



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

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

**BOR KATKISININ InP NANOKRİSTALİN ELEKTRİKSEL VE YAPISAL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN GÜNEŞ PANELİNDE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BARIŞ METİN

DANIŞMAN: PROF. DR. MUSTAFA ÖZTAŞ

**YALOVA
OCAK 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

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

BOR KATKISININ InP NANOKRİSTALİN ELEKTRİKSEL VE YAPISAL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN GÜNEŞ PANELİNDE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BARIŞ METİN
218105022

DANIŞMAN: PROF. DR. MUSTAFA ÖZTAŞ

YALOVA
OCAK 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım “Bor Katkısının InP Nanokristalin Elektriksel Ve Yapısal Özelliklerine Etkisinin Güneş Panelinde İncelenmesi” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

Barış METİN

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve doğru yolu gösteren sayın danışman hocam Prof. Dr. Mustafa ÖZTAŞ'a teşekkür ederim.

Sevgisi ile bana güç veren sevgili eşim Işıl'a, varlığı ile hayatıma anlam katan canım kızım Beril'e, koşulsuz desteği ile her zaman yanımda olan anne ve babama, yüksek lisans eğitimi boyunca yanımda olarak bana destek olan arkadaşlarım İlhan ŞİRİN, Serdar TEKKOL ve Serdar KARTAL' a teşekkür ederim.

Ocak – 2024

Barış METİN



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
ÖZET	xxiii
ABSTRACT	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması	1
1.2. Teori	5
1.2.1. Dünya enerji potansiyeli	7
1.2.1.1. Kömür	8
1.2.1.2. Petrol	9
1.2.1.3. Doğalgaz	10
1.2.1.4. Nükleer enerji	11
1.2.1.5. Hidroelektrik	13
1.2.1.6. Güneş	14
1.2.1.7. Rüzgar	16
1.2.1.8. Okyanus ve denizler enerji potansiyeli	17
1.2.1.9. Jeotermal	18
1.2.1.10. Biyokütle	19
1.2.2. Türkiye'nin enerji potansiyeli	21
1.2.2.1. Kömür	21
1.2.2.2. Petrol	21
1.2.2.3. Doğalgaz	21
1.2.2.4. Hidroelektrik	22
1.2.2.5. Nükleer	23
1.2.2.6. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli	23
1.2.3. Türkiye' de güneş enerjisi kullanımı	28
1.2.3.1. Türkiye' de güneş radyasyon değerleri	29
1.2.4. Fotovoltaik tanımı ve tarihçesi	31
1.2.5. Fotovoltaik hücrelerin yapısı ve çalışma prensibi	32



1.2.5.1. Fotovoltaik hücrelerin eşdeğer elektrik devresi.....	32
1.2.6. Fotovoltaik panel çeşitleri.....	33
1.2.6.1. Kristal silikon piller	33
1.2.6.1.1. Monokristal silikon piller	33
1.2.6.1.2. Polikristal silikon piller.....	34
1.2.6.2. İnce film piller	35
1.2.6.3. Bifacial piller	35
1.2.7. Fotovoltaik sistem bileşenleri	36
1.2.7.1. Eviriciler	36
1.2.7.2. Akü	37
1.2.7.3. Şarj kontrol cihazı.....	38
1.2.8. Bağlantı şekillerine göre fotovoltaik sistemler	38
1.2.8.1. Şebeke bağlantılı (on-grid) fotovoltaik sistemler	38
1.2.8.2. Şebekeden bağımsız (off-grid) fotovoltaik sistemler	39
1.2.8.3. Hibrit sistemler	40
1.2.9. IEC61724 Standardına göre fotovoltaik sistem performans parametreleri	40
1.2.9.1. Işınım kayıpları.....	41
1.2.9.1.1. Düzlem açısı ve paneller arası mesafe.....	41
1.2.9.1.2. Spektrum kayıpları.....	41
1.2.9.1.3. Yansıma kayıpları.....	41
1.2.9.1.4. Gölgeleme kayıpları.....	42
1.2.9.1.5. Tozlanma ve karlanma kayıpları	42
1.2.9.2. Sistem kayıpları	43
1.2.9.2.1. Fotovoltaik panelin teknik özelliklerindeki sapmalar.....	43
1.2.9.2.2. Düşük ışınım kayıpları.....	43
1.2.9.2.3. Sıcaklık kayıpları	43
1.2.9.2.4. Uyumsuzluk kayıpları.....	43
1.2.9.2.5. Kablo kayıpları	43
1.2.9.3. Evirici kayıpları	44
1.2.10. Homer yazılımı	44
1.2.11. Bor elementi.....	44
1.2.12. Borlama.....	49
2. BOR KATKISININ NANOKRİSTAL InP FİMLERİNİN ELEKTRİKSEL VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	51



2.1. X-ışını Kırınım Tekniği.....	51
2.2. Elektriksel Ölçümler.....	52
2.2.1. Özdirenç ölçümü.....	53
2.2.2. Hall mobilite ölçümü	54
2.2.3. Optik ölçümler	55
2.3. Deneysel Çalışmalar	55
2.3.1. Nanokristal InP:B filmlerinin üretim yöntemi.....	55
2.3.2. Alt tabakaların hazırlanması	57
2.3.3. Çözelti hazırlama	57
2.3.4. Bor katkılı ve katkısız InP filmlerin geliştirilmesi	58
2.4. Bulgular ve Tartışma	58
2.4.1. Bor katkılı ve katkısız nanokristal InP filmlerin yapısal özellikleri	58
2.4.2. Katkısız ve bor katkılı nanokristal InP filmlerin elektriksel analizi	63
3. FOTOVOLTAİK SİSTEM UYGULAMA TASARIMI: BURSA ÖRNEĞİ	67
3.1. Orhaneli Gençlik Merkezi	67
3.1.1. Orhaneli gençlik merkezi elektrik tüketim değerleri	68
3.1.2. Meteorolojik veriler	76
3.1.3. Batarya seçimi	78
3.1.4. Panel seçimi	79
3.1.5. Evirici seçimi	81
3.1.6. Jeneratör.....	82
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	83
4.1. Homer Analiz Sonuçları	83
4.2. Piyasa Koşullarına Göre Sistem Boyutlandırılması ve Ekonomisi	90
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	103

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

Å : Angstrom

eV : Elektron volt

M : Mol

W : Watt

\$: Amerikan Doları

TL : Türk Lirası

Ω : Ohm

KISALTMALAR

ASTM : Amerikan Test Malzemeleri Derneği

FWHM: Yarı maksimum genişlik

IEC : Uluslararası Elektrik Komisyonu

InP : İndiyum Fosfat

MPPT : Maksimum güç noktası izleyici

PWM : Sinyal genişlik modülasyonu

PV : fotovoltaiik

TEP : Ton eşdeğer petrol

XRD : X-ray Diffraction



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Enerji Kaynaklarına Göre Karbon Emisyon Değerleri [28]	6
Tablo 1.2. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması	6
Tablo 1.3. Bazı Ülkelerin Kaynak Bazında Nükleer Elektrik Üretim Oranı [28].....	13
Tablo 1.4. 2020 Yılında Dünyada Üretilen Biyokütle enerjisi (GWh) [30]	20
Tablo 3.1. Toplam Elektrik Gücü	74
Tablo 3.2. Günlük Enerji Tüketimi	74
Tablo 3.3. Fotovoltaik Sistem Tasarım Parametreleri	75
Tablo 3.4. Batarya Kapasitesi Hesabı	78
Tablo 3.5. Panel boyutlandırılması	79
Tablo 4.1. Piyasa koşullarına göre hesaplanan sistem maliyeti	90



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yıllara Göre Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Elektrik Enerjisi [30].....	8
Şekil 1.2. Dünyadaki Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynak Türlerine Göre Dağılımı [30]	9
Şekil 1.3. Ülkelere Göre Ham Petrol Rezervleri [35]	10
Şekil 1.4. Ülkelere Göre Doğalgaz Rezervleri [36]	11
Şekil 1.5. Dünya Uranyum Rezervi [38].....	12
Şekil 1.6. Dünya Uranyum Üretimi [38].....	13
Şekil 1.7. Küresel Çapta yıllara göre Farklı Enerji Kaynaklarından Elde Edilen Elektrik enerjisi Üretim Miktarları [30]	14
Şekil 1.8. Global Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası [44]	15
Şekil 1.9. 1990-2015 Yılları Arasında Dünyadaki Senelik Enerji Üretim Miktarının Yüzde Olarak Artışı [45]	16
Şekil 1.10. Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası [41]	17
Şekil 1.11. Rüzgar Kurulu Gücü En Fazla Olan Ülkeler [29]	17
Şekil 1.12. Gel-git Akımları Enerji Potansiyel Atlası [41]	18
Şekil 1.13. Dalga Enerjisi Potansiyel Atlası [41]	18
Şekil 1.14. Çeşitli Ülkelerin Jeotermal Santrallerinin Kurulu Güçleri [30].....	19
Şekil 1.15. Biyokütlenin Enerjiye Çevrim Yöntemleri [49]	20
Şekil 1.16. Türkiye'nin Hidrolik Enerjisine Dayalı Kurulu Gücü (MW) [51]	22
Şekil 1.17. Hidrolik Enerjinin Toplam Kurulu Güç İçinde Oranı [51]	22
Şekil 1.18. Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı Dağılımı (100 metre) [53]	24
Şekil 1.19. Rüzgar Enerjisine Dayalı Kurulu Güç [46]	24
Şekil 1.20. Rüzgardan Sağlanan Elektrik Enerjisinin Toplam Kurulu Güce Oranı [46]	24
Şekil 1.21. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) [54]	25
Şekil 1.22. Güneş Enerjisine Dayalı Kurulu Güç [55]	25
Şekil 1.23. Güneşten Sağlanan Elektrik Enerjisinin Toplam Kurulu Güce Oranı [55]	26
Şekil 1.24. Biyokütle Enerjisine Dayalı Kurulu Güç (MW) [49]	26
Şekil 1.25. Türkiye'nin Jeotermal Enerji Kaynaklı Kurulu Gücü (MW) [56]	27
Şekil 1.26. Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası [56]	27
Şekil 1.27. Türkiye Global Radyasyon Değerleri [54]	29
Şekil 1.28. Türkiye Güneşlenme Süreleri [54]	30
Şekil 1.29. Toplam Güneş Enerjisi [54]	30



Şekil 1.30. Bölgelere Göre Güneşlenme Süresi [60]	30
Şekil 1.31. PV Tipi Alan- Üretilebilecek Enerji (kWh-Yıl) [54].....	31
Şekil 1.32. Basitleştirilmiş Eşdeğer Fotovoltaik Hücre Devresi [64]	32
Şekil 1.33. Czochralski Yönteminin Uygulanışı [65]	33
Şekil 1.34. Monokristal Panel Görünümü.....	34
Şekil 1.35. Polikristal Panel Görünümü	34
Şekil 1.36. İnce Film Güneş Paneli Görünümü	35
Şekil 1.37. Bifacial Güneş Paneli Görünümü [70].....	36
Şekil 1.38. Merkezi ve Dizi Tip Evirici Görünümü.....	36
Şekil 1.39. Şebeke Bağlantısız ve Şebeke Bağlantılı İnvertör [72]	37
Şekil 1.40. Solar Akü Görünümü.....	37
Şekil 1.41. MPPT ve PWM Şarj Kontrol Cihazı Görselleri	38
Şekil 1.42. Şebeke Bağlantılı Sistem Gösterimi [72].....	39
Şekil 1.43. Şebeke Bağlantılı Sistemin Genel Şematik Çizimi [65].....	39
Şekil 1.44. Şebekeden Bağımsız Sistemin Genel Şematik Çizim [65].....	39
Şekil 1.45. Şebekeden Bağımsız Sistem Gösterimi [72]	40
Şekil 1.46. Hibrit Sistemin Genel Şematik Çizim [67].....	40
Şekil 1.47. Paneller Arası Mesafenin Gösterimi [75]	41
Şekil 1.48. Fotovoltaik Panelin Gölgelemeli ve Gölgelemesiz Güç-Gerilim Grafığı [76].....	42
Şekil 1.49. Dünya Bor Üretim Ton Bazında Dağılım [79]	47
Şekil 1.50. Dünya Bor Rezervleri [79].....	47
Şekil 1.51. İnce Film Biriktirme Yöntemleri [82].....	50
Şekil 2.1. X-ışını elde etmek için kullanılan X-ışını tüpü.....	51
Şekil 2.2. X-ışınlarının kristal kırınımı [85]	51
Şekil 2.3. Filmlerde oluşturulan ohmik kontaklar.....	52
Şekil 2.4. Öz direnç ölçümleri için kurulum [88].	53
Şekil 2.5. Hall mobilite ölçümü için kullanılan düzenek [88]	54
Şekil 2.6. Kimyasal püskürtme yönteminin şematik gösterimi [88].....	56
Şekil 2.7. Cam alt tabanların temizlenme işlemi [88].....	57
Şekil 2.8. Bor katkılı ve katkısız nanokristal InP filmlerinin XRD desenleri.....	60
Şekil 2.9. Farklı bor katkısı ile InP filmlerinin tane boyutunun değişmesi.....	61
Şekil 2.10. InP filmlerinde bor katkısına bağlı olarak mikrogeliririm değişimi	63
Şekil 2.11. Elektriksel öz direnç değerinin bor katkısına göre değişimi.....	64
Şekil 2.12. Hall mobilite değerinin bor konsantrasyonuna göre değişimi.....	65



Şekil 3.1. Orhaneli Gençlik Merkezi Projesi	67
Şekil 3.2. 1 Numaralı Derslik Planı	68
Şekil 3.3. 1 Numaralı Derslik Tablo Yükleme Cetveli	69
Şekil 3.4. 2 Numaralı Derslik Planı	69
Şekil 3.5. 2 Numaralı Derslik Tablo Yükleme Cetveli	69
Şekil 3.6. İdari Bina Planı	70
Şekil 3.7. İdari Bina Tablo Yükleme Cetveli	70
Şekil 3.8. Çamaşırhane ve Depo Planı	70
Şekil 3.9. Çamaşırhane Ve Depo Tablo Yükleme Cetveli	71
Şekil 3.10. Personel Yatakhane Binası Planı	71
Şekil 3.11. Personel Yatakhane Binası Tablo Yükleme Cetveli	72
Şekil 3.12. Bungalov Konaklama Evi Planı	72
Şekil 3.13. Bungalov Konaklama Evi Tablo Yükleme Cetveli	72
Şekil 3.14. Yemekhane Planı	73
Şekil 3.15. Yemekhane Tablo Yükleme Cetveli	73
Şekil 3.16. Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi Grafiği	75
Şekil 3.17. Saatlik Tüketim Grafiği	75
Şekil 3.18. Saatlik Çekilen Güç	76
Şekil 3.19. Bursa ili Güneş Enerjisi Potansiyel Haritası	77
Şekil 3.20. Bursa ili Global Radyasyon Değerleri	77
Şekil 3.21. Bursa ili Güneşlenme Süreleri	77
Şekil 3.22. Bursa için Panel Türüne Göre Üretilebilecek Enerji	78
Şekil 3.23. Seçilen panelin katalog bilgileri	80
Şekil 3.24. Evirici teknik özellikleri	81
Şekil 3.25. Dizel Jeneratör Teknik Verileri	82
Şekil 4.1. Homer Programına Girilen Proje Konum Bilgisi	83
Şekil 4.2. Programda Tasarlanan Sistemin Şematik Gösterimi	84
Şekil 4.3. Mevsimsel Yük Profili	84
Şekil 4.4. 24 Saatlik Yük Dağılımı	84
Şekil 4.5. Simülasyon Sonuçları	85
Şekil 4.6. Simülasyon Sonuçları	85
Şekil 4.7. Optimizasyon Maliyet Sonuçları	86
Şekil 4.8. Simülasyon Maliyet Analizi	87
Şekil 4.9. PV Panellerden Üretilen Elektrik Enerjisinin Aylık Görünümü	87



