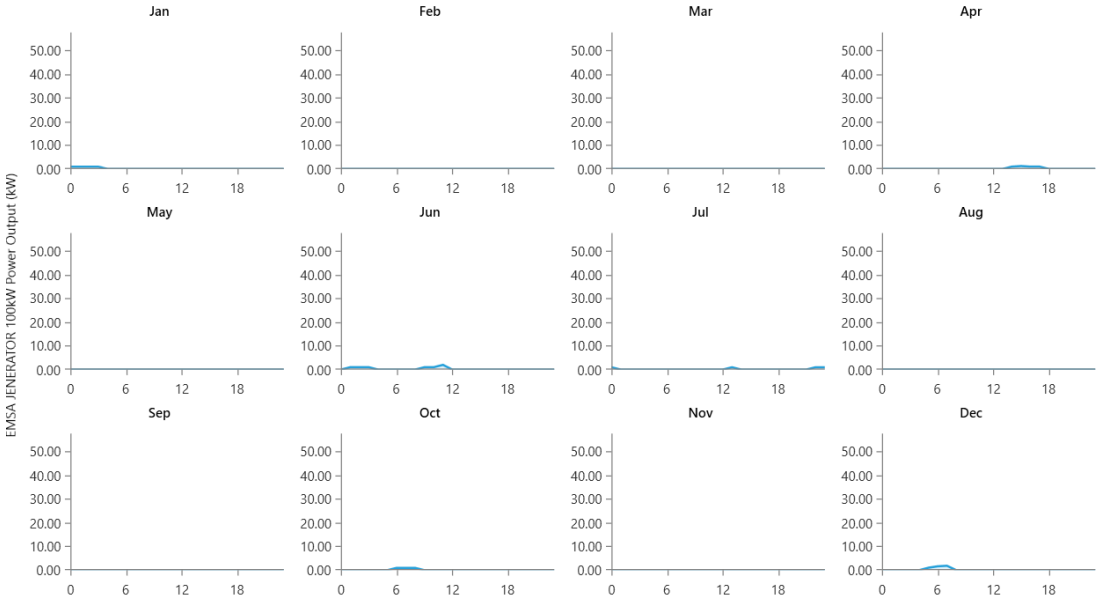
Şekil 5.12. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi aylık yük profili.

İİBF fakültesi için ortalama yük değeri HOMER tarafından günlük 569,30 kWh/gün olarak hesaplanmıştır. Ortalama yük değeri 23,72 kW, maksimum yük değeri 87,19 kW ve yük faktörü 0,27 olarak elde edilmiştir. Maksimum yük Şubat 2019'da gerçekleşmiştir. Temmuz ve Ağustos aylarında en düşük güç tüketimlerinin yaşanmasının nedeni eğitim-öğretimde yaz tatiline girildiğinden öğrenci ve personel sayısında ki azalmadan dolayı ve ısıtma sistemi için kazanların çalışmıyor olmasından dolayıdır.

FV sistemin ve dizel jeneratörün yıllık yük profilleri sırasıyla Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te verilmiştir.



Şekil 5.13. İİBF FV panel yıllık yük profili (kW).



Şekil 5.14. İİBF dizel jeneratör yıllık yük profili (kW).

Şebeke bağlantılı olarak tasarımı gerçekleştirilen bu sistemde simülasyon sonuçlarına göre batarya grubuna ihtiyaç duyulmamıştır. Enerjinin sürekliliğinin şebeke, FV panel ve jeneratör ile karşılanması sağlanmıştır.

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi için şebeke bağlantılı olarak gerçekleştirilen hibrit sistem tasarımı sonucunda HOMER ile kategorize edilen optimizasyon sonuçları

Çizelge 5.5’de verilmiştir. Optimizasyon sonuçları 4 farklı durum ile listelenmiş olup kazanan sistem tasarımı yani önerilen en uygun optimizasyon sonucu Durum 2’de verilmiştir. Bu tabloda kWh başına düşen en düşük elektrik enerjisi fiyatı 0,06736 \$ olan ve Durum 2’de verilen şebeke, FV sistem ve dizel jeneratörden oluşan sistem en ekonomik ölçüm sonucu olarak elde edilmiştir.

Durum 2 ve Durum 3’de kWh başına düşen enerji maliyetleri aynı olmasına rağmen Durum 2’yi en optimal tasarım yapan nedenler başlangıç maliyetinin, net bugünkü maliyetinin ve işletme maliyetinin Durum 3’den daha ucuz olmasıdır.

Çizelge 5.5. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi hibrit sistemin optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.

	Durum 1 Temel durum (Şebeke, jeneratör)	Durum 2 Önerilen sistem (Şebeke , FV-sistem ve jeneratör)	Durum 3 (Şebeke , FV-sistem, batarya ve jeneratör)	Durum 4 (Şebeke , batarya ve jeneratör)
Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (\$/kWh)	0,109\$	0,0674\$	0,0679\$	0,110\$
Başlangıç maliyeti (\$)	15.200\$	82.094\$	80.681\$	16.128\$
Net bugünkü maliyet (\$)	834.235\$	584.379\$	588.090\$	837.797\$
İşletme maliyeti (\$/yıl)	22.245\$	13.642\$	13.781\$	22.316\$
Elektrik üretimi (kWh/yıl)	207.963	381.493	364.387	207.963
Yatırımın geri dönüşü (%)	0	8,8	8,9	-12,1
Yenilenebilir oran (%)	0	51,6	51,0	0

İncelenen dört durum içinde yıllık elektrik üretimi ve tüketiminin karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.6’da verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda FV sistem kullanılarak oluşturulan sistemlerin (Durum 2 ve Durum 3) diğer sistemlerden (Durum 1 ve Durum 4) daha fazla elektrik enerjisi ürettiği ve sistemi kar sağladığı sonucuna ulaşılmaktadır. Yine Durum 2 ve Durum 3’te FV panellerin elektrik üretim payı

sırasıyla %51,6 ve %51,0'dir. Yük AC baraya bağlı olduğundan tüketimler tüm durumlar için aynıdır. FV paneller tarafından üretilip şebekeye satılan yıllık fazla elektrik Durum 2'de 27.814 kWh/yıl ve Durum 3'de 27.420 kWh/yıl olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.6. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi durum bazında yıllık elektrik üretim ve tüketimin karşılaştırılması.

Bileşenler	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
Üretim (kWh/yıl)				
FV-sistem	-	267.453 (% 70,1)	249.144 (% 68,4)	-
Jeneratör	1.042 (% 0,501)	807 (% 0,211)	808 (% 0,222)	1.042 (% 0,501)
Şebeke satın alımları	206.921 (% 99,5)	113.234 (% 29,7)	114.435 (% 31,4)	206.921 (% 99,5)
Toplam	207.963	381.493	364.387	207.963
Tüketim (kWh/yıl)				
AC Birincil Yük	207.794 (% 100)	207.794 (% 88,2)	207.794 (% 88,3)	207.794 (100)
Şebeke satışı	-	27.814 (% 11,8)	27.420 (% 11,7)	-
Toplam	207.794	235.608	235.214	207.794
Aşırı elektrik (kWh/yıl)	169	141.340	124.687	169

Çizelge 5.7'de İktisat ve İdari Bilimler Fakültesi için yıl bazında emisyonlar karşılaştırılmıştır. Tüm durumlar için karbon monoksit ve partikül madde karşılaştırması yapıldığında FV panel içeren durumların (Durum 2 ve Durum 3) emisyon değerlerinin yakın olduğu, FV panel içermeyen durumlarında birbiriyle (Durum 1 ve Durum 4) emisyon değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. Farklılıklar FV sisteminin yer aldığı ve FV sistemi olmayan durumlarda karbondioksit, kükürt dioksit ve nitrojen oksit emisyonları arasında gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.7. İİBF Durum bazında yıllık emisyonların karşılaştırılması.

Miktar	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
Emisyonlar (kg/yıl)				
Karbondioksit	131,981	72,537	73,296	131,981
Karbonmonoksit	1,05	0,844	0,844	1,05
Yanmamış Hidrokarbonlar	0,151	0,122	0,122	0,151
Partikül Madde	0,110	0,0884	0,0885	0,110
Sülfürdioksit	570	313	316	570
Nitrojen Oksit	279	153	155	279

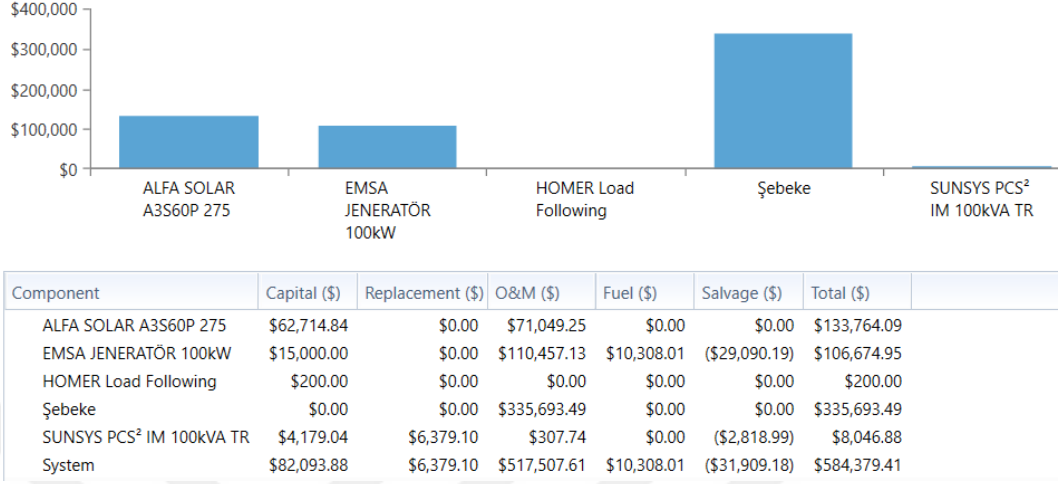
Optimizasyon sonuçları değerlendirildiğinde en iyi emisyon azaltımı Durum 2’de gerçekleşmiştir. Bunun nedeni FV panellerin Durum 2’de (193 kW) diğer durumlardan daha fazla kullanılmasıdır. FV panellerin kullanılması FV panel olmayan sistemlere göre karbondioksit (CO₂) emisyonunu yaklaşık % 55 oranında azaltmaktadır.