Şekil 4.10. PV Panellerin Çıkış Grafiği	87
Şekil 4.11. Batarya Boyutlandırılması	88
Şekil 4.12. Batarya Şarj-Deşarj Grafiği	88
Şekil 4.13. Batarya Sistem Detayı.....	89
Şekil 4.14. Şebeke Kurulum Maliyet Eğrisi	89





BOR KATKISININ InP NANOKRİSTALİN ELEKTRİKSEL VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN GÜNEŞ PANELİNDE İNCELENMESİ

ÖZET

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte dünya genelinde elektrik enerjisi ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Dünyamızda fosil yakıt rezervleri sınırlı olmakla beraber sürekli azalmaktadır. Fosil yakıt rezervlerinin günden güne azaldığı ve ekolojik sisteme verdikleri zararlar düşünüldüğünde enerji ihtiyacının çevreci ve yenilenebilir kaynaklardan sağlanmasının kalıcı çözüm geliştirmek adına önemi anlaşılmaktadır. Türkiye gibi gelişmekte olan ve yenilenebilir enerji potansiyeli fazla olan ülkeler enerjide dışa bağılılığı azaltmak maksadıyla enerji politika ve yatırımlarını bu doğrultuda yapmalıdır. Tez çalışması iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda; III-V grup bileşke yarıiletkeni olan InP nanokristal filminin, fotovoltaiik güneş pillerinde bir pencere tabakası olarak kullanılabilmesi için filme yapılan bor katkısının etkileri incelenecektir. Farklı konsantrasyondaki borik asidin büyüme çözeltilerinde bir katkı maddesi olarak kullanılacaktır. Filmlere farklı oranlarda katılan borik asidin filmin yapısal, optiksel ve elektriksel özelliklerine etkisi incelenecek ve filmin güneş pilleri için uygun bir malzeme olabilirliğine bakılacaktır. Çalışmasının ikinci aşamasında ise Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan gençlik merkezi projesinin enerji ihtiyacının fotovoltaiik sistemler ile karşılanması çalışması yapılmıştır. Şebeke genişletmenin ve şebekeden bağımsız bir sistemin karşılaştırılması yapılmıştır. Sistemin çalışmasını simüle ederek teknik ve ekonomik parametrelerin hesaplanması için bu çalışmada Homer yazılımı kullanılmıştır. Bölgeye ait enerji talebinin yenilenebilir enerji kaynakları ile maliyet analizi tekno-ekonomik olarak değerlendirilmiştir. Yük profili olarak kamuya hizmet veren tesislerin çalışma saatlerinin 08:00-17:00 olduğu, mesai saatleri dışında tüketimin az olduğu görülmektedir. Kamu binalarının güneş enerjisinden maksimum düzeyde faydalanabileceği gözlemlenmiştir. Fotovoltaiik hücrelerin belirli oranlarda bor katkılı olarak üretilmesinin güneş hücrelerinin verimliliğini arttırdığı gözlemlenmiş olup; bor katkılı hücreler ile elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması durumunda amortisman sürelerinin düşeceği, bor katkılı güneş hücreleri üzerine yapılacak ar-ge faaliyetlerinin ülke ekonomisine olumlu yönde katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

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



INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BORON ADDITIVE ON THE ELECTRICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF InP NANOCRYSTAL ON A SOLAR PANEL

ABSTRACT

With the development of technology, the need for electrical energy worldwide is increasing day by day. Although fossil fuel reserves in our world are limited, they are constantly decreasing. Considering that fossil fuel reserves are decreasing day by day and the damage they cause to the ecological system, the importance of providing energy needs from environmentally friendly and renewable sources is understood in order to develop a permanent solution. Developing countries such as Turkey with high renewable energy potential should make their energy policies and investments accordingly in order to reduce foreign dependence on energy. This thesis study consists of two parts. In the first part; In order to use the InP nanocrystal film, which is a group III-V compound semiconductor, as a window layer in photovoltaic solar cells, the effects of boron doping on the film will be examined. It will be used as an additive in growth solutions of different concentrations of boric acid. The effect of boric acid added to the films at different rates on the structural, optical and electrical properties of the film will be examined and the feasibility of the film as a suitable material for solar cells will be examined. In the second phase of the thesis, a study was carried out to meet the electrical energy needs of the Orhaneli Youth Center project, built by Bursa Metropolitan Municipality, with photovoltaic systems. A comparison of grid expansion and an off-grid system is made. Homer (Hybrid optimization model for electric renewable) software was used in this study to calculate the technical and economic parameters by simulating the operation of the system. The cost analysis of the energy demand of the region with renewable energy sources was evaluated techno-economically. In the load profile analysis, it is seen that the working hours of the facilities serving the public are 08:00-17:00, and consumption outside working hours is low. It has been observed that public buildings can benefit from solar energy at the maximum level. It has been observed that producing photovoltaic solar cells with certain amounts of boron additive increases the efficiency of solar cells; It has been evaluated that if the electrical energy needs are met with boron-doped photovoltaic panels, depreciation periods will decrease depending on efficiency, and research and development activities on boron-doped solar cells will contribute positively to the country's economy. In this context, suggestions are presented to meet the electrical energy needs by utilizing solar energy in public buildings.

Keywords: Renewable Energy, Public Energy Efficiency, Sustainability, Homer



1. GİRİŞ

1.1. Literatür Taraması

Aksoy “Kimyasal Püskürtme Yöntemiyle Elde Edilen InP İnce Filmlerin Elektrik, Optik Ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi” çalışmasında değişik oranlarda hazırlanan eriyikler kullanarak kimyasal püskürtme yöntemi ile InP ince film üretmiştir. Yaptığı çalışmalar sonucu elde ettiği örneklerin içerdiği indiyum oranının artmasıyla doku boyutlarının arttığı ve buna bağlı olarak yüzey yapısındaki kristalleşmenin homojenliği arttırdığını tespit etmiştir [1].

Dahlberg “Photovoltage Studies of n-type InP” çalışmasında n tipi InP’ın ışık uygulandığı süre boyunca fotovoltajının azaldığını gözlemlemiştir. Fotovoltajın uygulama örnekleri üzerine düşen fotonların enerji bant aralıkları enerjisinden az olması durumunda aniden azalma gösterdiği, sıcaklığa bağımlı olduğu tespit etmiştir [2].

Hooper ve Tuck “The Electrical Properties of Zinc Diffused Indium Phosphide” çalışmasında radyo izleyici analiz yöntemiyle kristallere nüfuz eden safsızlık atomlarının dağılımını incelemiştir. Yaptıkları çalışmalarda homojen katkılanmayan numunelerin çinko atomları sayısının sığ alıcıların sayısından fazla olduğunu gözlemlemişlerdir [3].

Erickson, Waseem ve Robinson “ Characterization Of Ohmic Contacts to InP” isimli çalışmasında InP üzerine büyütülen ince metalik tabakaların elektriksel özellikleri incelenmiştir. Yaptıkları çalışmada Ni / Au / Ge / InP içindeki nikelin omik davranış gösterdiği ve minimum kontak direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir [4].

Yamaguchi, Yamamoto, Uchida ve Uemura “ A New Approach for Thin Film InP Solar Cells” çalışmasında silisyum alt tabakası üzerine InP ince film güneş hücresi oluşturmuşlardır. InP ince film güneş pillerinin silisyum alt tabakaların üzerinde büyütülmesi durumunda %18’in üzerinde verimlilikle üretilebileceğini değerlendirmişlerdir [5].

Chattopadhyay, Dhar, Chaudhuri ve Pal “ Scattering Process in Polycrystalline InP Films” çalışmasında cam alttaban üzerine saçılma tekniği ile InP ince film oluşturmuştur. Elde ettikleri ince film örneklerinde düşük sıcaklıklarda doku

sınırlarının saçılmada önemli rol oynadığı yüksek sıcaklıklarda optik ve akustik fononların öne çıktıklarını gözlemlemiştir [6].

Miska, Even, Paranthoen, Dehaese, Folliot, Loualiche, Senes ve Marie “ Optical Properties and Carrier Dynamics of InAs/InP Quantum Dots Emitting Between 1.3 and 1.5 μm for Laser Applications” çalışmasında oda sıcaklığında kuantum noktası yayılım dalgasının boyutunun kontrol edilebileceğini göstermiştir [7].

Temiz püskürtme tekniği ile bor katkılı ve katkısız indiyum oksit filmlerin yapısal, optik ve elektrik özelliklerinin incelenmesi çalışmasında katkısız ve bor katkılı indiyum oksit filmleri katkı kaynağı olarak borik asit kullanarak cam altlık üzerinde püskürtme yöntemi ile büyütülmüştür. Bor konsantrasyonu 0.03 M'ye kadar yükseldikçe, artan kristal kalitesi nedeniyle taşıyıcıların saçılması ciddi bir şekilde zayıfladığı buna bağlı olarak direnç değerinin azaldığını taşıyıcı konsantrasyonu ve Hall hareketlilik değerlerinin arttığını tespit etmiştir [8].

Salımı bor katkılı hidrojene amorf silisyum karbon katmanının silisyum heterojunction güneş pilleri için analizi çalışmasında PECVD ile silisyum güneş hücrelerine bor etkilerini incelemiştir. Çalışmalar sonucunda P-aSiC üretimi ile elde ettiği değer optik bant aralığı 1,89eV ve karanlık iletkenliği $1,8 \times 10^{-5} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ olarak bulmuştur [9].

Rasul spray pyroliz metoduyla büyütülen bor katkılı cdse filmlerin karakterizasyonu çalışmasında değişik depolama koşullarında spreyl pyroliz yöntemi ile bor katkılı CdSe filmler elde etmiştir. Bor katkılı filmlerin yapısal, morfolojik ve optiksel olarak incelemiştir. Filmlerin yapısal özelliklerinin ve enerji bant aralıklarının borik asit konsantrasyonuna bağlı değişimi ayrıntılı olarak gözlemlemiştir [10].

Tunç püskürtme metodu ile elde edilen bor katkılı mno filmlerin karakterizasyonunun araştırılması çalışmasında püskürtme yöntemi ile farklı oranlarda bor katkılı MnO filmleri incelemiştir [11].

Karaca bor katkılı ince filmlerin kristal yapısını, elektriksel ve optik özelliklerini incelemiştir [12].

Ertap bridgman yöntemiyle büyütülen, saf ve bor katkılı indiyum selenit (InSe) tek kristallerinin yapısal, optik, elektriksel ve fotoluminesans özelliklerinin araştırılmış ve gerçekleştirdiği analizlerde büyütülen kristallerin kalitesinin iyi olduğunu gözlemlemiştir [13].

İsen ve Kutluca Kırklaraeli ilinin Vize ilçesinde bulunan bir çimento fabrikasında kurulmuş olan şebekeden bağımsız mikro güneş enerji santralinin PV Sol programında simülasyonunu yapmıştır. Yaptıkları modellemede 3 adet 320Wp güneş panelini enerji kaynağı olarak, sistem çıkışında ise 150W led projektörü yük olarak kullanmışlardır. Sistem scada yardımı ile sürekli uzaktan izlenmiş olup; PV Sol programından alınan yıllık rapor ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda simülasyondan alınan sonuçlar ile gerçekte ölçülen sonuçların hava koşulları, panel kirliliği gibi nedenlerle tutarlı olmadığı tespitinde bulunmuşlardır [14].

Orhan ve Şahin bir besi çiftliğinde güneş enerji sisteminin uygulaması ve ekonomik analizini yapmıştır. Yapılan çalışmada işletmenin çatısına yapılan fotovoltaik paneller ile enerji ihtiyacı karşılanmıştır. Üretilcek enerji fotovoltaik coğrafi bilgi sistemi ile hesaplanmış ve yapılan anlık ölçümler ile analiz edilmiştir. Yapılan değerlendirmede sistem amortisman süresinin 7.2 yıl olduğu belirtilmiş olup; tarımsal faaliyet gösteren işletmeler için teşvik ve destek yapılmasının önemli olduğu vurgulanmıştır [15].

Etcı ve Bilhan PVsyst ile Konya ilinde sabit ve çift eksenli güneş takip sisteminin modellenmesini yaparak Konya ilinin enerji potansiyeline ait analizler yapmıştır. Araştırmada Pvsyst programı ile sabit eksenli sistemde ki optimum açı ile çift eksenli sistemin benzetimi yapılmıştır. Sonuç olarak çift eksenli sistemin %16,7 daha fazla enerji ürettiği tespit edilmiştir [16].

Er yaptığı çalışmada güneş radyasyonu tahminleri ve şebekeden bağımsız PV'li kır evi tasarımı yapmıştır. Pamukkale'de şebekeden 8 km uzakta ormanlık alana inşa edilecek kır evinin tüm enerji ihtiyacının güneş enerjisinden sağlanması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada meteorolojik verilere dayanarak Pamukkale'de fotovoltaik güneş paneli için optimum açının 47° olduğu Clearnes endeksinin kış aylarında % 5 civarına düştüğü ve %1 pil kaybı riski olduğu tespit edilmiştir [17].

Yalılı Kılıç ve Adalı güneş enerjisi kullanılarak bir villanın elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla Bursa ili Nilüfer İlçesinde 250 m² kullanım alanına sahip bir konutun şebekeden bağımsız olarak sabit ve hareketli enerji sistemlerinin kurulumu ve maliyet analizini yapmıştır. Yapılan çalışmada şebekeye bağlı sabit sistemin şebekeden bağımsız sabit sistemden yaklaşık %52 oranında daha düşük maliyetli olduğunu tespit etmişlerdir [18].

Barua ve Prasath PVsyst yardımı ile Hindistan' ın Pondicherry Üniversitesi Silver Jubilee kampüsünde enerji ihtiyacının şebekeden bağımsız olarak karşılanması benzetimini yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda üniversitelerin çalışma saatlerinin fotovoltaik sistemlerden enerji üretilmesi için uygun olduğu, ülke genelinde uygulanması halinde %10 oranında geleneksel enerji kullanımının azalacağı değerlendirilmiştir [19].