Şekil 5.15’de görüldüğü gibi KBÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesinde en iyi sonuç olarak şebeke, FV panel 193 kW, dizel jeneratör 100 kW ve konvertör 66,9 kW olarak hesaplanmıştır. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (SEM) 0,0674 \$ bulunmuştur. Net Bugünkü Maliyet (NBM) 584.379 \$, işletme maliyeti (\$/yıl) 13.642 \$ ve başlangıç maliyeti 82.094 \$ değerindedir. Sevk stratejisi (dispatch strategy), LF (Load Following) yük takibi yani öncelik olarak yükün ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılama stratejisi kullanılmıştır.

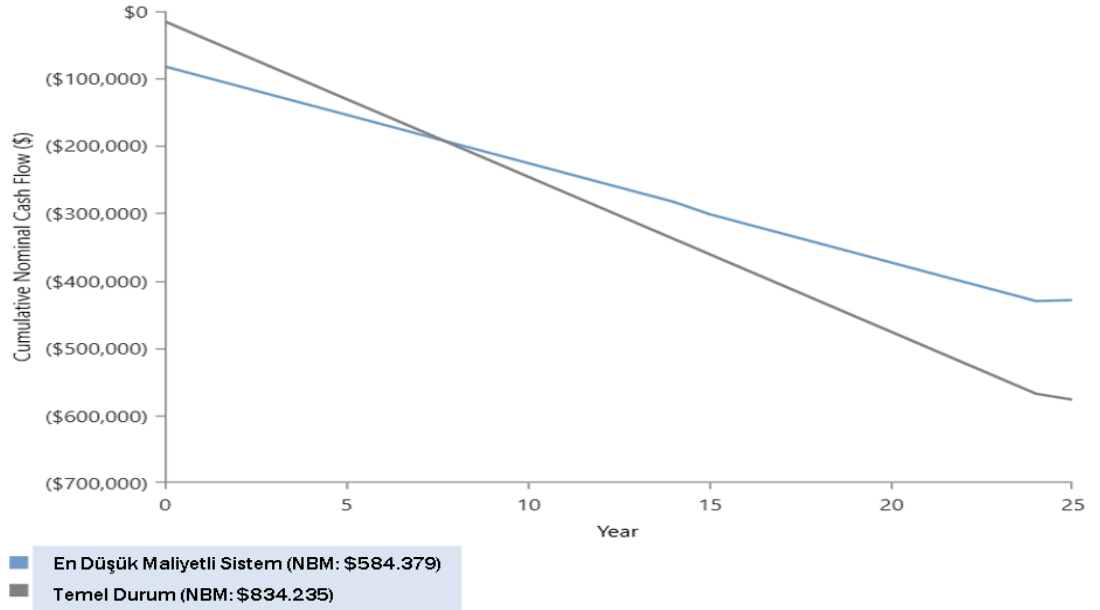
Mimari								Maliyet			
PV (kW)	Jeneratör (kW)	Batarya	Şebeke (kW)	Konvertör (kW)	Dispatch	NBM (\$)	SEM (\$)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti(\$)		
193	100		500,000	66.9	LF	\$584,379	\$0.0674	\$13,642	\$82,094		
180	100	7	500,000	93.1	LF	\$588,090	\$0.0679	\$13,781	\$80,681		
	100		500,000		LF	\$834,235	\$0.109	\$22,245	\$15,200		
	100	5	500,000	0.682	LF	\$837,797	\$0.110	\$22,316	\$16,128		

Şekil 5.15. HOMER programında İİBF simülasyon sonuçları.

Şekil 5.16'da HOMER tarafından İİBF için bileşenlerin maliyet özeti görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.16. İİBF bileşenlerin maliyet özeti.



Şekil 5.17. İİBF temel durum ve en düşük maliyetli sistem tasarımının net bugünkü maliyet karşılaştırması.

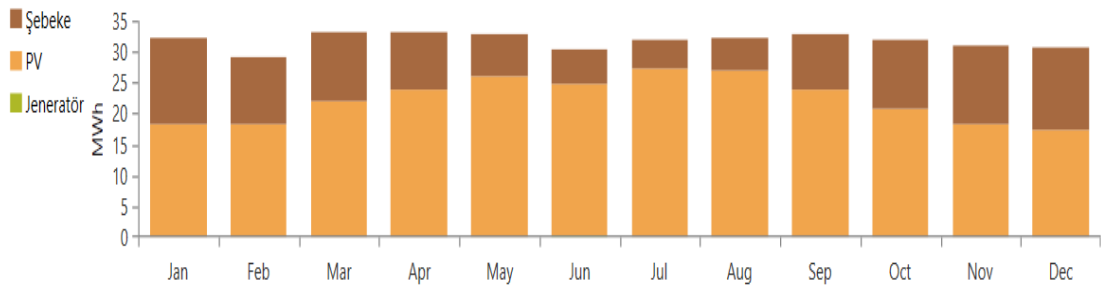
Dört durum içerisinde Durum 2 en düşük maliyet ile önerilen sistem olarak analiz edilmiştir. Net Bugünkü Maliyetlerin karşılaştırılması Durum 2 ve Durum 1 arasında gerçekleşmiştir (Şekil 5.17). Önerilen sistem tasarımı ile temel sistemin

karşılaştırılması sistemin nasıl tasarruf ettiğini göstermektedir. İki sistemin kesiştiği ve basit geri ödemenin gerçekleştiği süre 7,7 yıl olarak gerçekleşmiştir.

Şebeke ve dizel jeneratörden oluşan temel sistemin başlangıç maliyeti 15.200 \$ iken önerilen sistemin başlangıç maliyeti 82.094 \$ olarak temel sistemden daha pahalı olmasına rağmen Toplam Net Maliyet (NBM) temel sistemden 249.856 \$ daha ucuzdur. Önerilen sistemin iç karlılık oranı (IRR) % 12,1, yatırım getirisi (Return of investment) % 8,8 ve 6,87 yıl indirimli geri ödemesi (discounted payback) vardır.

Şebeke ve dizel jeneratörlü temel sistem ile yenilenebilir enerji kaynağının kullanıldığı önerilen sistem arasındaki aylık enerji kullanımlarının karşılaştırılması EK AÇIKLAMALAR B'de verilmiştir.

Durum 2 için aylık ortalama elektrik üretiminin bileşenlere göre dağılımı gösterilmiştir (Şekil 5.18). Elektrik üretiminde şebeke, FV panel ve dizel jeneratör arasında en yüksek pay FV panellere aittir. Alfa Solar A3S60P 275W'lık FV panellerden 267.453 kWh/yıl, şebekeden 113.234 kWh/yıl ve dizel jeneratörden 807 kWh/yıl üretilmiştir. Dizel jeneratörün payının az olması sadece kesinti anlarında devreye girdiğini göstermektedir. Kesintiler Ocak, Nisan, Haziran, Temmuz, Ekim ve Aralık aylarında yaşanmıştır.



Şekil 5.18. İİBF önerilen sistemin aylık elektrik üretimi.

FV panellerin neredeyse yılın tüm aylarında şebeke elektriğinden daha fazla oranda yükün elektrik talebini karşılayabildiği görülmektedir. Öğle saatlerinde FV paneller devreye girdiğinden dolayı yükün enerji ihtiyacını karşılamada FV paneller öne

çıkıştır. Konvertör üretilen DC elektriği AC'ye çevirerek depolamadan anlık tüketimi karşılamayı amaçlamıştır.

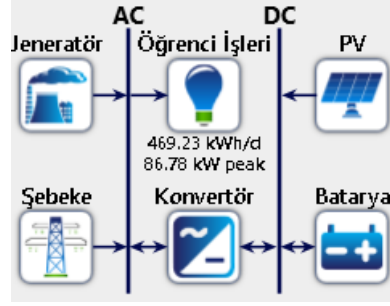
Çizelge 5.8. İİBF dizel jeneratör istatistiği.

Miktar	Değer	Birim
Kapasite	100	kW
Çalışma Saatleri	25,0	saat/yıl
Sermaye Maliyeti	15.000	\$
Devreye Girme Sayısı	9,00	başlama/yıl
Operasyonel Yaşam	600	yıl
Kapasite Faktörü	0,0921	%
Sabit Üretim Maliyeti	125	\$/saat
Elektrik Üretimi	807	kWh/yıl
Ortalama Elektrik Çıkışı	32,3	kW
Yakıt Tüketimi	368	L
Özel Yakıt Tüketimi	0,457	L/kWh
Ortalama Elektrik Verimliliği	22,3	%

Dizel jeneratörün yıl içerisindeki çalışma istatistiğine bakıldığında 9 kez gerçekleşen kesinti sırasında devreye girdiği, toplamda 368 L yakıt tüketimi gerçekleştirdiği ve veriminin % 22,3 olduğu görülmüştür. 100 kW olan jeneratör kapasitesinin ortalama güç çıkışı 32,3 kW'dır (Çizelge 5.8).

5.3. ÖĞRENCİ İŞLERİ MERKEZİ SİMÜLASYON SONUÇLARI

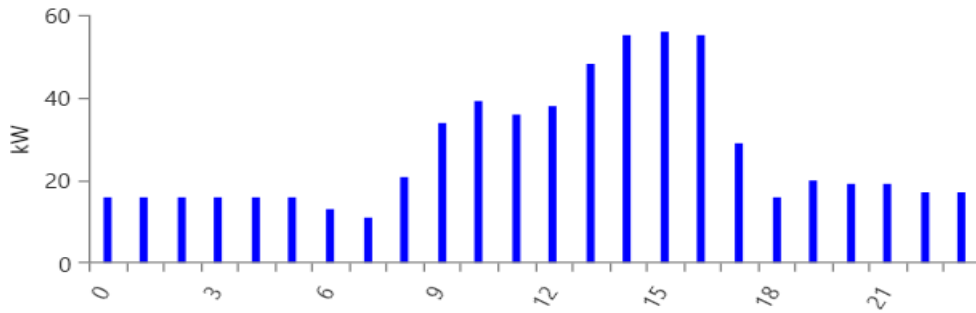
HOMER programında şebekeye bağlı modda oluşturulan çalışmada KBÜ Öğrenci İşleri Merkezi hibrit sistem bileşenleri tasarlanmıştır (Şekil 5.19).



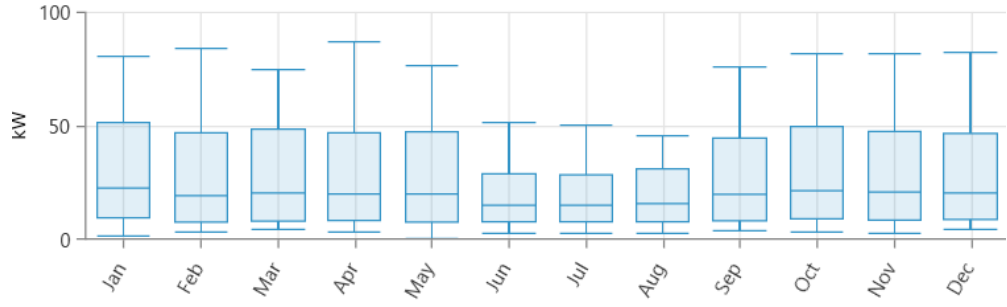
Şekil 5.19. Öğrenci İşleri Merkezi hibrit sistem tasarımı.

Önerilen sistem elektrik şebekesi, FV sistemi, dizel jeneratör, akü grubu ve yükden oluşmaktadır. Şebeke ve dizel jeneratör AC baraya bağlanırlar ve yükler de AC baradan beslenir. FV sistem ve akü grubu DC baraya bağlı olup FV paneller tarafından üretilen DC enerji AC'ye konvertör aracılığıyla dönüştürülerek yükün ihtiyacı karşılanır. HOMER girilen yük profili verilerini kullanarak ortalama günlük enerji tüketim değerlerini ve yükün tepe noktasını hesaplar.

HOMER tarafından hesaplanan yükün günlük ve mevsimsel profili sırasıyla Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'de gösterilmektedir. Oluşturulan yük profilinde tasarlanan sistemin gerçekliliğini artırmak için HOMER'da şebeke elektriğinde yılda ortalama 9 kez kesinti olduğu, kesintilerin ortalama 3 saat sürdüğü ve onarım süresi değişkenliği de %10 olarak alınıp hesaplamalara dahil edilmiştir. Elektrik şebekesinde yaşanan bu kesintilerde ya da yaşanabilecek arızalarda mikroşebeke sistemi şebekeden ayrılarak yükün elektriğini FV sistem, akü ve dizel jeneratör ile karşılar.



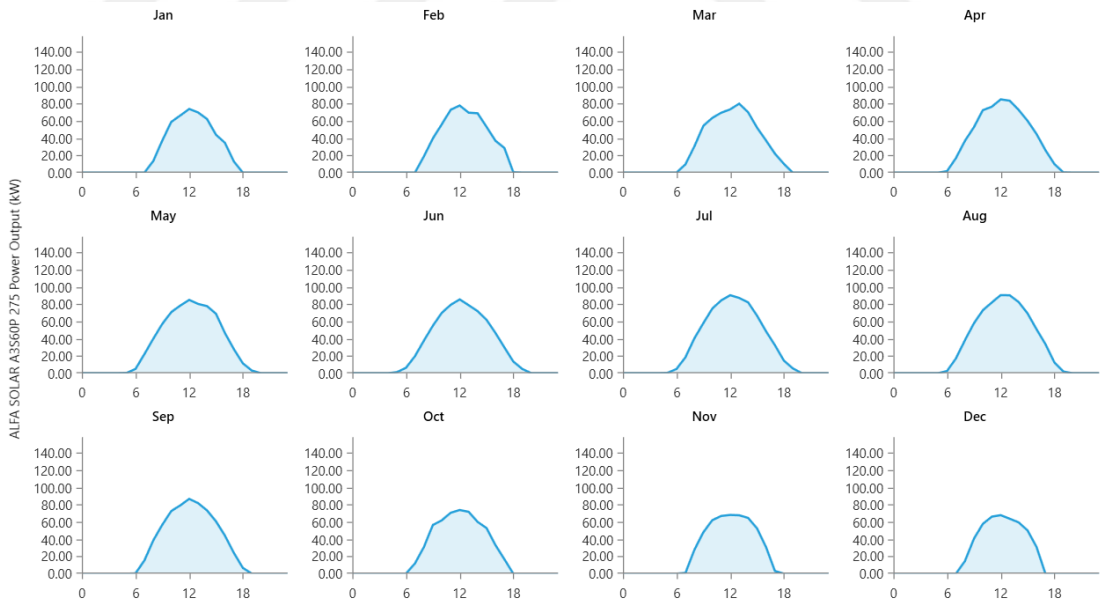
Şekil 5.20. Öğrenci İşleri Merkezi günlük yük profili.



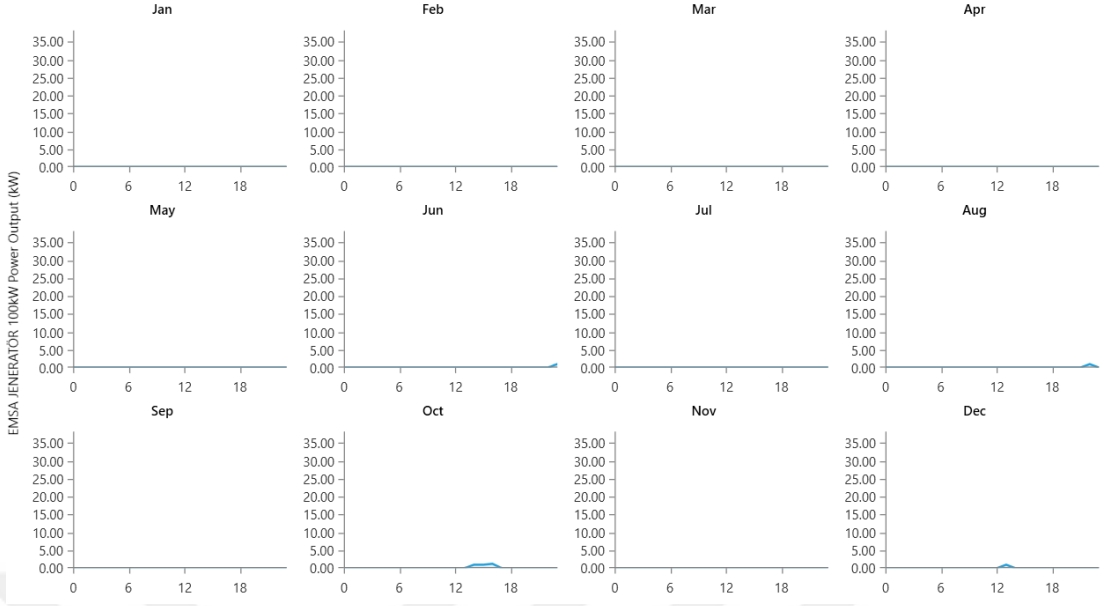
Şekil 5.21. Öğrenci İşleri Merkezi mevsimsel yük profili.

Öğrenci İşleri Merkezi için ortalama yük değeri HOMER tarafından günlük 469,23 kWh/gün olarak hesaplanmıştır. Ortalama yük değeri 19,55 kW, maksimum yük değeri 86,79 kW ve yük faktörü 0,23 olarak elde edilmiştir. Maksimum yük Nisan 2019’da gerçekleşmiştir.

FV sistemin ve dizel jeneratörün yıllık yük profilleri sırasıyla Şekil 5.22 ve Şekil 5.23’de verilmiştir.



Şekil 5.22. Öğrenci İşleri Merkezi FV panel yıllık yük profili (kW).



Şekil 5.23. Öğrenci İşleri Merkezi dizel jeneratör yıllık yük profili (kW).

Şebeke bağlantılı olarak tasarımı gerçekleştirilen bu sistemde simülasyon sonuçlarına göre enerjinin sürekliliğinin şebeke, FV panel, akü grubu ve jeneratör ile karşılanması sağlanmıştır.

Öğrenci İşleri Merkezi için şebeke bağlantılı olarak gerçekleştirilen hibrit sistem tasarımı sonucunda HOMER ile kategorize edilen optimizasyon sonuçları Çizelge 5.9’da verilmiştir. Optimizasyon sonuçları 4 farklı durum ile listelenmiş olup kazanan sistem tasarımı yani önerilen en uygun optimizasyon sonucu Durum 3’de (FV, dizel jeneratör, akü grubu, şebeke, konvertör) verilmiştir. Bu tabloda kWh başına düşen en düşük elektrik enerjisi fiyatı (SEM) 0,0613 \$ olan ve Durum 3’de verilen şebeke, FV sistem, akü grubu ve dizel jeneratörden oluşan sistem en ekonomik tasarım sonucu olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.9. Öğrenci İşleri Merkezi hibrit sistemin optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.