Akgül, Alisinanoğlu, Özyazıcı, Hasoğlu ve Haznedar yaptıkları çalışmada kırsal alanlarda elektrik temini için şebekeden bağımsız mobilite güneş enerjisi üretimi analizini Şanlıurfa ili için gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bölgesel, teknik, iklimsel ve maliyet analizlerinden optimal açı kullanılarak güneş radyasyonundan %16,2 oranında daha fazla faydalanılabildiğini böylelikle mikro şebekenin geri ödeme süresinin 10,67 yıl olduğunu tespit etmişlerdir [20].

Arıkan, İşen ve Kekezoğlu şebekeden bağımsız fotovoltaik ve rüzgardan oluşan hibrit bir sistemin performans analizini yapmışlardır [21].

Çınaroğlu ve Önal Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi enerji ölçüm laboratuvarının enerji ihtiyacını şebekeden bağımsız olarak karşılamak için fotovoltaik sistem tasarımı yapmışlardır. PVsyst programı ile yapılan benzetim sonuçları ile performans analizleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak çift eksenli KTS' de sabit eksenli KTS' ye göre yılda %137,28 daha fazla enerji üretildiği değerlendirilmiştir [22].

İşler ve Salihmuhsin şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemin TRNSYS ile gerçek zamanlı modellemesi çalışmasını yapmışlardır. Yapılan çalışmada TRNSYS programının simülasyon sonuçlarını detaylı olarak hesapladığını gerçekte uygulanan sistem ile büyük oranda uyumlu olduğu çıkarımı yapılmıştır [23].

Dey ve Shubudi 90kW güce sahip şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımı yapmışlardır. Çalışma 10kW'lık 9 alt sisteme sahip fotovoltaik sistem tasarımı, simülasyonu ve ekonomik değerlendirilmesini içermektedir. Yapılan analiz ve ölçümler sonucunda yılda 15,67 MWh enerji üretilbileceği çatı üstü fotovoltaik sistemin Doğu Hindistan için uygulanabilir olduğu değerlendirilmiştir [24].

Suda, Metin, Cengiz, Er, Öğün ve Topçuoğlu fotovoltaik güç sistemi modellemesinde Muğla Meslek Yüksekokulu bahçesinde elde edilebilecek elektrik enerjisi üretimini hesaplamışlardır. 100kW ve gücündeki tek panel ile 12 ayda 118,43 kW, 2400 kW

gücündeki fotovoltaik panel gurubundan ise 12 ayda 4.777,91 kW elektrik enerjisi üretildiği ölçülmüştür. Yapılan analiz ve hesaplamalardan Muğla ilinin fotovoltaik panel ile elektrik üretimi için verimli bir bölge olduğu değerlendirilmiştir [25].

Wittmer, Mermoud ve Schott Fotovoltaik şebeke kurulumlarının analizi ve verilerin karşılaştırılması çalışması yapmışlardır. Çalışmanın amacı yapılan ölçümleri doğrulamak, kurulum ve işletimdeki hataları tespit etmektir. Yapılan benzetim ve modellemede PVSyst programı kullanılmış olup; ölçülen ve simülasyonu yapılan değerler arasında ortalama farkın %1 oranında olduğunu tespit etmişlerdir [26].

Üçgül, Tüysüzoğlu ve Yakut Fotovoltaik bir uygulama yaparak bu sistemin enerji hesaplaması ve ekonomik durumu ile ilgili olarak çalışma yapmışlardır [27].

1.2. Teori

Gelişen teknoloji ile birlikte enerjiye olan bağımlılık ve ihtiyaç günden güne artmaktadır. Sanayinin gelişmesi ile birlikte enerjiye olan ihtiyacın karşılanması için kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil yakıtlar ve radyoaktif kaynaklı nükleer enerji kaynakları kullanılmaktaydı. Kullanılan bu geleneksel ve radyoaktif enerji kaynaklarının çevresel etkileri beraberinde büyük tartışmaları getirmiştir. Atmosfere verilen büyük tahribatlar ve buna bağlı olarak dünya habitatında yaşanan olumsuz etkiler hükümetleri geleneksel kaynaklı ve zararlı enerji üretim yöntemlerinin azaltılması konusunda tetiklemiştir. Rio Konferansı, Kyoto Protokolü gibi büyük ölçekli ve kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Bunun sonucu olarak yapılan anlaşmalar, konferanslar ve hükümetlerin yasal mevzuatlarındaki düzenlemeler ile zararlı gaz salınımının azaltılmasına ve tamamen çevreci kaynakların kullanımının arttırılmasına yönelik araştırma ve çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Yapılan akademik çalışmalar ve hükümetler tarafından verilen teşvikler ile birlikte son çeyrek yüzyılda yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliğinin arttırılmasına yönelik çalışmalar sonuç vermeye başlamıştır. Fosil yakıtların tükeniyor oluşu ve çevreye verdiği büyük zararın aksine yenilenebilir enerji kaynakları tamamen çevreci olup; güneş, rüzgar, gel-git gibi doğal ve sonu olmayan kaynaklardan geldikleri için sürdürülebilir olması bakımından büyük önem arz etmedir.

Tablo 1.1. Enerji Kaynaklarına Göre Karbon Emisyon Değerleri [28]

Enerji Kaynaklarına Göre Karbon Emisyon Değerleri			
Kaynak	Min –Max Sera Gazı Emisyonu (ton-CO₂/GWh)	Ortalama Sera Gazı Emisyonu (ton-CO₂/GWh)	Bir Konuta Düşen Emisyon* (kg-CO₂-yıl)
Linyit	790-1372	1054	3689
İthal Kömür	756-1310	888	3108
Taş Kömürü	756-1310	888	3108
Fuel-Oil	547-935	733	2566
Doğalgaz	362-891	499	1747
Nükleer	2-130	66	231
Jeotermal		38	133
Biyokütle	10-101	26	91
Hidroelektrik	2-237	26	91
Güneş	13-731	23	81
Rüzgar	6-124	10	35

Yenilenebilir enerji kaynakları; çevresel anlamda büyük bir avantaja sahip olmasına rağmen enerjinin sürekli ve kesintisiz bir şekilde üretilmesi konusunda önemli bir dezavantaja sahiptir. Güneşin akşamları olmaması, rüzgarın her zaman enerjiyi üretecek şekilde devamlı olmaması gibi olumsuzlukların yanında özellikle üretim yöntemleri itibari ile verimlerinin düşük olması yenilenebilir kaynaklara olan ilgi ve yatırımların sınırlı olmasına sebep olmuştur. Yapılan akademik çalışmalar ve ar-ge çalışmaları ile birlikte verimin artırılması, bu sistemlerin hibrit olarak kullanılması ve pil teknolojisinin gelişmesi ile birlikte son yıllarda yenilenebilir enerjinin kullanılmasına yönelik önemli adımlar atılmıştır.

Tablo 1.2. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

ENERJİ KAYNAKLARI				
Yenilenebilir	Kullanışlarına Göre		Dönüştürülebilirliklerine Göre	
	Yenilenemeyen	Yenilenemeyen	Birincil	İkincil
	Çekirdek	Fosil		
Rüzgar	Uranyum	Kömür	Kömür	Elektrik
Güneş	Titanyum	Petrol	Petrol	Mazot
Dalga		Doğalgaz	Doğalgaz	Benzin
Biokütle			Nükleer	Motorin
Jeotermal			Biokütle	İkincil Kömür
Hidrojen			Hidrolik	Kok
Hidrolik			Rüzgar	Petrokok
			Güneş	Havagazı
			Dalga	LPG

Türkiye bulunduğu coğrafi konum itibari ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı açısından avantaja sahiptir. Ülkemizdeki bölgeler bulundukları iklim

özelinde farklı yenilenebilir kaynaklar için önemli avantajlara sahiptir. Çanakkale, Balıkesir gibi illerimizdeki rüzgar potansiyeli yatırımcıları bu bölgelerde rüzgar enerjisine yöneltirken, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu gibi bölgelerde güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olması yatırımcıları güneş enerjisi yatırımlarına yönlendirmektedir. Her il ve bölge özelinde farklı kaynak ve yöntemlerle yenilenebilir enerji üretimi konusundaki avantajlar ve yapılan teşvikler ile özel sektörün yenilenebilir enerjiye olan ilgisi ve talebi günden güne artmaktadır.

Kamu sektöründe de yapılan mevzuat çalışmaları ile enerji verimliliğine yönelik adımlar hızla atılmaktadır. Ulusal Enerji Tasarruf Merkezinin kurulması ve 5627 sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu” ile birlikte kamusal alanda yapılan çalışmalar yasal dayanağa bağlanmıştır. 25 Şubat 2012 yılında yayımlanan “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi”, 2 Ocak 2018 tarihinde yayımlanan “Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023” ve 21 Ağustos 2020 tarihinde yayımlanan “ Kamuda Enerji Performans Sözleşmelerinin Uygulanması” düzenlemeleri ile kamusal alanda verimliliğin artırılması çalışmaları hız kazanmıştır.

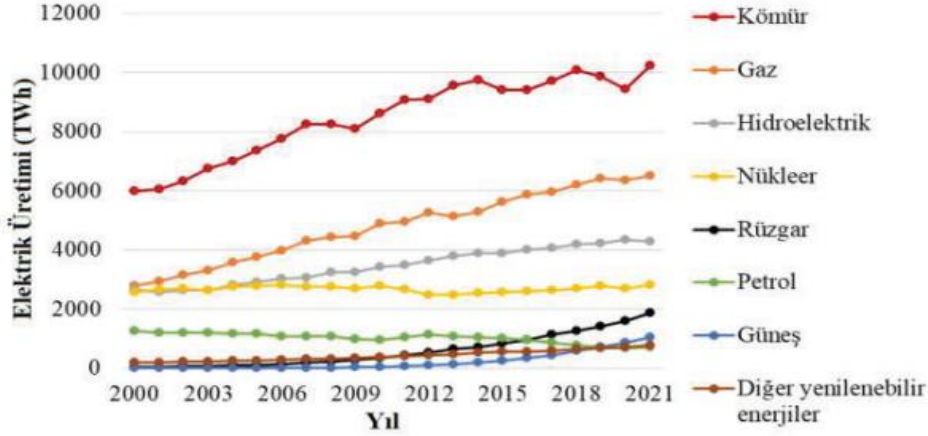
Bu çalışmada Bursa ilindeki bir kamu binasının tüm enerji ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanmasına yönelik araştırma ve analiz çalışmaları yapılmış olup; alınan sonuç ve değerlendirmeler sunulmuştur.

1.2.1. Dünya enerji potansiyeli

Kömür, petrol, doğalgaz, nükleer enerji, hidroelektrik enerjisi çevreye etkileri bakımından çevreci olmayan ve sonlu enerji kaynakları olarak sınıflandırılırken, güneş, rüzgar, gel-git, jeotermal ve biyokütle enerjisi çevreci ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılır.

Sanayileşmenin artması, nüfusun artması, teknolojik gelişmeler ve yaşam standartlarının yükselmesi gibi nedenlerle enerjiye olan talep her geçen yılda ortalama olarak %4- %5 oranında artış göstermektedir [29].

Bu ihtiyacın karşılanmasına yönelik olarak farklı enerji kaynaklarından elde edilen elektriğin üretim miktarı Şekil 1 de verilmiştir [30].



Şekil 1.1. Yıllara Göre Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Elektrik Enerjisi [30]

2021 yılı itibarıyla güneşten elde edilen elektriğin küresel ölçekte sahip olduğu pay %3,7 iken rüzgar enerjisinin oranı %6,6' dır. Çevreci enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi 2021 yılında dünyadaki elektrik enerjisi ihtiyacının %38 ini karşılayarak önemli bir paya sahip olmuştur. Kömür ile elektrik üretiminde bu oranın %36'dır [30].

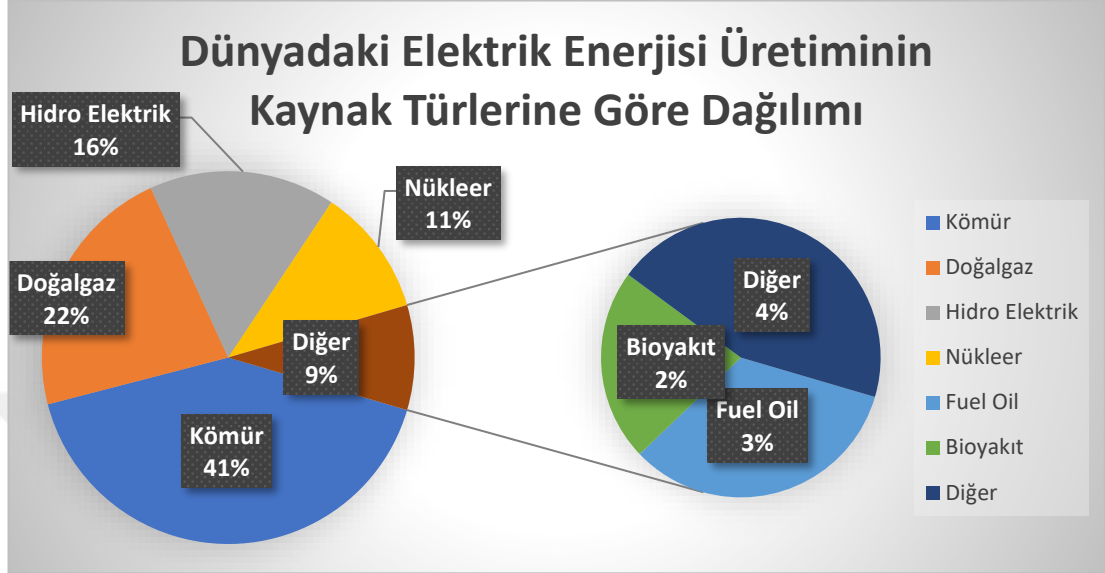
Dünyanın fosil enerji kaynaklarının toplam rezerv olarak 900 milyar ton eşdeğer petrol olduğu düşünülmektedir. Bu değer yaklaşık olarak %75 kömür oluşturmakta iken kalan yaklaşık %25lik kısım doğalgaz petrol ve türevleri kaynaklardan oluşmaktadır [31].

Dünyanın yıllık enerji ihtiyacı yaklaşık olarak 16-17 Terawatt'yl olarak hesaplanmaktadır. Güneşin sağladığı enerji potansiyeli ise 23000 TWy iken, rüzgar enerjisinin potansiyeli yaklaşık olarak 70 ile 120 TWy olarak hesaplanmaktadır. Potansiyel olarak ele alındığında rüzgar ve güneş enerjisi dışında hiçbir yenilenebilir enerji kaynağı (biyokütle, gel-git, jeotermal enerji) dünyanın tüm enerji ihtiyacını karşılama kapasitesine sahip değildir.

1.2.1.1. Kömür

Yanıcı olma özelliğine sahip ana elementi karbon olan içeriğinde oksijen, azot, hidrojen, ve kükürt içeren bir maddedir. Yerkürenin hemen her bölgesinde farklı derinliklerde madenlerden kömür çıkarılabilir. Sanayileşme ile birlikte yoğun olarak 18. yüzyılda yoğun olarak kullanılmaya başlanılmıştır.