	Durum 1 Temel durum (Şebeke, jeneratör)	Durum 2 (Şebeke, FV-sistem ve jeneratör)	Durum 3 Önerilen sistem (Şebeke, FV-sistem, batarya ve jeneratör)	Durum 4 (Şebeke, batarya ve jeneratör)
Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (Wh)	0,110\$	0,0624\$	0,0613\$	0,111\$
Başlangıç maliyeti (\$)	15.200\$	66.087\$	83.625\$	15.951\$
Net Bugünkü Maliyet (\$)	695.449\$	450.958\$	444.963\$	699.227\$
İşletme maliyeti (\$/yıl)	18.475\$	10.453\$	9.814\$	18.558\$
Elektrik üretimi (kWh/yıl)	171.618	285.761	299.863	171.618
Yatırımın geri dönüşü (%)	0	11,7	8,5	-15,3
Yenilenebilir bölüm (%)	0	56,0	57,3	0

İncelenen dört durum içinde yıllık elektrik üretimi ve tüketiminin karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda FV sistem kullanılarak oluşturulan sistemlerin (Durum 3 ve Durum 2) diğer sistemlerden (Durum 1 ve Durum 4) daha fazla elektrik enerjisi ürettiği sonucuna ulaşılmaktadır. Yine Durum 3 ve Durum 2’de FV panellerin elektrik üretim payı sırasıyla %71,9 ve %69,8’dir. Yük AC baraya bağlı olduğundan tüketimler tüm durumlar için aynıdır.

FV paneller tarafından üretilip şebekeye satılan yıllık fazla elektrik Durum 3’de 25.984 kWh/yıl ve Durum 2’de 25.054 kWh/yıl olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.10. Öğrenci İşleri Merkezi durum bazında yıllık elektrik üretim ve tüketimin karşılaştırılması.

Bileşenler	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
Üretim (kWh/yıl)				
FV-sistem	-	199.411 (% 69,8)	215.598 (% 71,9)	-
Jeneratör	879 (% 0,512)	670 (% 0,235)	188 (% 0,0628)	879 (% 0,512)
Şebeke satın alımları	170.739 (% 99,5)	85.680 (% 30,0)	84.077 (% 28,0)	170.739 (% 99,5)
Toplam	171.618	285.761	299.863	171.618
Tüketim (kWh/yıl)				
AC Birincil Yük	171.269 (% 100)	171.269 (% 87,2)	171.269 (% 86,8)	171.269 (100)
Şebeke satışı	-	25.054 (% 12,8)	25.984 (% 13,2)	-
Toplam	171.269	196.322	197.253	171.269
Aşırı elektrik (kWh/yıl)	349	85.322	98.357	349

Çizelge 5.11’de Öğrenci İşleri Merkezi için yıl bazında emisyonlar karşılaştırılmıştır. Tüm durumlar için karbon monoksit ve partikül madde karşılaştırması yapıldığında FV panel içermeyen durumların (Durum 1 ve Durum 4) emisyon değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. Farklılıklar FV sisteminin yer aldığı ve FV sistemi olmayan durumlarda karbondioksit, kükürt dioksit ve nitrojen oksit emisyonları arasında gerçekleşmiştir.

Optimizasyon sonuçları değerlendirildiğinde en iyi emisyon azaltımı Durum 3’de gerçekleşmiştir. FV panellerin kullanılması FV panel olmayan sistemlere göre karbondioksit (CO₂) emisyonunu yaklaşık % 51 oranında azaltmaktadır (Çizelge 5.11).

Çizelge 5.11. Öğrenci İşleri Merkezi durum bazında yıllık emisyonların karşılaştırılması.

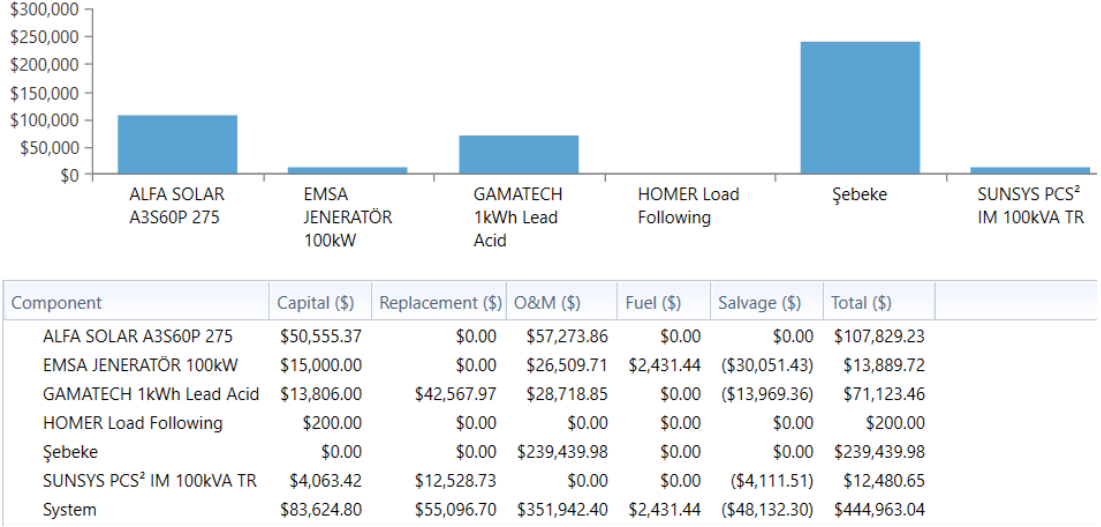
Emisyonlar (kg/yıl)	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
Karbondioksit	108,948	54,976	53,366	108,948
Karbonmonoksit	0,903	0,717	0,199	0,903
Yanmamış Hidrokarbonlar	0,130	0,103	0,0287	0,130
Partikül Madde	0,0946	0,0751	0,0209	0,0946
Sülfürdioksit	470	237	231	470
Nitrojen Oksit	230	116	113	230

KBÜ Öğrenci İşleri Merkezi'nde en iyi sonuç olarak şebeke, FV panel 156 kW, dizel jeneratör 100 kW, akü grubu 78 kW ve konvertör 65,0 kW olarak hesaplanmıştır. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (SEM) 0,0613 \$ bulunmuştur. Net Bugünkü Maliyet (NBM) 444.963 \$, işletme maliyeti (\$/yıl) 9.814 \$ ve başlangıç maliyeti 83.625 \$ değerindedir. Sevk stratejisi (dispatch strategy), LF (Load Following) yük takibi yani öncelik olarak yükün ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılama stratejisi kullanılmıştır (Şekil 5.24).

Mimari										Maliyet			
PV (kW)	Jeneratör (kW)	Batarya	Şebeke (kW)	Konvertör (kW)	Dispatch	NBM (\$)	SEM (\$)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti(\$)				
156	100	78	200,000	65.0	LF	\$444,963	\$0.0613	\$9,814	\$83,625				
144	100		200,000	66.0	LF	\$450,958	\$0.0624	\$10,453	\$66,087				
	100		200,000		LF	\$695,449	\$0.110	\$18,475	\$15,200				
	100	4	200,000	0.682	LF	\$699,227	\$0.111	\$18,558	\$15,951				

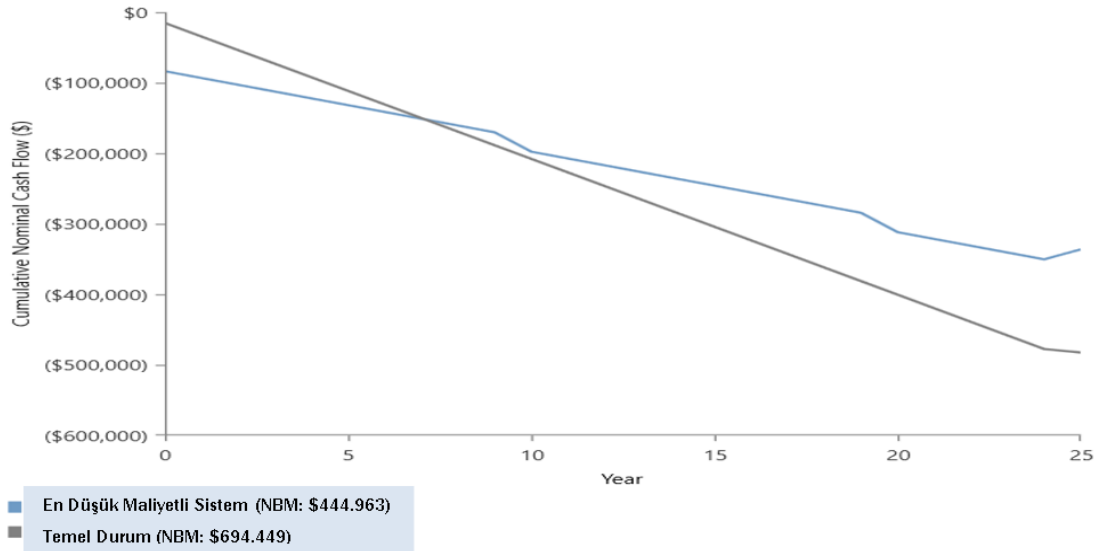
Şekil 5.24. HOMER programında Öğrenci İşleri Merkezi simülasyon sonuçları.

Şekil 5.25'de HOMER programı kullanılarak gerçekleştirilen Öğrenci İşleri Merkezi için bileşenlerin maliyet özeti görüntüsü verilmiştir. Her bileşenin maliyet bazında değerlendirmesi gösterilmiştir.



Şekil 5.25. Öğrenci İşleri Merkezi bileşenlerin maliyet özeti.

Dört adet durum içerisinde Durum 3 en düşük maliyet ile önerilen sistem olarak analiz edilmiştir. Şekil 5.26’da net bugünkü maliyetlerin karşılaştırılması Durum 3 ve Durum 1 arasında gerçekleşmiştir. Önerilen sistem tasarımı ile temel sistemin karşılaştırılması sistemin nasıl tasarruf ettiğini göstermektedir. İki sistemin kesiştiği ve basit geri ödemenin gerçekleştiği süre 7,1 yıl olarak gerçekleşmiştir.