Karbon salınımı, hava kirliliği, iklim değişikliği, asit yağmurlarına sebep olabilmesi gibi olumsuz çevresel etkilere sahip olduğu için son yıllarda yürütülen çalışmalar ile kullanımı azaltılmak istenilmektedir [32].



Şekil 1.2. Dünyadaki Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynak Türlerine Göre Dağılımı [30]

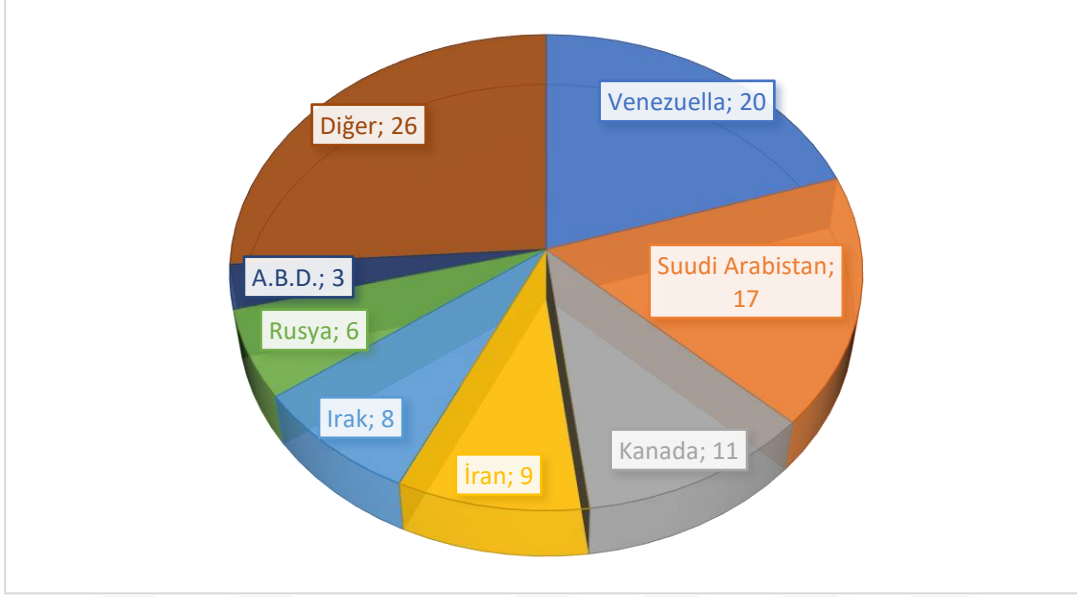
Dünya'nın bilinen kesinleşmiş kömür rezervi küresel enerji ihtiyacını yaklaşık olarak 114 yıl karşılayabilecek düzeydedir. Kullanılan diğer fosil kaynaklı yakıtlara nazaran en yüksek rezerv oranı kömürdedir. Ülkeler bazında bakıldığında en büyük rezerv Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Rusya'dadır [29].

Kömürden elektrik üretiminin birim enerji üretim maliyeti diğer kaynaklara göre ucuz olduğundan, dünya üzerindeki elektrik enerjisi üretiminde en büyük pay kömür ile elektrik üretimindedir [33].

1.2.1.2. Petrol

Latince petroleum olarak adlandırılan petrol, doğada ham olarak bulunur. Ham petrol rafinerilerde işlenerek benzin, gazyağı, dizel, fueloil gibi yakıtlar elde edilir. Tam olarak nasıl oluştuğu bilinmemekte olan petrolün ham maddesinin bitki ve hayvan fosilleri olduğu düşünülmektedir [34].

1820 yılında ilk rafineri petrol işleme tesisi kurulması ile birlikte dünyada ilk kez ticari anlamda Rusya'da kullanılmaya başlanmıştır. Rusya'nın ardından 1857 yılında Romanya'da ve 1859 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde ticari amaçlı rafineriler kurulmuştur [31].



Şekil 1.3. Ülkelere Göre Ham Petrol Rezervleri [35]

Kanıtlanmış olarak dünyanın 244,4 milyar ton veril petrol rezervi bulunmakta olup, dünyanın enerji ihtiyacının 51 yıl karşılanması sağlanabilir. Kalan rezervlerin %60'ı karada, %37'si deniz ve okyanus tabanında kalan %3'lük kısmı da kuzey kutbundadır [29].

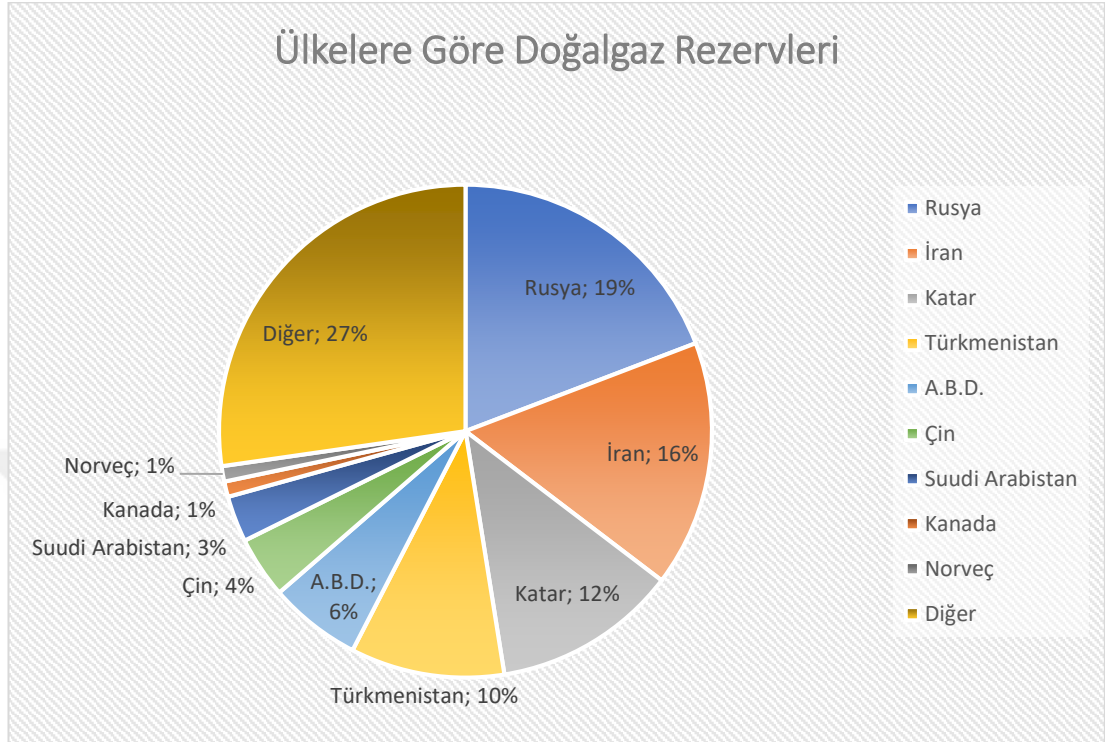
2021 yılı verilerine göre ham petrol rezervleri dağılımında en büyük pay %20 ile Venezuela'dadır. Üretim verileri bakımından ise 2021 yılı itibari ile ham petrol üretimi en fazla olan ülke dünya üretiminin %17'sini karşılayan Amerika Birleşik Devletleridir [35].

1.2.1.3. Doğalgaz

Yanıcı ve parlayıcı metan, propan, bütan, etan ve karbondioksit gazlarının karışımından oluşan doğalgaz fosil kaynaklı bir enerji kaynağıdır. Renksiz, kokusuz ve yoğunluğu havadan az olan bir gazdır. Kullanım açısından kaçak ya da sızıntı olması durumunda fark edilebilmesi amacıyla belirli oranda tetrahidroteofen (THT) veya tersiyer bütilmerkaptan (TBM) maddeleri katılarak hazırlanır. Çevresel etkileri bakımından değerlendirildiklerinde; tam olarak yanabildiği için is, kül, kurum ve duman gibi maddeler oluşturmaz ve karbon salınım oranı en düşük fosil yakıtlardandır [34].

Dünya doğalgaz rezervi 2021 yılı verilerine göre yaklaşık olarak 118,1 trilyon m³ olarak hesaplanmaktadır. Toplam rezervin %19'luk kısmı Rusya'dadır. Kullanıma

sunulması bakımından en büyük üretici ülke konumunda ise %23'lük oran ile Amerika Birleşik Devletleri yer almaktadır [36].



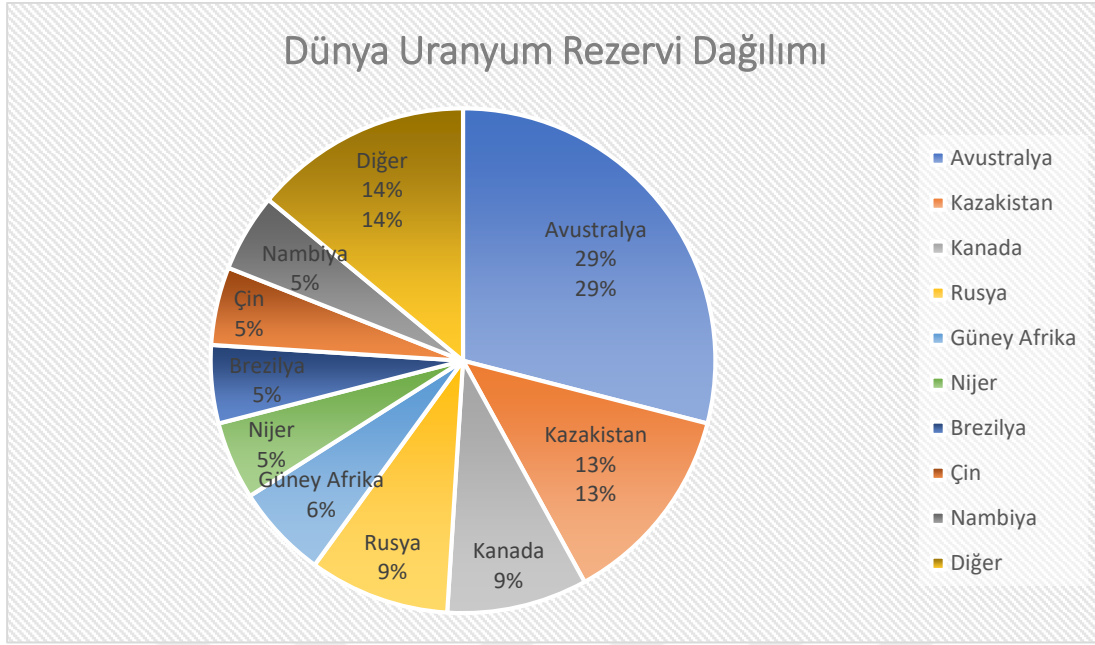
Şekil 1.4. Ülkelere Göre Doğalgaz Rezervleri [36]

Temiz yakıt olarak değerlendirilen doğalgazdan küresel bazda üretilen elektrik enerjisi 2015 yılı verilerine göre toplan üretilen %22'si düzeyindedir. Kömürden sonra en büyük paya sahip kaynak konumundadır.

Elektrik üretiminde Amerika Birleşik Devletleri %26,8 oranında doğalgaz kullanımına sahiptir. Bu oran Kanada'da %9,3 düzeyindedir. Çin halk Cumhuriyetinde %2, Hindistan' da ise %4,9 oranında görülmektedir [29].

1.2.1.4. Nükleer enerji

Uranyum elementinin U-235 izotopunun çekirdeğinin ayrışma (fizyon) ya da birleşmesi (füzyon) yöntemi ile elde edilen çekirdek kaynaklı enerji üretim yöntemidir. Reaksiyon sonucu oluşan yüksek ısı kontrollü olarak buhar vasıtası ile mekanik bir düzenek yardımıyla elektrik üretilmesini sağlar. Doğada sınırlı oranda bulunduğu için yenilenemez kaynak olarak da sınıflandırılabilir [37].



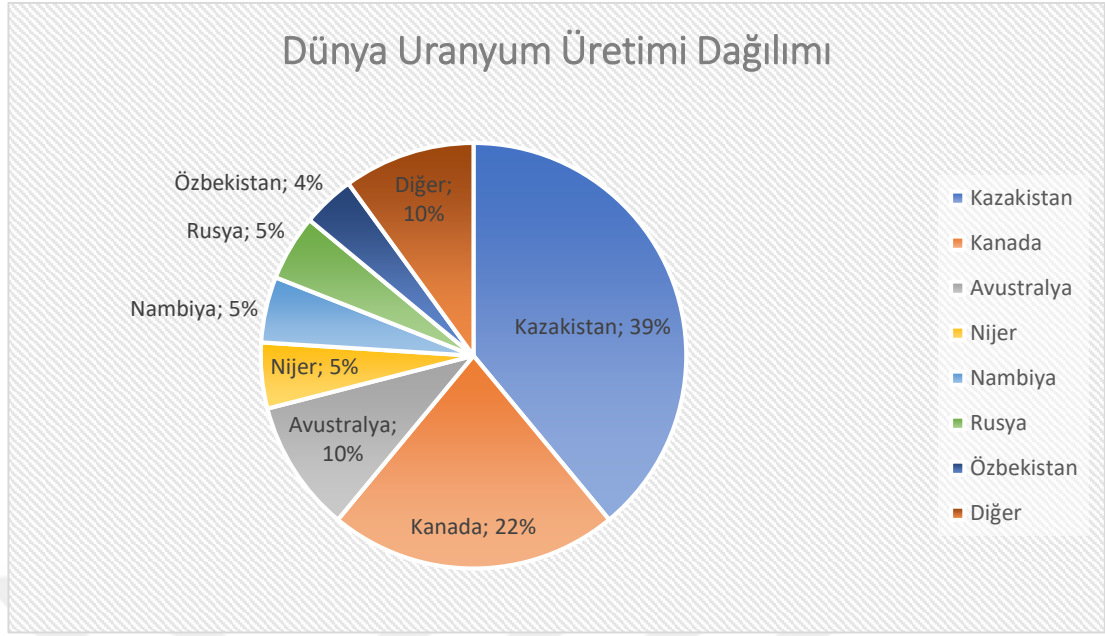
Şekil 1.5. Dünya Uranyum Rezervi [38]

Nükleer santrallerin kurulumu 1970’li yıllarda yaşanan enerji krizleri ile hız kazanmıştır. Enerji kaynakları sınırlı olan ülkeler enerji konusunda dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla nükleer enerjiye yönelmiştir. Three Mile Island ve Çernobil kazaları ile yapılan yatırımlar sekteye uğramış olsa da yaşanan teknolojik gelişmeler ve uluslararası denetim mekanizmalarının oluşması ile günümüzde yeniden nükleer enerji yatırımları ön plana çıkmaktadır. Nükleer santraller atık oluşturmaması ve karbon salınımı yapmamaları ile çevreci olarak değerlendirilirler. 2023 yılı temmuz ayı itibari ile dünya genelinde aktif 410 nükleer reaktör bulunmaktadır. 4 adedi Türkiye’de olmak üzere 17 ülkede 57 adet nükleer reaktörün inşaatı devam etmektedir [39].

Rezerv olarak ele alındığında 2016 yılı verilerine göre dünyadaki bilinen uranyum rezervinin %29’u Avustralya’da, %13’ü Kazakistan’da, %9’u Kanada ve Rusya’dadır. Yakıt olarak kullanılan uranyum üretiminde ise Kazakistan %39, Kanada %22, Avustralya %10 pay ile en büyük paylara sahiptir [38].

1 gr. Uranyum U235 izotopunun 2.5 ton kömürün eşdeğerinde enerji sağladığı, sağlanan bu enerjinin 200 yıl boyunca devam edeceği varsayılmaktadır [40].

2017 yılı verilerine göre dünya elektrik üretiminde nükleer kaynaklı elektrik üretimi %10,6’lık paya sahiptir. Fransa elektrik ihtiyacının karşılanması için %78 oranda nükleer enerjiden faydalanmaktadır [28].



Şekil 1.6. Dünya Uranyum Üretimi [38]

Tablo 1.3. Bazı Ülkelerin Kaynak Bazında Nükleer Elektrik Üretim Oranı [28]

Ülke	Nükleer enerji Oranı (%)
Fransa	78
Almanya	16
ABD	19
Kanada	16
Çin	2
Hindistan	3
Rusya	17

1.2.1.5. Hidroelektrik

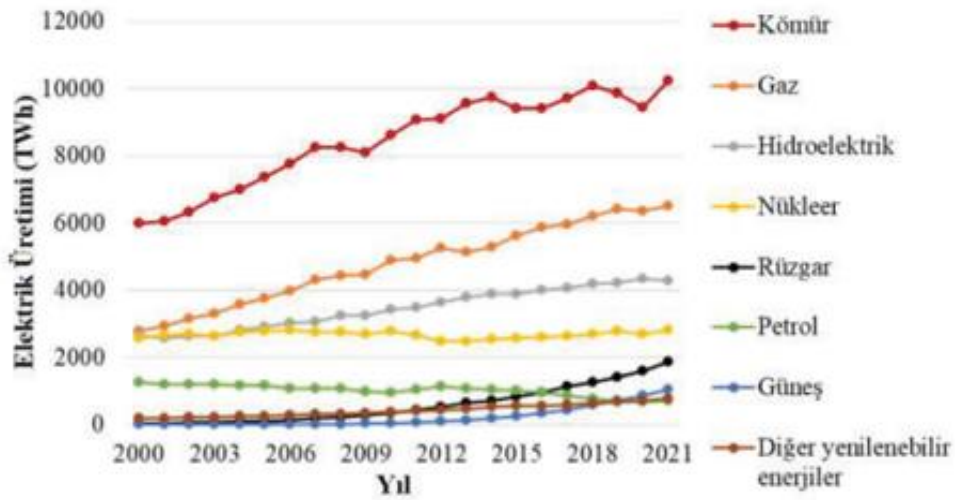
Hidrolik enerji yenilenebilir enerji kaynaklarından olup; suyun potansiyel enerjisinin önce kinetik enerjiye ardından türbinler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibi ile elde edilmektedir [31].

Hidrolik enerjinin işletme bakım maliyetleri oldukça düşüktür. Yakıt gideri yoktur ve karbon salınımı yapmadıkları için çevrecidir. Uzun ömürlü ve yüksek verimlidir. Olumsuz yönleri değerlendirilecek olursa; kuruldukları bölgede tarım faaliyetlerini sınırlandırıcı etkileri vardır ve ilk kurulum maliyetleri yüksektir [32].

Elektrik enerjisi talebinin yüksek olduğu durumlarda geliştirilen pompalı depolama teknikleri ile enerji ihtiyacına karşılık verebilen sistemlerdir. Yapılan araştırmalar ile dünya genelinde hidrolik enerji potansiyelinin yaklaşık 15000TWh/yıl olduğu değerlendirilmektedir [41].

Dünya üzerindeki hidrolik enerji potansiyeli yoğun olarak Amerika, Asya ve Avrupa kıtalarındadır. Ülkemizde coğrafi yapısı itibari ile zengin hidrolik enerji potansiyeline sahiptir. Dünya üzerinde 40.000'den fazla baraj bulunmakta olup bunların yaklaşık %20' sinden hidroelektrik enerji üretimi yapılmaktadır.

Halen daha elektrik üretimi açısından yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki en büyük pay hidrolik enerjidedir [30].



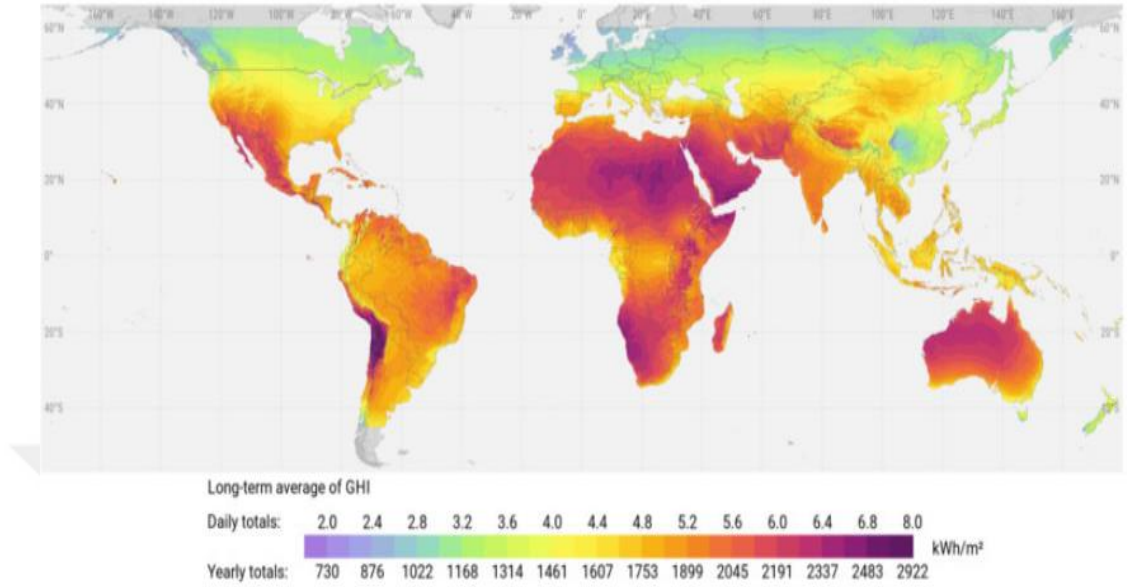
Şekil 1.7. Küresel Çapta yıllara göre Farklı Enerji Kaynaklarından Elde Edilen Elektrik enerjisi Üretim Miktarları [30]

1.2.1.6. Güneş

Güneş çekirdeğinde bulunan hidrojen gazının füzyon reaksiyonu ile helyuma dönüşmesi ile oluşan yüksek miktartlı enerji güneş enerjisi olarak tanımlanır. Güneş sürekli ve tükenmez bir enerji kaynağı olup; yaklaşık olarak $3,9 \times 10^{26} \text{W}$ enerji yaymaktadır. Dünya atmosferinin dış yüzeyinde metrekare başına ortalama 1367W güç düşer [42].

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük potansiyele sahip kaynak güneş enerjisidir. Güneş yaydığı ışık ve ısı ile sisteminde bulunan gezegen ve yıldızların ısınmasını ve aydınlanmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda güneşten gelen ışınlamalar; sebep olduğu atmosferik durumlar ile okyanus akıntıları, rüzgar gibi farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının doğal kaynağı durumundadır. Atmosfer çevresinde 1376W/m^2 değerinde olan güneş ışınlam gücü dünyanın ve güneşin konumsal durumu

ve atmosferik olaylar ile yeryüzünde yaklaşık olarak 0-1100 W/m² düzeyinde ölçülür [43].



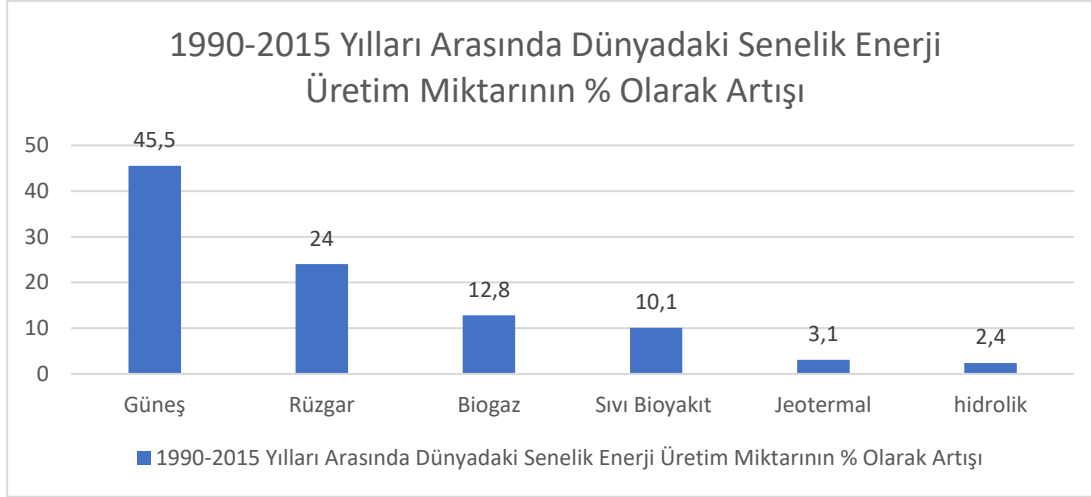
Şekil 1.8. Global Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası [44]

Fosil yakıtların çevreye verdiği zararlardan imtina etmek maksadıyla güneş enerjisinden daha fazla faydalanma çalışmaları 1970’li yıllardan itibaren hız kazanmıştır. Gelişen teknoloji ve yapılan ar-ge yatırımları ile güneş enerjisi sistemlerinin kurulum maliyetleri ve amortisman süreleri günden güne azalmaktadır.

2014 yılından sonra güneş enerjisi sektörü %25’lik büyüme gerçekleştirmiştir. 2015 yılında önceki yıla nazaran yaklaşık 50GW’lık kapasite artışı gerçekleşmiş küresel çapta yaklaşık 227GW kapasiteye ulaşmıştır. Güneş enerjisi kurulu gücü kapasitesinde Avrupa ilk sıradadır. Güneş enerjisinden ısı elde etme kapasitesi değerlendirildiğinde Çin, ABD, Almanya ve Türkiye ilk sıralardadır [29].

REN21 raporuna göre 2017 yılı itibariyle yeni kurulan yenilenebilir enerji kapasitesinin %55’ini güneş enerjisi sistemleri oluşturmaktadır [43].

Büyüme açısından değerlendirildiğinde yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı gelişim gösteren enerji kaynağı güneş enerjisidir. Güneşten sonra en büyük artış gösteren kaynak ise rüzgar enerjisidir [45].



Şekil 1.9. 1990-2015 Yılları Arasında Dünyadaki Senelik Enerji Üretim Miktarının Yüzde Olarak Artışı [45]

1.2.1.7. Rüzgar

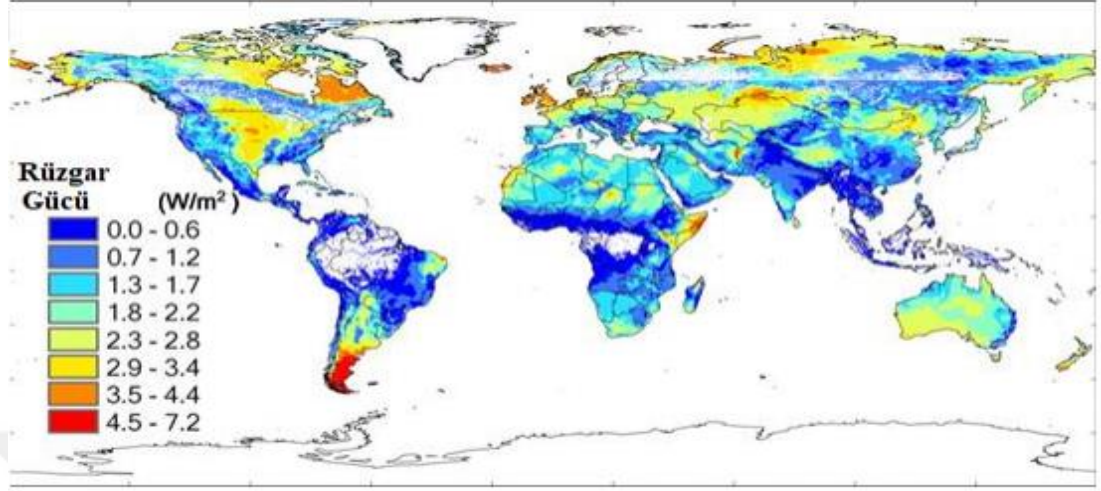
Güneş radyasyonunun yer kabuğu farklı oranlarda ısıtmasına bağlı olarak yer yüzünün basıncının, neminin ve sıcaklığının farklılık gösterir. Okyanus ve deniz yüzeyinin ısısının hava ısısından farklı olması basınç farkı oluşumuna neden olur. Oluşan basınç farkı hava akımı meydana getirir ve rüzgar oluşur [29].

Rüzgar, bilinen insanlık tarihinin en eski zamanlarından beri enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Tarih boyunca yel değirmeni olarak, denizlerde ulaşım amacıyla, tarımsal ürünlerin öğütülmesi gibi farklı amaçlarla rüzgar enerjisi kullanılmıştır. 1970’lerde baş gösteren enerji arzındaki sıkıntı ile birlikte enerji ihtiyacının farklı kaynaklardan sağlanması amacıyla yürütülen çalışmalar ile rüzgar enerjisinden elektrik üretilmesi yatırımları hız kazanmıştır [34].

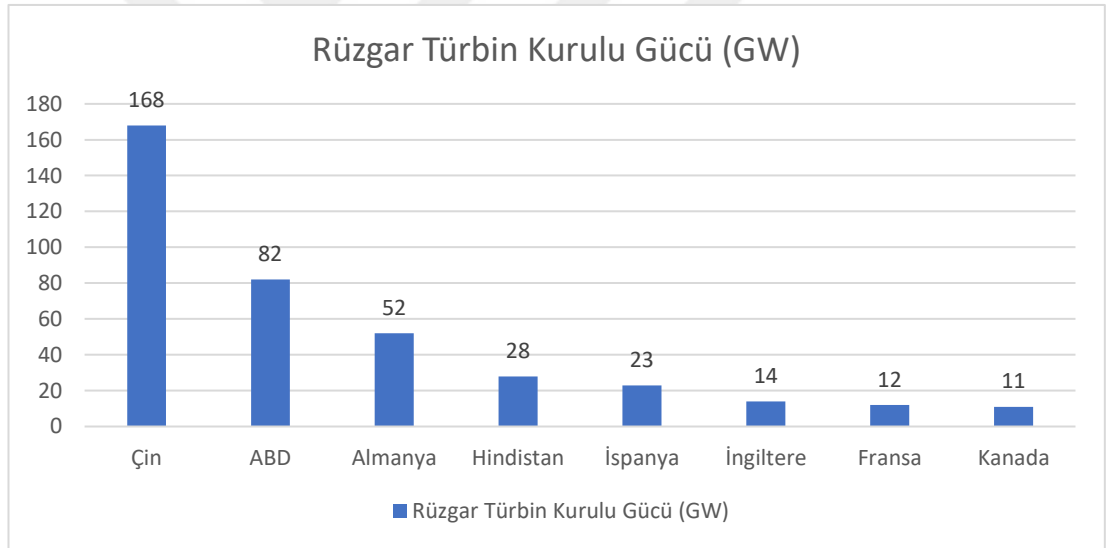
Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2’ si rüzgar enerjisine dönüşür. Rüzgar enerjisi yenilenebilir ve temiz enerji kaynağıdır. Sürekli ve yapılan ar-ge çalışmaları ile kurulum maliyetleri zaman içinde düşmektedir. Buna bağlı olarak amortisman süreleri kısadır. İşletme ve bakım maliyetleri düşük olduğu için tercih edilmektedir [46].