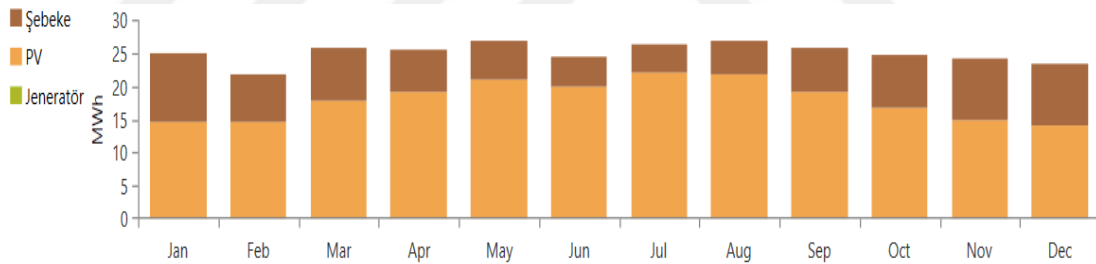
Şekil 5.26. Öğrenci İşleri Merkezi temel durum ve en düşük maliyetli sistem tasarımının net bugünkü maliyet karşılaştırması.

Şebeke ve dizel jeneratörden oluşan temel sistemin başlangıç maliyeti 15.200 \$ iken önerilen sistemin başlangıç maliyeti 83.625 \$ olarak temel sistemden daha pahalı

olmasına rağmen net bugünkü maliyet (NBM) temel sistemden 250.486 \$ daha ucuzdur. Önerilen sistemin iç karlılık oranı (IRR) % 12,0, yatırım getirisi (Return of investment) % 8,5 ve 6,38 yıl indirimli geri ödemesi (discounted payback) vardır.

Şebeke ve dizel jeneratörlü temel sistem ile yenilenebilir enerji kaynağının kullanıldığı önerilen sistem arasındaki aylık enerji kullanımlarının karşılaştırılması EK AÇIKLAMALAR B’de verilmiştir.

Şekil 5.27’de Durum 3 için aylık ortalama elektrik üretiminin bileşenlere göre dağılımı gösterilmiştir. Elektrik üretiminde şebeke, FV panel ve dizel jeneratör arasında en yüksek pay FV panellere aittir. Alfa Solar A3S60P 275W marka FV panellerden 215.598 kWh/yıl, şebekeden 84.077 kWh/yıl ve dizel jeneratörden 188 kWh/yıl üretilmiştir. Bu dağılım dizel jeneratörün sadece kesinti anlarında şebeke elektriği gelene kadar devreye girdiğini göstermektedir. Kesintiler Haziran, Ağustos, Ekim ve Aralık aylarında yaşanmıştır.



Şekil 5.27. Öğrenci İşleri Merkezi önerilen sistemin aylık elektrik üretimi.

FV panellerin neredeyse yılın tüm aylarında şebeke elektriğinden daha fazla oranda yükün elektrik talebini karşılayabildiği görülmektedir. Öğle saatlerinde FV paneller devreye girdiğinden dolayı yükün enerji ihtiyacını karşılamada FV paneller öne çıkmıştır. Konvertör üretilen DC elektriği AC’ye çevirerek depolamadan anlık tüketimi karşılamayı amaçlamıştır.

Çizelge 5.12. Öğrenci İşleri Merkezi dizel jeneratör istatistiği.

Miktar	Değer	Birim
Kapasite	100	kW
Çalışma Saatleri	6,00	saat/yıl
Sermaye Maliyeti	15.000	\$
Devreye Girme Sayısı	4,00	başlama/yıl
Operasyonel Yaşam	2,500	yıl
Kapasite Faktörü	0,0215	%
Sabit Üretim Maliyeti	125	\$/saat
Elektrik Üretimi	188	kWh/yıl
Ortalama Elektrik Çıkışı	31,4	kW
Yakıt Tüketimi	86,9	L
Ortalama Elektrik Verimliliği	22,0	%

Çizelge 5.12’de dizel jeneratörün yıl içerisindeki çalışma istatistiğine bakıldığında 4 kez gerçekleşen kesinti sırasında devreye girdiği, toplamda 86,9 L yakıt tüketimi gerçekleştirdiği ve veriminin % 22,0 olduğu görülmüştür. 100 kW olan jeneratör kapasitesinin ortalama güç çıkışı 31,4 kW’dır.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Çalışmada Karabük Üniversitesi mikroşebekesinin şebekeye bağlı olarak Mühendislik Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ve Öğrenci İşleri Merkezi'nde tasarımı, modellenmesi, ekonomik ve çevresel analizi gerçekleştirilmiştir. Sistem kaynakları olarak FV panel, batarya, dizel jeneratör ve konvertör kullanılmıştır.

Herbir bina için 4 farklı durum senaryosu oluşturulmuş ve bunların birbirleri ile detaylı olarak karşılaştırması yapılarak en uygun sistemin boyut ve ekonomik analizi yapılmıştır.

Rüzgar enerjisinin kullanılabilmesi için Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) verilerine göre yıllık ortalama rüzgar hızının 7 m/s'den fazla ve sürekli olması gerekmektedir. Karabük ilinde REPA verilerine göre bu değer yıllık ortalama 3,48 m/s olduğundan dolayı Karabük Üniversitesi'nde çalışmada simülasyonu gerçekleştirilen tüm binalarda ve durumlarda rüzgar enerjisi enerji kaynağı olarak alınmamıştır.

HOMER programı şebeke elektriğini ve dizel jeneratörün kesinti durumlarında devreye girmesini hesaplayarak sisteme fazla maliyeti olacak akü sayısını en aza indirmiştir. Karabük Üniversitesi'nin konumuna ait Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan güneş radyasyonu verilerine göre maliyeti en düşük seviyeye indirecek şekilde en uygun panel sayısı HOMER programı tarafından hesaplanmıştır.

KBÜ mikroşebeke sistemi, ana şebekede meydana gelebilecek kesinti veya arıza durumlarında elektrik şebekesi ile bağlantılı veya bağımsız olarak çalışabilir. Bu sayede mikroşebeke sistemi planlı yada plansız elektrik kesintisi gerçekleştiğinde yüklerin elektrik ihtiyacını karşılamak için bağımsız modda çalışabilir.

Çalışma sonuçlarına göre yenilenebilir enerji kaynağının elektrik şebekesi ile birlikte kullanılması ve mevcut elektrik dağıtım ağına adapte edilerek yükün enerji ihtiyacını karşılaması günümüz şartlarında en uygulanabilir çözüm olarak görülmüştür. Bunun başlıca nedenleri; şebekeye bağlı mikroşebeke sisteminin enerji sürekliliğini sağlamada daha güvenilir olması, çevresel etki olarak karşılaştırma yapıldığında yenilebilir kaynakların kullanılması ile dizel jeneratörün devreye girmesinin azalmasından dolayı zararlı emisyon değerlerinin düşük çıkmasıdır.

KBÜ mikroşebekesinde optimizasyon, hassasiyet, talep yanıtı ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi farklı senaryolar ile uygulanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre en iyi sistem tasarımlarının; Mühendislik Fakültesi ile İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi için şebeke, FV sistem, dönüştürücü ve dizel jeneratör, Öğrenci İşleri Merkezi binası için şebeke, FV sistem, batarya, dönüştürücü ve dizel jeneratörden oluştukları tespit edilmiştir. KBÜ’de mevcut şebekeden elektrik satın alımının enerji birim maliyeti 0,0928 \$/kWh olmasına karşın yapılan bu tez çalışması sonucunda gerçekleşen seviyelendirilmiş enerji maliyeti Mühendislik Fakültesi’nde 0,0618 \$/kWh, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi’nde 0,0674 \$/kWh, Öğrenci İşleri Merkezi’nde 0,0613 \$/kWh olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, önerilen tasarımların mevcut sistemden daha ekonomik ve avantajlı olduğunu göstermektedir.

Öğrenci İşleri Merkezi’nde akü grubunun diğer binalardan fazla çıkmasının nedeni; binanın günlük ortalama yükünün ve tepe yüklerinin yıl içerisinde diğer binalara göre farklı dönemlerde gerçekleşmesi, şebeke elektriğinde yaşanan kesinti saatleri ve sürelerinin farklı değerlerde olması, jeneratörün daha az kullanılarak akü grubundan elektrik enerjisinin sağlanıp emisyon değerlerinin azaltılmak istenmesinden kaynaklanmıştır.

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesine ait mevcut GES değerleri ile bu çalışmada gerçekleştirilen sonuçlar karşılaştırıldığında mikroşebeke sistemi kullanılarak yapılan bu çalışmanın toplam panel gücü ve ekonomik açıdan daha avantajlı olduğu görülmektedir. İİBF binasında FV panellerin kurulu gücü 330,55 kW_p ve yıllık üretilen elektrik miktarı 241.810 kWh/yıl iken önerilen sistemde FV panel gücü 193 kW ve yıllık üretilen elektrik miktarı 267.453 kWh/yıl olarak gerçekleşmiştir. Önerilen sistemde kurulu gücün daha az olmasına karşın üretilen elektriğin daha fazla olması ve enerji maliyetinin daha düşük çıkmasının nedeni binada mevcut bulunan FV panellerin sadece çatıda olmayıp binanın yan yüzeylerinede konumlandırılmış olmasından dolayıdır.

Çizelge 6.1. Karabük Üniversitesi mikroşebekesinin simülasyon sonuçları.

	Kullanılan Kaynaklar				Maliyetler			
	FV Panel (kW)	Akü (adet)	Konv. (kW)	Dizel Jen. (kW)	SEM (\$)	NBM (\$)	İşlet. Mali. (\$/yıl)	Başla. Mali. (\$)
Müh. Fak.	180	-	77,2	100	0,0618	691.259	16.641	78.541
İİBF	193	-	66,9	100	0,0674	584.379	13.642	82.094
Öğren. İşl. M.	156	78	65,0	100	0,0613	444.963	9.814	83.625

Tüm binalar için kullanılan kaynaklar ve maliyetler Çizelge 6.1’de verilmiştir. Önerilen sistemlerde diğer durum senaryolarına göre FV panellerden elektrik üretiminin payları toplam elektrik üretiminin; Mühendislik Fakültesi’nde % 60,4’ünü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi’nde % 70,1’ini, Öğreni İşleri Merkezi binasında % 69,8’ini oluşturmaktadır. Şebekeye satılan yıllık üretilen elektriğin fazlası; Mühendislik Fakültesi’nde 24.233 kWh/yıl, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi’nde 27.814 kWh/yıl, Öğrenci İşleri Merkezi’nde 25.054 kWh/yıl oldu.