Yenilenebilir enerji kapasitesi bakımından güneşten sonra en büyük kaynak rüzgar enerjisidir. 2015 yılı itibari ile Danimarka’nın toplam elektrik enerjisi üretiminin hemen hemen yarısı rüzgar enerjisinden sağlanmıştır. Dünya üzerinde en büyük rüzgar enerjisi üreticisi ABD’dir. Rüzgar enerjisi kapasitesi bakımından ülkeler

sıralandığında Çin ilk sırada yer alır. ABD, Almanya, Hindistan, İspanya ve İngiltere büyük potansiyele sahiptir [29].



Şekil 1.10. Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası [41]

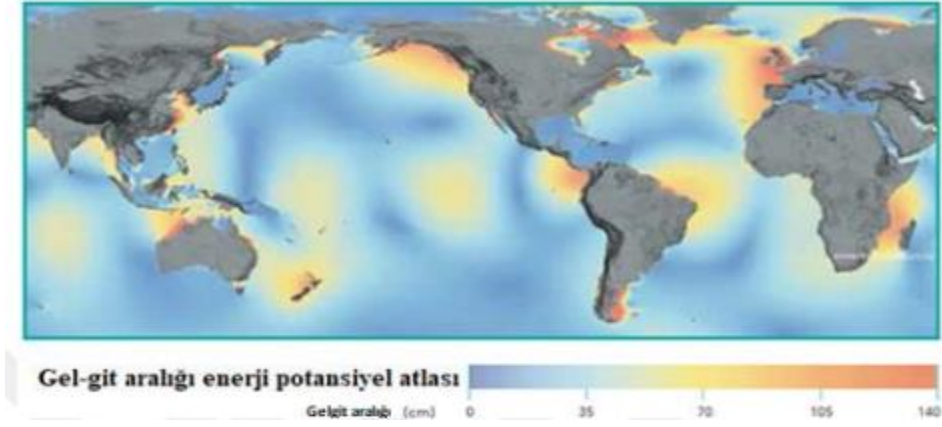


Şekil 1.11. Rüzgar Kurulu Gücü En Fazla Olan Ülkeler [29]

1.2.1.8. Okyanus ve denizler enerji potansiyeli

Dünya yüzeyinin yaklaşık olarak %71'i su okyanus ve denizler ile kaplıdır [41]. Okyanus ve denizlerden gel-git akıntıları, okyanus akıntıları, dalgalar, okyanus termal enerjisi ve tuzluluk derecesi gibi farklı yöntemlerle enerji üretilmektedir.

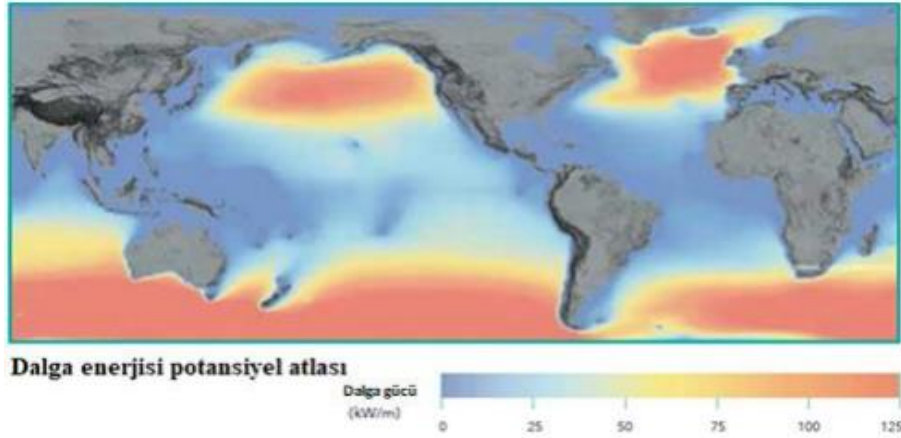
Güneş ve ayın farklı dönemlerde çekim kuvvetine bağlı olarak gel-git akıntıları oluşmaktadır. Kıyı bölgelerde gel-gitler daha fazla olduğundan suyun içerisine türbinler yerleştirilerek elektrik enerjisi üretilmektedir.



Şekil 1.12. Gel-git Akımları Enerji Potansiyel Atlası [41]

Gel-git akıntılarından oluşan enerji potansiyeli yaklaşık olarak 1200TWh/yıl olarak hesaplanmaktadır [41].

Rüzgarın şiddetine bağlı olarak okyanus ve deniz yüzeyinde dalgalar meydana gelmektedir. Yüzeyde oluşan dalgalar enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır [47]. Güneş, rüzgarın oluşmasında ana etkindir. Dolaylı olarak dalgadan elde edilen enerjinin sağlayıcısı da güneş enerjisidir. Sürekli ve temiz enerji kaynağıdır [48].



Şekil 1.13. Dalga Enerjisi Potansiyel Atlası [41]

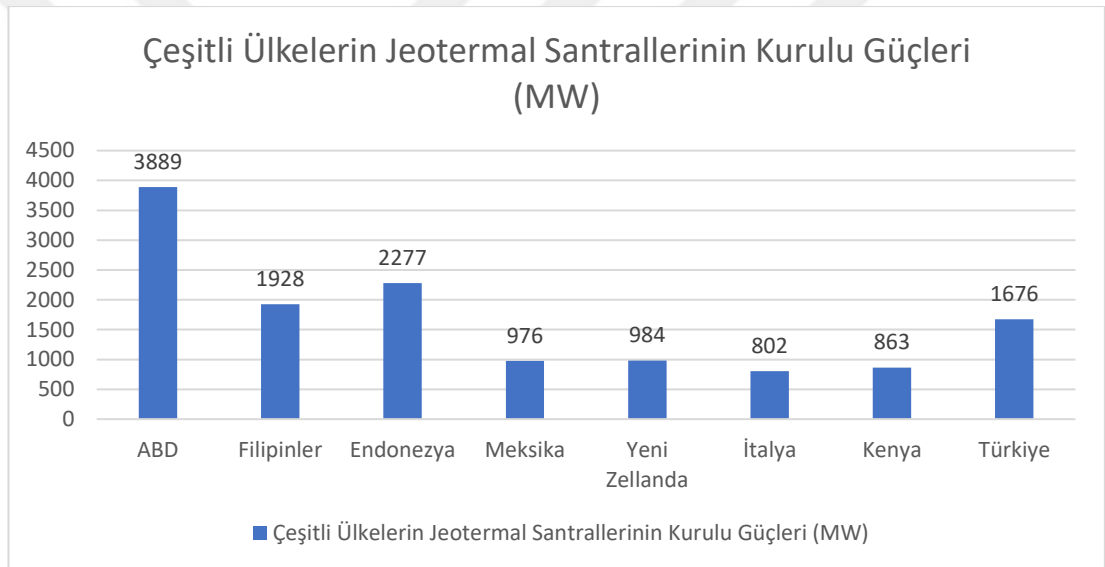
1.2.1.9. Jeotermal

Dünyanın oluşunda bulunan madde ve atomların radyoaktif bozunmasından kaynaklanan, farklı derinliklerde birikmiş olan basınçlı sıcak ve akışkan halde bulunan kayaların oluşturduğu enerjidir. Yüksek sıcaklıkta olması sebebiyle doğrudan ısınma

amaçlı kullanılabildiği gibi dolaylı olarak elektrik enerjisi üretiminde de kullanılabilen sürdürülebilir, güvenli ve çevreci bir enerji kaynağıdır [30].

2015 yılı verilerine göre dünyanın enerji ihtiyacının karşılanmasında jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretilmesi oranı yaklaşık olarak %0.04 dolaylarındadır. Bulundurduğu avantajlar bakımından değerlendirildiğinde jeotermal enerjiye yeteri kadar yatırım yapılmadığından faydalanma oranı düşük kalmaktadır [29].

2021 yılı verilerine göre sahip olduğu 3889 MW kurulu güç ile ABD en büyük kurulu güç kapasitesine sahip ülkedir. 1676 MW kurulu güç ile Türkiye Avrupa kıtasında ilk sırada yer almaktadır. Dünyanın jeotermal enerjiye dayalı toplan kurulu gücü 2021 yılında yaklaşık olarak 15644 MW seviyelerindedir [30].

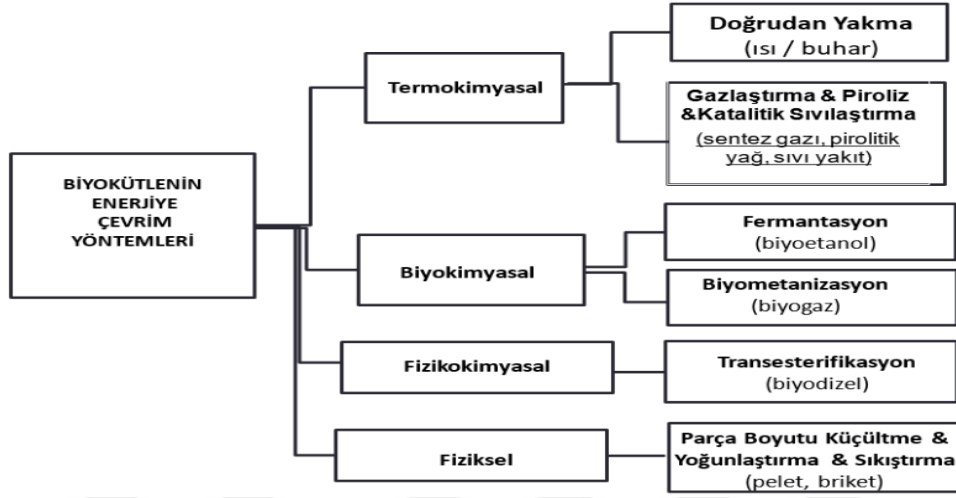


Şekil 1.14. Çeşitli Ülkelerin Jeotermal Santrallerinin Kurulu Güçleri [30]

1.2.1.10. Biyokütle

Biyokütle enerjisi, çevreye zararı olmayan, sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Dünya nüfusunun ve buna bağlı olarak artan sanayileşmenin enerji ihtiyacını karşılamada alternatif olabilecek önemli yenilenebilir enerji kaynaklarındandır. Bitkiler güneşten aldıkları enerjiyi fotosentez işlemi dönüştürürler. Bu dönüşüm sonucu ortaya çıkan enerji biyokütle enerjisi olarak adlandırılır. Biyokütle doğrudan yakılma yöntemiyle ya da bir takım işlemler ile zenginleştirilip yakıt kalitesi artırılarak kullanılabilir. Küresel olarak kullanımları her geçen yıl artmaktadır. Finlandiya enerji ihtiyacının %19'unu biyokütle enerjisinden sağlamaktadır. ABD' de yenilenebilir enerji

kaynakları arasında hidrolik enerjiden sonra en büyük pay %3 oran ile biyokütle enerjisindedir [47].



Şekil 1.15. Biyokütlenin Enerjiye Çevrim Yöntemleri [49]

Dünyada biyokütle enerji üretimini 2021 yılında %6 oranında artarak yaklaşık 646 TWh olmuştur [30].

Tablo 1.4. 2020 Yılında Dünyada Üretilen Biyokütle enerjisi (GWh) [30]

Ülkeler	Birinci katı biyoyakıtlar	Endüstriyel atıklar	Biyogaz	Sıvı Biyoyakıtlar	Belediye atıkları	Toplam
Çin	113961	10301	31	0	43	124336
ABD	40692	1512	12070	335	7120	61729
Brezilya	56231	2269	1956	555	0	61011
Almanya	11327	772	33041	383	5811	51334
Japonya	22181	18522	136	0	1824	42663
İngiltere	27523	1246	7571	0	4304	40644
Hindistan	30170	0	1144	0	798	32112
Türkiye	1321	15	3032	38	14	4420
OECD Ülkeleri	192996	24995	82269	7562	33927	341749

1.2.2. Türkiye'nin enerji potansiyeli

Türkiye enerji ihtiyacının büyük kısmını fosil kaynaklardan karşılamaktadır. Nüfusun günden güne artması ile birlikte enerji ihtiyacı da sürekli artış göstermektedir. Enerji ihtiyacında dışa bağımlılığı azaltmak maksadıyla devlet tarafından yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılması hususunda teşvik ve düzenlemeler yapılmaktadır.

2021 yılında tüketilen elektrik enerjisi önceki yıla oranla %8,74 oranında artarak 332.9 TWh ölçülmüştür. Buna bağlı olarak elektrik üretimi ise %9.14 oranında artarak 334.7 TWh değerine yükselmiştir. Kaynaklara göre en yüksek elektrik üretiminde %33.2 oran ile doğalgaz ilk sırada yer almaktadır. Kömür %30.9, hidrolik enerji %16.7, rüzgar enerjisi %9.4, güneş enerjisi %4.2, jeotermal enerji ise %3.2 paya sahiptir [30].

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli bakımından avantajlı bir coğrafyadadır. Ayrıca enerji ihtiyacımızın karşılanmasında önemli bir orana sahip kömür rezervleri bakımından da zengin kaynaklara sahiptir.

1.2.2.1. Kömür

Taş kömürü, linyit, bitümlü kömür ve asfaltit ülkemizde rezervleri bulunan başlıca kömür türleridir. Ülkemiz dünya kömür rezervinin yaklaşık %2.1'ine sahiptir. Yerli kömüre dayalı termik santrallerin kurulu gücü 11365 MW değerindedir. 2005-2022 yılları arasında yapılan çalışmalar ile toplam linyit rezervi 20.4 milyar ton olarak hesaplanmaktadır [50].

1.2.2.2. Petrol

2022 yılı itibariyle ülkemizde 3,58 milyon ton ham petrol üretilmiştir. Buna karşın 33,49 milyon ton petrol ithal edilmiştir. Türkiye'nin üretilebilir petrol rezervinin 2022 yılı itibariyle 70 milyon ton olduğu değerlendirilmektedir. 2022 yılı içerisinde Türkiye'de 191 yeni ham petrol kuyusu açılmış 421.408 metre sondaj yapılmıştır [35].

1.2.2.3. Doğalgaz

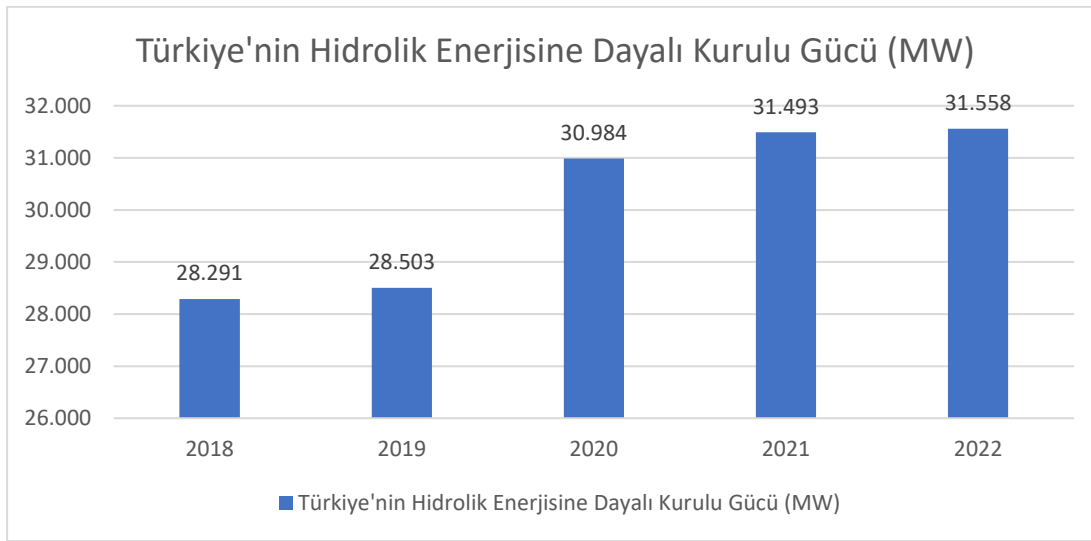
2022 yılı itibariyle Türkiye'de yaklaşık 408 milyon metreküp doğalgaz üretimi yapılmıştır. Aynı yıl içinde ithal edilen doğalgaz 54,6 milyar metreküp miktarındadır. Ülkemizin üretilebilir doğalgaz rezervinin yaklaşık 544 milyar metreküp olduğu

hesaplanmaktadır. Sakarya sahasında yapılan arama çalışmaları ile rezerv değerlerin artması beklenmektedir [36].

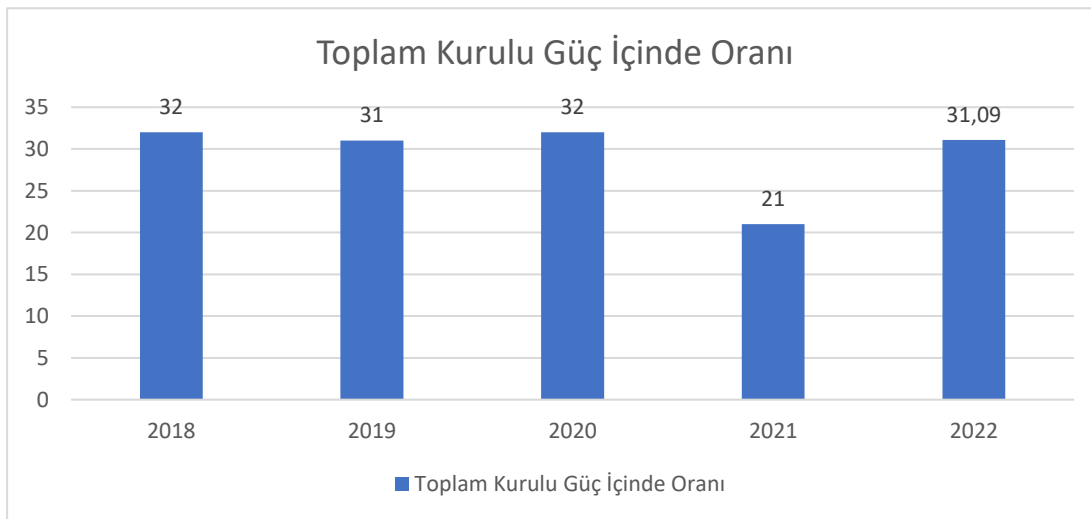
2022 yılı Kasım ayı itibariyle Türkiye’de üretilen elektrik enerjisinin %33.2’si doğalgaz kaynaklıdır.

1.2.2.4. Hidroelektrik

Türkiye’de 2021 yılında 55.5 milyar kWh elektrik üretilmiştir. Ülkemizin hidrolik enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 31.558MW değerindedir. Toplam kurulu güçte hidrolik enerjisinden elektrik üretilmesinin oranı %31 değerindedir [51].



Şekil 1.16. Türkiye’nin Hidrolik Enerjisine Dayalı Kurulu Gücü (MW) [51]



Şekil 1.17. Hidrolik Enerjinin Toplam Kurulu Güç İçinde Oranı [51]

Türkiye'nin hesaplanan teorik hidroelektrik enerji potansiyeli 433TWh/yıl iken, teknik kullanılabilir potansiyeli 216 TWh/yıl değerindedir. Sosyal , çevresel ve ekonomik koşullar değerlendirildiğinde yapılabilir hidroelektrik potansiyelimiz 180 TWh/yıl durumundadır. Türkiye'nin teknik hidroelektrik potansiyeli dünya potansiyelinin %1.5'i seviyesindedir. Son yıllarda yaşanan kuraklığa bağlı olarak baraj ve akarsu havzalarında su oranları azalmaktadır [30].

1.2.2.5. Nükleer

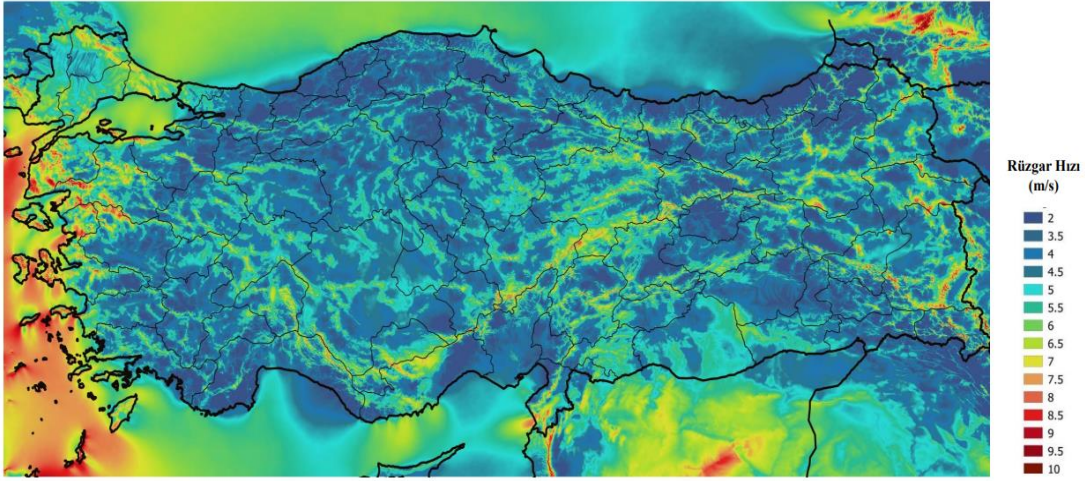
Türkiye nükleer enerjinin yakıtı olan Uranyum ve Toryum rezervlerine sahiptir. Toryum bakımından dünyanın ikinci en büyük rezervi Türkiye'dedir. Uranyum rezervi bakımından Türkiye'de 9129 ton uranyum rezervi keşfedilmiştir [52].

Türkiye' de aktif ve çalışır durumda nükleer enerji santrali bulunmamaktadır. Türkiye'de 4 adet nükleer enerji reaktörü inşaatı devam etmektedir. Enerjiye olan ihtiyacın günden güne arttığı düşünüldüğünde nükleer enerjiden elektrik üretilmesi yatırımlarının artması ve ihmal edilmemesi ülkemiz adına önem arz etmektedir.

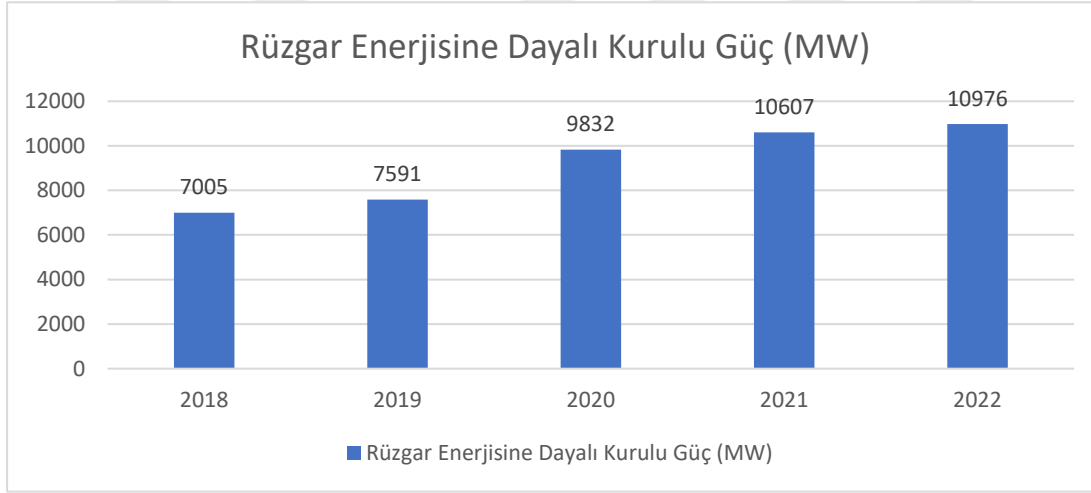
1.2.2.6. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli

Ülkemiz 784.347km² yüz ölçümü ve sahip olduğu zengin iklimi ile önemli yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeline sahiptir.

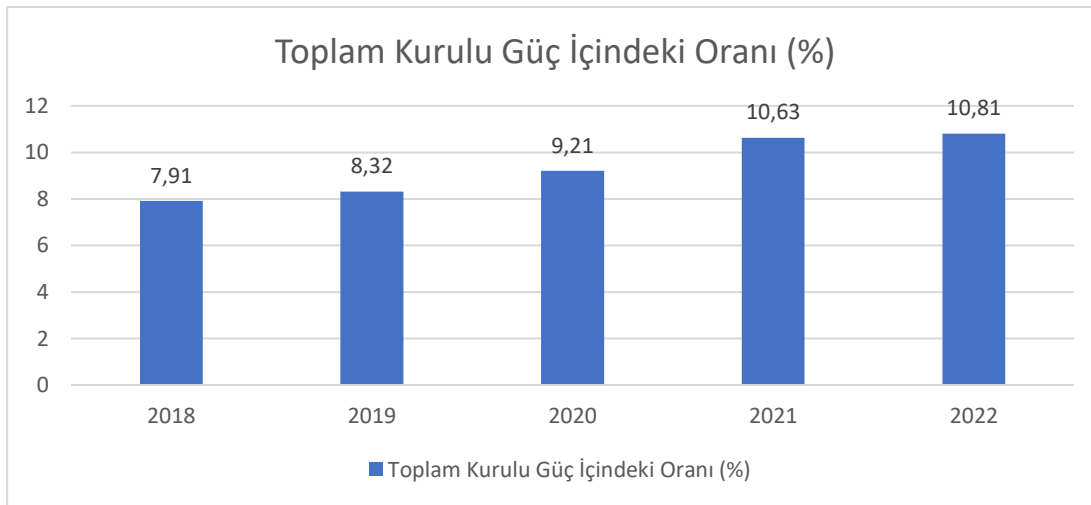
Rüzgar Enerjisi: Rüzgar hızı ve sürekliliği gibi kriterlere göre rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmesinde bölgeler arası farklılıklar vardır. Bu çalışmalar kapsamında Türkiye'de elektrik üretebilecek rüzgar şiddeti 7 m/sn üzeri dikkate alındığında 10.463MW deniz, 37.386MW kara potansiyeli olmak üzere 47.849MW olarak hesaplanmıştır [52].



Şekil 1.18. Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı Dağılımı (100 metre) [53]



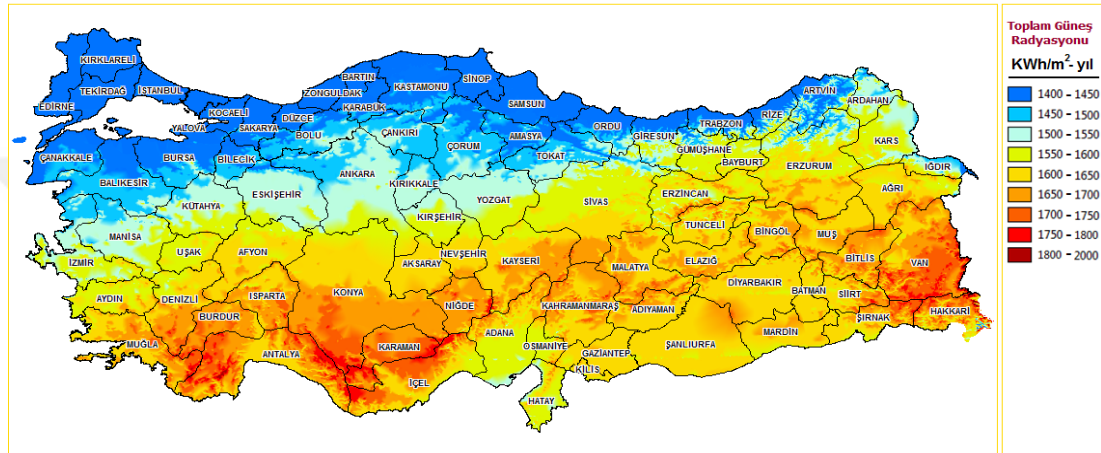
Şekil 1.19. Rüzgar Enerjisine Dayalı Kurulu Güç [46]



Şekil 1.20. Rüzgardan Sağlanan Elektrik Enerjisinin Toplam Kurulu Güce Oranı [46]

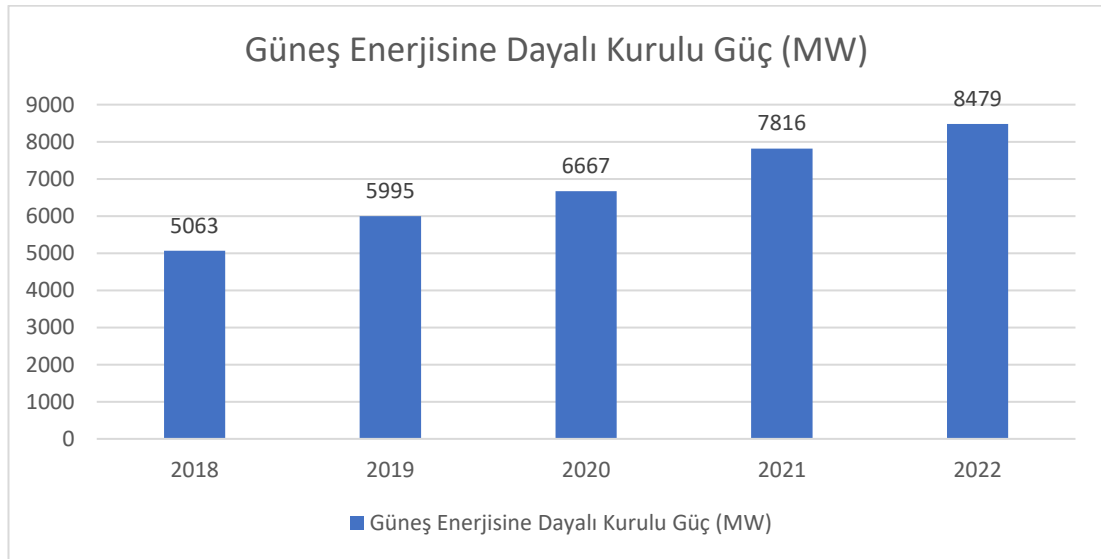
Gelişen teknolojiye bağlı olarak yeni üretilen ve geliştirilen rüzgar türbinleri, rüzgardan kaynaklı elektrik enerjisi kurulu gücünün 2022 yılı itibari ile 10.976MW olup; toplam kurulu güç içerisinde %10,81 orana sahiptir [46].