FV paneller içeren önerilen sistem konfigürasyonlarında emisyon değerleri, FV sistem olmayan durumlara göre daha az çıkmıştır. Mühendislik Fakültesi’nde karbondioksit

(CO₂) emisyonu % 41, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde % 55 ve Öğrenci İşleri Merkezi'nde % 51 oranında minimize edilmiştir.

Bu sonuçlara göre çalışmada tüm binalarda FV panellerin elektrik üretim payı yılın her ayında şebekeden fazla olmuştur. Rüzgar enerjisinin dahil edilmediği şebeke/FV/dizel jeneratör/akü/konvertör hibrit mikroşebeke sistemi sayesinde üç binanın enerji ihtiyacının karşılanabilirliği görülmüştür.

6.2. ÖNERİLER

Fosil yakıtların kullanımının çevreye verdiği zararlar bilinmekle beraber her geçen gün artış göstermektedir ve ömrünün yaklaşık 100 yıl kadar kaldığı tahmin edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik üretim maliyeti ise şebeke elektriğine göre daha yüksektir. Ancak son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesi ve bu alanda yapılan çalışmalar maliyetleri düşürme konusunda etkili olmaktadır. Hibrit mikroşebeke enerji sistemlerinin işletme maliyetlerinin, yatırım maliyetlerinden daha düşük olması bu sektörde bileşenler üzerinde yapılacak Ar-Ge çalışmalarını desteklemektedir ve bu alanda yapılan çalışmalar devlet desteği ile teşvik edilmelidir.

Yapılan çalışmaya ilave olarak gerçekleştirilebilecek çalışmalar;

1. Enerjinin daha fazla depolanabilmesi için ilave aküler ve yeni dağıtılmış enerji kaynakları sisteme dahil edilebilir ve üretilen enerji, güç talebinin az olduğu dönemlerde sonra kullanılmak üzere depolanabilir.
2. Yeni enerji kaynakları kullanılarak sistemin Net Bugünkü Maliyeti (NBM) düşürülebilir ve farklı senaryolar altında karşılaştırmalar yapılabilir.
3. Son dönemlerde çıkan ve geçerliliği olan yapay zeka algoritmaları ile sistemin optimizasyonu gerçekleştirilebilir ve mevcut çalışma ile kıyaslanabilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Güney Marmara Kalkınma Ajansı, “Yenilenebilir enerji araştırması sonuç raporu”, <https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Yenilenebilir-Enerji-Arastirmasi.pdf> (2020).
2. T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete, Yüksek Planlama Kurulu, “Enerji verimliliği strateji belgesi (2012-2023)”, Sayı: 28215, (2012).
3. T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, “Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretim yönetmeliği”, Sayı: 30772, (2019).
4. İnternet: www.microgridinstitute.org (2020).
5. Özdemir, E., “Dağılmış enerji üretim sistemleri ve yardımcı hizmetler”, **12. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi**, Kocaeli, 14-18 (2007).
6. Kocaman, B., “Akıllı şebekeler ve mikroşebekelerde enerji depolama teknolojileri”, **BEÜ Fen Bilimleri Dergisi**, 2(1): 119-127 (2013).
7. Lidula, N. W. A., & Rajapakse, A. D., “Microgrids research: A review of experimental microgrids and test systems”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 15(1), 186-202 (2011).
8. Jha, S. K., Stoa, P., & Uhlen, K., “Green and hybrid microgrid for rural electrification”, **IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference**, IEEE, 1-5 (2016).
9. Lee, J., & Han, B., “Operational characteristic analysis of DC micro-grid using detailed model of distributed generation”, **In IEEE PES T&D**, IEEE, 1-8 (2010).
10. Martinez-Cid, R., & O'Neill-Carrillo, E., “Sustainable microgrids for isolated systems” **In IEEE PES T&D**, IEEE, 1-7 (2010).
11. Haydaroğlu, C., & Gümüş, B., “Güneş enerjisi santralının PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi”, **Dicle Üniversitesi**, (2016).
12. Köse, G., “Hibrit (Güneş+ Rüzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Kütahya Örneği”, Yüksek Lisans Tezi”, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kütahya, 136 (2010).

13. Altaş, İ. H., & Mengi, O. Ö., “AC ve DC yüklerini besleyen FV/Akü grubunun MATLAB/SIMULINK ortamında modellenmesi ve simülasyonu”, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, ELECO, 26-30 (2008).
14. Telli, A. Y., “Şebeke Bağlantılı Ve Şebekeden Bağımsız Hibrit Güç Sistemleriyle Enerji Üretiminin Ekonomik Analiz”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul (2010).
15. Tanim, M. M., Chowdhury, N. A., Rahman, M. M., & Ferdous, J., “Design of a photovoltaic-biogas hybrid power generation system for bangladeshi remote area using HOMER software”. In *2014 3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET)*, IEEE, 1-5 (2014).
16. Bhattacharjee, S., & Dey, A., “Techno-economic performance evaluation of grid integrated PV-biomass hybrid power generation for rice mill”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 6-16 (2014).
17. Eziyi, I., & Krothapalli, A., “Sustainable rural development: solar/biomass hybrid renewable energy system”, *Energy Procedia*, 57, 1492-1501 (2014).
18. Sigarchian, S. G., Paleta, R., Malmquist, A., & Pina, A., “Feasibility study of using a biogas engine as backup in a decentralized hybrid (PV/wind/battery) power generation system—Case study Kenya”, *Energy*, 90, 1830-1841 (2015).
19. Ho, W. S., Hashim, H., & Lim, J. S., “Integrated biomass and solar town concept for a smart eco-village in Iskandar Malaysia (IM)”, *Renewable Energy*, 69, 190-201 (2014).
20. Lazou, A. A., & Papatsoris, A. D., “The economics of photovoltaic stand-alone residential households: a case study for various European and Mediterranean locations”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 62 (4), 411-427 (2000).
21. Çalışkan, Ş., "Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılık ve enerji arz güvenliği sorunu" *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 25 (2009).
22. Murdock, H. E., Gibb, D., André, T., Appavou, F., Brown, A., Epp, B., ... & Sawin, J. L., *Renewables 2019 global status report*, REN21 (2019).
23. Mengi, A., ve Saner, H. S., “Türkiye'de Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimi ve Çevresel Etkileri: Karapınar ve Karaman Enerji İhtisas Endüstri Bölgeleri Örneklerinin Değerlendirilmesi”,Yayınlanmamış Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi, Kent ve Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı*, Ankara (2015).
24. Akova, İ., “Dünya Enerji Sorunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı”, *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi*, Sayı:11, Sayfa:47-73, İstanbul (2003).
25. İnternet: <https://www.irena.org/solar> (2020).

26. İnternet: Onurbaş Avcıoğlu, A., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri”, <https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/pdf> (2020).
27. İnternet: <https://globalsolaratlas.info> (2020).
28. İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <https://enerji.gov.tr/eigm> (2020).
29. İnternet: <https://www.elektrikde.com/microgrid-mikro-sebeke-nedir/?cv=1> (2020).
30. İnternet: <https://download.schneider-electric.com> (2020).
31. Campbell, R.J., “Weather-related power outages and electric system resiliency. Report for congress”, Washington, D.C., *Congressional Research Service*, (2012).
32. İnternet: “Office of Electricity Deliver and Energy Reliability”, Smart Grid R&D Program, DOE Microgrid Workshop Report, <http://energy.gov/sites/prod/files/Microgrid%20Workshop%20Report%20August%202011.pdf> (2011).
33. Ton, D. T., & Smith, M. A., “The US department of energy's microgrid initiative”, *The Electricity Journal*, 25(8), 84-94 (2012).
34. Stoppato, A., Cavazzini, G., Ardizzon, G., & Rossetti, A., “A PSO (particle swarm optimization)-based model for the optimal management of a small PV (Photovoltaic)-pump hydro energy storage in a rural dry area”, *Energy*, 76, 168–174 (2014).
35. Sofla, M. A., & Gharehpetian, G. B., “Dynamic performance enhancement of microgrids by advanced sliding mode controller”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33(1), 1-7 (2011).
36. Al-Saedi, W., Lachowicz, S. W., Habibi, D., & Bass, O., “Power quality enhancement in autonomous microgrid operation using particle swarm optimization”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 42(1), 139-149 (2012).
37. Fathima, A. H., & Palanisamy, K., “Optimization in microgrids with hybrid energy systems—A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 431-446 (2015).
38. İnternet:<http://www.microgridinstitute.org/microgrid-background.html> (2020).
39. Asmus, P., & Lawrence, M., “Market data: microgrids”, *Navigant* (2016).
40. Hirsch, A., Parag, Y., & Guerrero, J., “Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 402-411 (2018).

41. Alegria, E., Brown, T., Minear, E., & Lasseter, R. H., "CERTS microgrid demonstration with large-scale energy storage and renewable generation", *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(2), 937-943 (2013).
42. Williams, N. J., Jaramillo, P., Taneja, J., & Ustun, T. S., "Enabling private sector investment in microgrid-based rural electrification in developing countries: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1268-1281 (2015).
43. Van Broekhoven, S. B., Judson, N., Nguyen, S. V. T., & Ross, W. D., "Microgrid study: energy security for DoD installations", *Massachusetts inst of tech lexington Lincoln lab.* (2012).
44. Khalilpour, R., & Vassallo, A., "Leaving the grid: An ambition or a real choice?", *Energy Policy*, 82, 207-221 (2015).
45. Rodriguez-Diaz, E., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M., "Intelligent DC homes in future sustainable energy systems: When efficiency and intelligence work together", *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(1), 74-80 (2015).
46. Bahramirad, S., Khodaei, A., Svachula, J., & Aguero, J. R., "Building Resilient Integrated Grids: One neighborhood at a time", *IEEE Electrification Magazine*, 3(1), 48-55 (2015).
47. Su, W., & Wang, J. "Energy management systems in microgrid operations." *The Electricity Journal* 25(8), 45-60 (2012).
48. Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L., "Distributed generation: a definition", *Electric power systems research*, 57(3), 195-204 (2001).
49. Arsoy, A. B., & Perdahç1, C., "Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Dağıtılmış Üretim", *Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, ELECO, 8-12 (2004).
50. Jirdehi, M. A., Tabar, V. S., Ghassemzadeh, S., & Tohidi, S., "Different aspects of microgrid management: A comprehensive review", *Journal of Energy Storage*, 30, 101457 (2020).
51. Yusupov, Z., & Guneser, M. T., "The deployment of microgrid as an emerging power system in Uzbekistan." *International Journal of Energy Applications and Technologies* 3(2), 32-36 (2016).
52. Ito, Y., Zhongqing, Y., & Akagi, H., "DC microgrid based distribution power generation system", *In The 4th International Power Electronics and Motion Control Conference*, IPEMC 2004, (Vol. 3, pp. 1740-1745), IEEE (2004).
53. Baghel, D., & Tiwari, M. R. R., "Voltage balancing in solar based DC microgrid system" *International Journal of Energy Applications and Technologies* (2017).

54. Solanki, J. M., Solanki, S. K., & Schulz, N., “Multi-agent-based reconfiguration for restoration of distribution systems with distributed generators”, *Integrated Computer-Aided Engineering*, 17(4), 331-346 (2010).
55. Wang, P., Goel, L., Liu, X., & Choo, F. H., “Harmonizing AC and DC: A hybrid AC/DC future grid solution”, *IEEE Power and Energy Magazine*, 11(3), 76-83 (2013).
56. Chakraborty, A., “Advancements in power electronics and drives in interface with growing renewable energy resources”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1816-1827 (2011).
57. Erdinc, O., & Uzunoglu, M., “Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1412-1425 (2012).
58. Li, Y. W., & Kao, C. N., “An accurate power control strategy for power-electronics-interfaced distributed generation units operating in a low-voltage multibus microgrid”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(12), 2977-2988, (2009).
59. Guerrero, J. M., Vasquez, J. C., Matas, J., Castilla, M., & de Vicuña, L. G., “Control strategy for flexible microgrid based on parallel line-interactive UPS systems”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(3), 726-736 (2008).
60. Cho, C., Jeon, J. H., Kim, J. Y., Kwon, S., Park, K., & Kim, S., “Active synchronizing control of a microgrid”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(12), 3707-3719 (2011).
61. İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, “Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli”, <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator> (2018).
62. Karabük Üniversitesi, Basın, Yayın ve Halkla İlişkiler Koordinatörlüğü (2020).
63. Karabük Üniversitesi, Yapı İşleri Teknik ve Daire Başkanlığı (2020).
64. Lambert, T., Gilman P., & Lilienthal, P., “Micropower system modeling with HOMER”, *Integration of Alternative Sources of Energy*, 379–418 (2006).
65. Öztürk, H. H., & Kaya, D. (2013). Güneş enerjisinden elektrik üretimi: Fotovoltaik teknoloji. Umuttepe Yayınları.
66. İnternet: <https://www.antalyaenerji.com/gunes-fotovoltaik-pili-nedir-ve-nasil-calisir/> (2020).
67. Öztürk, H. H., “Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi Ve Etkili Etmenler” (2017).

68. İnternet: http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (2020).
69. İnternet: <https://diyot.net/enerji-seviyeleri-ve-bant-yapilari> (2020).
70. İnternet: <http://meis.com.tr/> (2020).
71. İnternet: Australian Academy of Science, "From sunlight to electricity", <https://www.science.org.au/curious/technology-future/solar-pv> (2020).
72. İnternet: <https://www.alfasolarenerji.com/a3s60p/> (2020).
73. A. Altıntaş (Alfa Solar Enerji) ile yapılan ikili görüşme, Temmuz (2020).
74. M. Çakır (Emsa Jeneratör) ile yapılan ikili görüşme, Temmuz (2020).
75. Karabük Üniversitesi, İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı (2020).
76. O. T. Akgeyik (Gamatech Enerji) ile yapılan ikili görüşme, Temmuz (2020).



EK AÇIKLAMALAR A.

**KBÜ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, İİBF VE ÖĞRENCİ İŞLERİ
MERKEZİ TRAFİKO MERKEZLERİNİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ**

Çizelge Ek A.1. KBÜ trafosu teknik özellikleri.

Transformatörün Gücü, S_{rQT}	75 MVA
Transformatörün Primer Gerilimi, U_{nQ}	154 kV
Transformatörün Sekonder Gerilimi, U_{rQTLV}	34,5 kV
Kısa Devre Gücü, S_k	7256 MVA
Kısa Devre Gerilimi, $\%U_k$	11,33
Nominal Gerilim, U_n	34,5 kV

Çizelge Ek A.2. Dağıtım merkezi transformatörünün teknik özellikleri.

Dağıtım Merkezi Trafo Gücü, S_{rT1}	7600 kVA
Dağıtım Merkezi Trafosunun Primer Gerilimi, U_{rT1HV}	34,5 kV
Dağıtım Merkezi Trafosunun Sekonder Gerilimi, U_{rQTLV}	0,4 kV
Kısa Devre Gerilimi, $\%U_k$	3,9
Yükte Bakır Kaybı, P_{krT}	8 kW
Nominal Gerilim, U_n	0,4 kV

EK AÇIKLAMALAR B.

**TEMEL SİSTEM VE ÖNERİLEN SİSTEMİN AYLIK ENERJİLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Çizelge Ek B.1. Mühendislik Fakültesi temel sistem aylık enerji kullanım listesi.

Aylar	Enerji Satın Alımı (kWh)	Enerji Satışı (kWh)	Net Enerji Satın Alımı (kWh)	Tepe Yük (kW)	Enerji Ücreti (\$)
Ocak	29.109	0	29.109	89	2.701,34
Şubat	25.189	0	25.189	90	2.337,52
Mart	26.957	0	26.957	82	2.501,63
Nisan	22.858	0	22.858	81	2.121,25
Mayıs	22.101	0	22.101	74	2.050,97
Haziran	15.855	0	15.855	61	1.471,34
Temmuz	14.986	0	14.986	60	1.390,70
Ağustos	16.149	0	16.149	55	1.498,61
Eylül	25.530	0	25.530	83	2.369,15
Ekim	26.621	0	26.621	82	2.470,47
Kasım	26.326	0	26.326	89	2.443,02
Aralık	27.445	0	27.445	91	2.546,94
Yıllık	279.126	0	279.126	91	25.902,93

Çizelge Ek B.2. Mühendislik Fakültesi önerilen sistem aylık enerji kullanım listesi.

Aylar	Enerji Satın Alımı (kWh)	Enerji Satışı (kWh)	Net Enerji Satın Alımı (kWh)	Tepe Yük (kW)	Enerji Ücreti (\$)
Ocak	20.173	1.166	19.007	76	\$1.813,73
Şubat	16.236	1.284	14.952	66	\$1.442,52
Mart	16.231	1.751	14.479	65	\$1.418,63
Nisan	11.672	2.206	9.466	70	\$972,87
Mayıs	10.734	2.541	8.193	54	\$869,08
Haziran	7.049	2.847	4.202	35	\$511,80
Temmuz	6.326	3.278	3.048	33	\$423,19
Ağustos	7.261	2.974	4.287	30	\$525,13
Eylül	14.225	1.917	12.307	64	\$1.224,19
Ekim	15.858	1.708	14.150	61	\$1.386,24
Kasım	18.097	1.346	16.750	72	\$1.612,06
Aralık	19.406	1.214	18.192	76	\$1.740,19
Yıllık	163.268	24.233	139.035	76	\$13.939,62

Çizelge Ek B.3. İİBF temel sistem aylık enerji kullanım listesi.

Aylar	Enerji Satın Alımı (kWh)	Enerji Satışı (kWh)	Net Enerji Satın Alımı (kWh)	Tepe Yük (kW)	Enerji Ücreti (\$)
Ocak	20.988	0	20.988	77	\$1.947,64
Şubat	18.145	0	18.145	87	\$1.683,86
Mart	20.081	0	20.081	79	\$1.863,49
Nisan	18.851	0	18.851	72	\$1.749,33
Mayıs	15.769	0	15.769	60	\$1.463,41
Haziran	13.622	0	13.622	61	\$1.264,15
Temmuz	11.020	0	11.020	35	\$1.022,66
Ağustos	12.125	0	12.125	35	\$1.125,22
Eylül	17.883	0	17.883	75	\$1.659,52
Ekim	19.729	0	19.729	69	\$1.830,87
Kasım	19.106	0	19.106	68	\$1.773,08
Aralık	19.602	0	19.602	66	\$1.819,04
Yıllık	206.921	0	206.921	87	\$19.202,28

Çizelge Ek B.4. İİBF önerilen sistem aylık enerji kullanım listesi.

Aylar	Enerji Satın Alımı (kWh)	Enerji Satışı (kWh)	Net Enerji Satın Alımı (kWh)	Tepe Yük (kW)	Enerji Ücreti (\$)
Ocak	13.756	1.499	12.257	63	\$1.201,59
Şubat	11.062	1.724	9.338	60	\$940,38
Mart	11.217	1.981	9.236	53	\$941,89
Nisan	9.308	2.446	6.862	54	\$741,46
Mayıs	6.914	2.965	3.949	38	\$493,35
Haziran	5.561	2.913	2.648	35	\$370,44
Temmuz	4.522	3.363	1.159	24	\$251,48
Ağustos	5.300	3.198	2.102	24	\$331,96
Eylül	9.070	2.407	6.662	52	\$721,30
Ekim	10.948	2.165	8.783	61	\$907,72
Kasım	12.531	1.628	10.903	61	\$1.081,50
Aralık	13.045	1.525	11.520	58	\$1.134,31
Yıllık	113.234	27.814	85.420	63	\$9.117,39

Çizelge Ek B.5. Öğrenci İşleri Merkezi temel sistem aylık enerji kullanım listesi.

Aylar	Enerji Satın Alımı (kWh)	Enerji Satışı (kWh)	Net Enerji Satın Alımı (kWh)	Tepe Yük (kW)	Enerji Ücreti (\$)
Ocak	16.888	0	16.888	80	\$1.567,17
Şubat	13.243	0	13.243	84	\$1.228,96
Mart	15.688	0	15.688	75	\$1.455,85
Nisan	14.867	0	14.867	87	\$1.379,64
Mayıs	14.926	0	14.926	77	\$1.385,14
Haziran	11.161	0	11.161	52	\$1.035,69
Temmuz	11.113	0	11.113	51	\$1.031,25
Ağustos	12.063	0	12.063	46	\$1.119,46
Eylül	14.711	0	14.711	76	\$1.365,14
Ekim	15.542	0	15.542	82	\$1.442,29
Kasım	15.250	0	15.250	82	\$1.415,21
Aralık	15.289	0	15.289	82	\$1.418,78
Yıllık	170.739	0	170.739	87	\$15.844,60

Çizelge Ek B.6. Öğrenci İşleri Merkezi önerilen sistem aylık enerji kullanım listesi.

Aylar	Enerji Satın Alımı (kWh)	Enerji Satışı (kWh)	Net Enerji Satın Alımı (kWh)	Tepe Yük (kW)	Enerji Ücreti (\$)
Ocak	10.234	1.339	8.895	69	\$882,74
Şubat	7.058	1.602	5.456	61	\$574,86
Mart	7.961	1.956	6.005	61	\$640,99
Nisan	6.225	2.374	3.851	71	\$458,98
Mayıs	5.998	2.639	3.359	55	\$424,68
Haziran	4.402	2.902	1.500	28	\$263,39
Temmuz	4.204	3.296	907	25	\$225,29
Ağustos	4.903	2.933	1.970	22	\$308,36
Eylül	6.581	2.168	4.414	62	\$502,36
Ekim	7.774	1.982	5.791	53	\$622,30
Kasım	9.261	1.446	7.186	71	\$787,16
Aralık	9.476	1.347	8.129	73	\$812,06
Yıllık	84.077	25.984	58.093	73	\$6.503,16

EK AÇIKLAMALAR C.

**FV PANEL, BATARYA VE DİZEL JENERATÖRÜN TEKNİK
ÖZELLİKLERİ**

Çizelge Ek C.1. FV panel A3S60P 275 teknik özellikleri.

Elektriksel Veriler

	Model	A3S60P 275
P_{max}	Maksimum Güç	275
%	Modül Verimi	16,69
I_{mp} (A)	Maksimum Güç Noktası Akımı	8,46
I_{sc} (A)	Kısa Devre Akımı	8,99
V_{mp} (V)	Maksimum Güç Noktası Voltajı	32,52
V_{oc} (V)	Açık Devre Voltajı	38,58
P_{max}	Maksimum Güç	275

Mekanik Veriler

Konu	Açıklama
Ölçü	1652 ± 2 mm (L) x 997 ± 2 mm (W) x 42-35 ± 0,5 mm (D)
Ağırlık	20 kg
Güneş Hücresi	60 Polikristal Tip 6" Silikon Hücre (156.75 mm x 156.75 mm)
Ön Cam	Temperli / Temperli Antireflekte Cam
Encapsuland	Etilen Vinil Asetat (EVA)
Arka Tabaka	Kompozit Film, Renk Beyaz
Bağlantı Kutusu	Tyco / Ekinler Sertifikalı
Çerçeve	Alüminyum Çerçeve (Eloksal Kaplamalı)
Doğrusal Performans	10 yıl %90 üzeri, 25 yıl %80 üzeri
Güç Toleransı	Pozitif (+) 5 Watt

Çalışma Koşulları

Konu	Açıklama
Mekanik Dayanım	5400 Pa (KİWA MEYER Sertifikalı)
Maksimum Sistem Voltajı	DC 1000 V / 1500 V
Seri Sigorta Akımı	15 A
Çalışma Sıcaklığı	-40 / +85°C

Sıcaklık Özellikleri

Konu	Açıklama
Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı	45 °C ± 2 °C
Sıcaklık Katsayısı α_{sc} (%/°C)	-0.04 % / °C
Sıcaklık Katsayısı β_{Voc} (%/°C)	-0.33 % / °C
Sıcaklık Katsayısı P_{max} (%/°C)	-0.45 % / °C
Sıcaklık Katsayısı $\beta_{V_{mpp}}$ (%/°C)	-0.45 % / °C

Çizelge Ek C.2. Gamatech 12V 80Ah batarya teknik özellikleri.

Performans Karakteristikleri	
<p>-Nominal Gerilim 12V</p> <p>-Hücre Sayısı 6</p> <p>-Nominal Kapasite 77 °F (25°C)</p> <p>10 saatlik oran (8.00A, 10.8V) 80.0Ah</p> <p>5 saatlik oran (14.4A, 10.5V) 72.0Ah</p> <p>1 saatlik oran (53.7A, 9.60V) 53.7Ah</p> <p>-İç Direnç</p> <p>Tam şarjlı pil 77 °F (25°C) 5.5mOhm</p> <p>-Kendinden Deşarj</p> <p>20°C'de aylık kapasitenin % 3'ü azalır (ortalama)</p>	<p>-Çalışma Sıcaklık Aralığı</p> <p>Deşarj 20~60°C</p> <p>Şarj -10~60°C</p> <p>Depolama -20~60°C</p> <p>-Maks. Deşarj Akımı 77 °F (25°C) 750A(5s)</p> <p>-Kısa Devre Akımı 1900A</p> <p>-Şarj Metodları</p> <p>Sabit voltaj şarjı 77 °F (25°C)</p> <p>Maks. şarj akımı 24A</p> <p>Sıcaklık telafisi -30mV/°C</p> <p>-Standby kullanımı 2.23-2.27 VPC</p> <p>Telafi sıcaklığı -20mV/°C</p>

Sabit Akım Deşarj Verileri (25 °C'de Amper)												
Bitiş Gerilimi (hücre/V)	10 Dk.	30 Dk.	1 Sa.	2 Sa.	3 Sa.	5 Sa.	7 Sa.	8 Sa.	9 Sa.	10 Sa.	12 Sa.	24 Sa.
1.60	188	87.3	53.7	30.5	22.7	15.0	11.1	9.91	8.96	8.20	6.90	3.72
1.65	178	83.0	51.6	29.8	22.5	14.7	11.0	9.79	8.88	8.15	6.86	3.70
1.70	168	80.3	49.8	29.2	22.4	14.7	10.9	9.75	8.83	8.10	6.82	3.65
1.75	159	77.6	47.1	28.1	21.8	14.4	10.8	9.63	8.75	8.05	6.78	3.63
1.80	149	75.0	46.3	27.1	20.7	14.1	10.6	9.52	8.68	8.00	6.73	3.61

Sabit Güç Deşarj Verileri (25 °C'de Watt)												
Bitiş Gerilimi (hücre/V)	10 Dk.	30 Dk.	1 Sa.	2 Sa.	3 Sa.	5 Sa.	7 Sa.	8 Sa.	9 Sa.	10 Sa.	12 Sa.	24 Sa.
1.60	323	165	98.6	56.5	42.5	27.9	21.2	19.1	17.4	16.1	13.7	7.30
1.65	310	157	97.8	55.3	41.1	27.4	20.7	18.6	17.0	15.7	13.3	7.20
1.70	299	151	93.8	53.7	40.4	27.0	20.4	18.3	16.7	15.4	13.1	7.10
1.75	287	149	92.3	53.0	39.9	26.8	20.1	18.0	16.4	15.1	12.8	7.00
1.80	275	146	88.5	51.4	39.0	26.4	19.8	17.7	16.1	14.8	12.4	6.90

Çizelge Ek C.3. Dizel jeneratör teknik özellikleri.

Motor Özellikleri

Marka	BAUDOIN	
Model	4M11G120/5	
Motor Gücü	Stand by kW	108
	Prime kW	98
Motor Devri (rpm)	1500	
Sıkıştırma Oranı	18:1	
Governör Tipi	Electronic	
Emme Sistemi	Turbocharged- Air to Air Cooled	
Soğutma Şekli	Water	
Yakıt Sarfiyatı (lt/h)	Tam Yük	23.2
	%75 Yük	17.4
	%50 Yük	11.9
Motor Yağı Kapasitesi (lt)	11	
Soğutma Suyu Kapasitesi	13.3	

Alternatör Özellikleri

Marka	EMSA	Otomatik Voltaj Regülatörü	SX460
Model	EGK225-80N	Voltaj Regülasyonu	±1%
Frekans (Hz)	50	İzolasyon Sınıfı	Class H
Güç (kVA)	112	Güç Faktörü	0.8
Bağlantı Tipi	Star	Tasarım	4 Pole, Brushless
Voltaj (V)	400	Koruma Sınıfı	IP23
Faz	3	Ağırlık (Kg)	362

ÖZGEÇMİŞ

Şevket ULUTÜRK 1990 yılında Ankara’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Türközü Oğuzhan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Elektronik Bölümü’nden mezun oldu. 2017 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Öğretmenliği Bölümü’nden mezun oldu. 2018 yılında başlamış olduğu yüksek lisans programını 2020 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda tamamladı. 2017 yılında Karabük Üniversitesi’nde göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Yapı İşleri Teknik ve Daire Başkanlığı
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK
Tel : (553) 416 5936
E-posta : sevetuluturk@karabuk.edu.tr

YAYINLAR/SUNUMLAR

Yusupov Z., Ulutürk Ş., “Techno-Economic and Environmental Analysis of Karabuk University Microgrid”, ISEM 2020 5th International Symposium On Environment and Morals, (ISEM 2020 5. Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu) 25 Eylül 2020.