Güneş Enerjisi: Türkiye konumu itibari ile güneş enerjisi potansiyeli fazla olan ülkelerden biridir. Güneş enerjisinin etkin ve verimli değerlendirilebilmesi amacıyla Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) oluşturulmuştur.

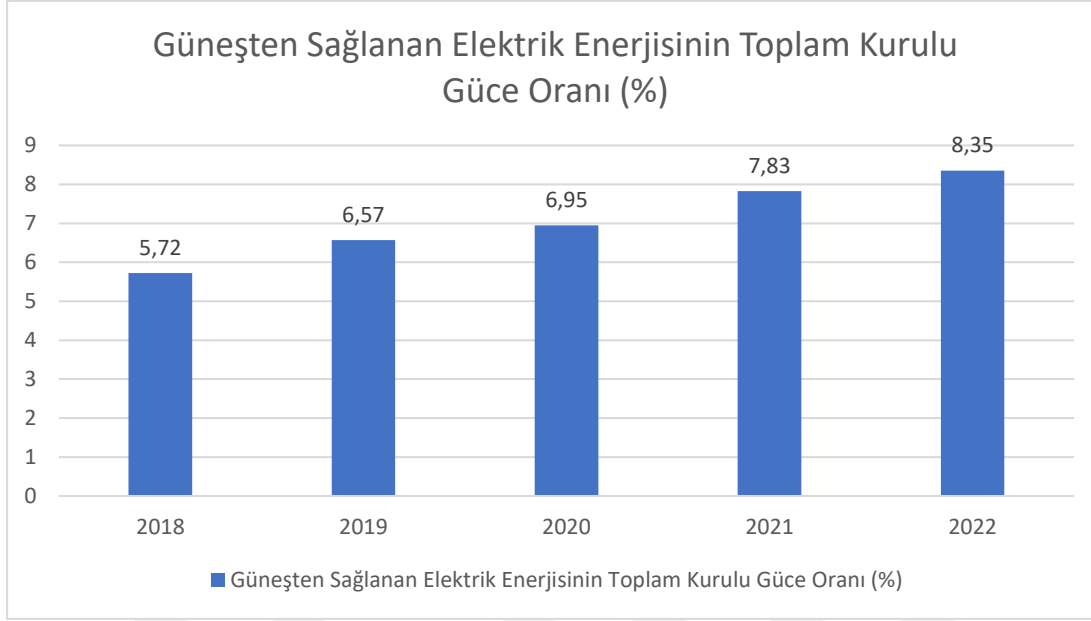


Şekil 1.21. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) [54]

GEPA'ya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat, ortalama yıllık ışıınım değeri 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmaktadır. 2022 yılı itibari ile güneş enerjisine dayalı toplam kurulu gücümüz 8479MW olup; toplam kurulu güce oranı %8,35 değerindedir [55].

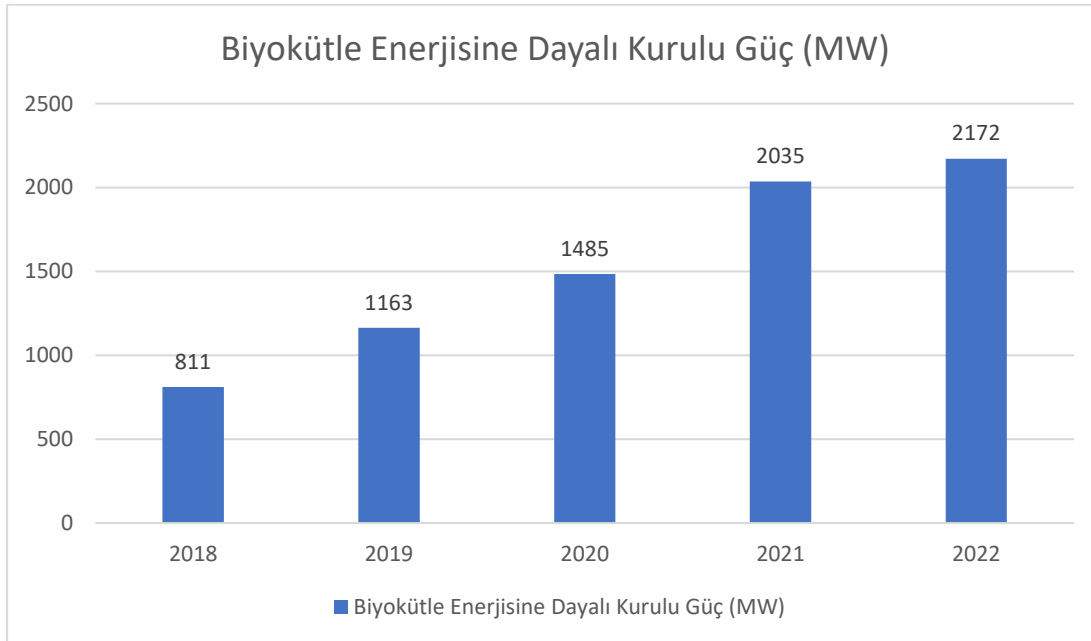


Şekil 1.22. Güneş Enerjisine Dayalı Kurulu Güç [55]



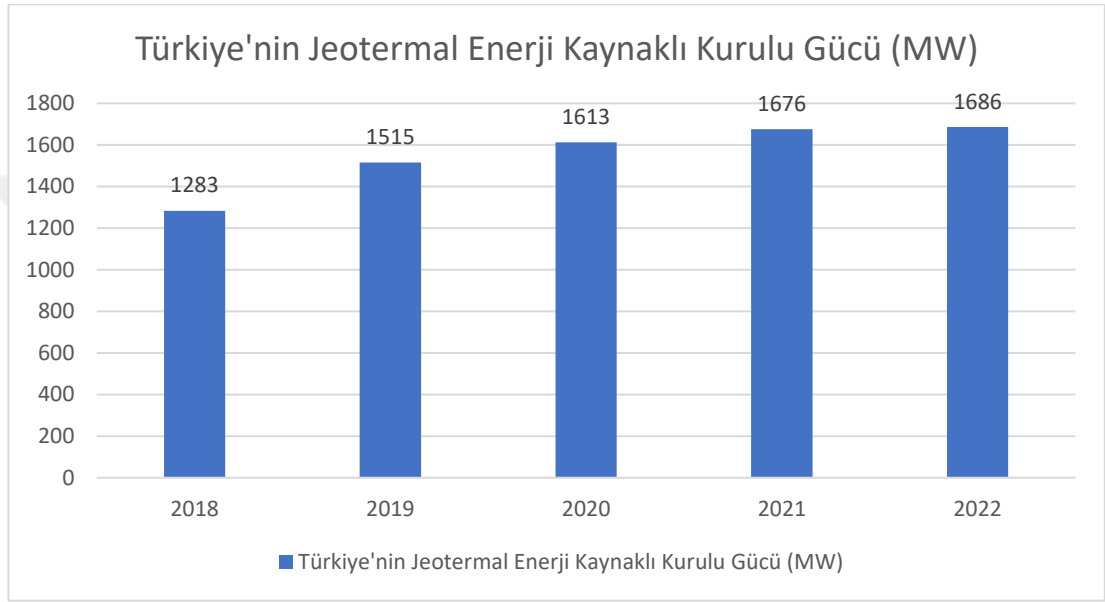
Şekil 1.23. Güneşten Sağlanan Elektrik Enerjisinin Toplam Kurulu Güce Oranı [55]

Biyokütle Enerjisi: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyelini belirlemek amacıyla biyokütle enerji potansiyel atlası (BEPA) hazırlanmıştır. BEPA verilerine göre toplanabilecek atıkların toplam enerji eşdeğeri yaklaşık olarak 3,9 MTEP/yıl değerindedir. Türkiye'nin biyokütle enerjisine dayalı kurulu gücü 2022 yılı itibari ile 2172 MW olup; toplam kurulu güç içindeki oranı %2.14'tür [49].

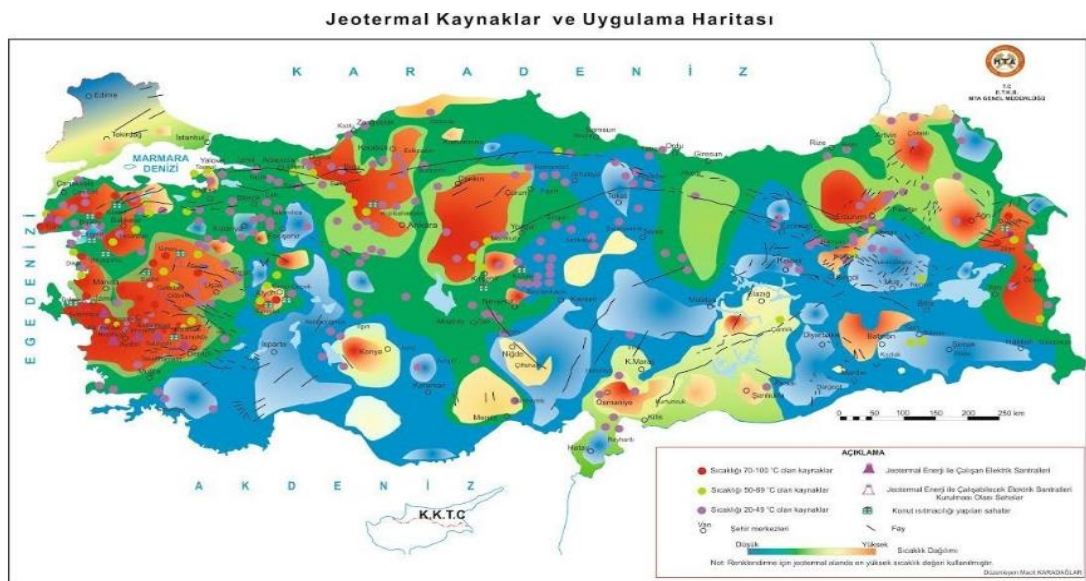


Şekil 1.24. Biyokütle Enerjisine Dayalı Kurulu Güç (MW) [49]

Jeotermal Enerji: Jeotermal enerji potansiyeli bakımından Avrupa'nın en büyük ülkesi Türkiye'dir. Kurulu güç bakımından ise dünya sıralamasında 4 sıradadır. Türkiye'nin jeotermal ısı potansiyelinin yaklaşık olarak 35500 MWt elektrik üretim potansiyeli ise 4500 MWe olduğu hesaplanmaktadır. Mevcut potansiyelin %78'i Batı Anadolu Bölgesinde, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesinde, %5'i Doğu Anadolu Bölgesindedir. 2022 yılı itibari ile Türkiye'nin jeotermal enerji kurulu gücü 1686 MW olup; toplam kurulu güç içindeki oranı %1,66'dır [56].



Şekil 1.25. Türkiye'nin Jeotermal Enerji Kaynaklı Kurulu Gücü (MW) [56]



Şekil 1.26. Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası [56]

1.2.3. Türkiye’ de güneş enerjisi kullanımı

Güneş enerjisinden yararlanmak amacıyla geliştirilen uygulamalar çeşitlilik göstermekle birlikte ısı güneş teknolojileri ve fotovoltaik güneş teknolojileri olarak iki temel gruba ayrılır.

Isıl Güneş Teknolojileri: Güneş enerjisi insanlık var olduğundan beri ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Teknolojinin günden güne gelişmesi ile ısınma amaçlı güneş kullanımında yararlanılan araç ve gereçler de zaman içinde gelişmektedir.

Isıl güneş enerjisi teknolojileri; düşük sıcaklık uygulamaları ve yoğunlaştırıcı ısı sistemler olarak ikiye ayrılır.

Isıl güneş teknolojileri uygulamalarında; düzlemsel güneş kolektörleri, güneş havuzları, vakumlu güneş kolektörleri, güneş bacaları ve güneş mimarisi ve seralar kullanılır. En çok kullanılan uygulama düzlemsel güneş kolektörleridir. Düzlemsel güneş kolektörleri güneş enerjisini toplayarak bir akışkana (genellikle su) ısı olarak aktarır. Ulaştıkları en yüksek sıcaklık yaklaşık 70 °C dolaylarındadır. Güneş havuzları ise tuzlu suyun kaynama noktasının altındaki sıcaklıklarda güneş enerjisinin toplanıp depolamasını sağlayan sistemlerdir [57].

Güneş kolektörleri Türkiye’ de yoğun olarak Akdeniz ve Ege Bölgelerinde kullanılmaktadır. 2015 yılı verilerine göre ülkemizdeki kurulu güneş kolektörü miktarı 19.487.206 m²’dir. Yine 20105 yılı verilerine göre ısı güneş enerjisi kurulu gücü 13.637 MW_{th} değerindedir [45].

Özellikle 10MW ve üzeri elektrik enerjisi üretiminde yoğunlaştırıcı ısı sistemler kullanılır. Yoğunlaştırıcı olarak parabolik aynalar, çanaklar ya da heliostatlar kullanılır. Bir kolektör yardımı ile güneşten gelen radyasyon toplanır. Daha sonra bir alıcı vasıtası ile güneş radyasyonu yoğunlaştırılır. Alıcı vasıtası ile güneş radyasyonu ısı enerjiye dönüştürülür ve bir güç dönüşüm sistemine transfer edilir. Transfer işlemi ile bir buhar türbini vasıtası ve jeneratör ile ısı enerji elektrik enerjisine çevrilir [55].

Fotovoltaik Güneş Teknolojileri: Fotovoltaik etki ilk kez 1839 yılında Edmond Becquerel tarafından iletken bir sıvıda elektronun ılık yayması ile keşfedilmiştir. Charles Fritts selenyumu altınla kaplayarak yaklaşık %1 oranında verimliliğe sahip güneş hücresi yapmıştır. Wilhelm Ludwig Franz Hallwachs yarı iletken eklemli güneş

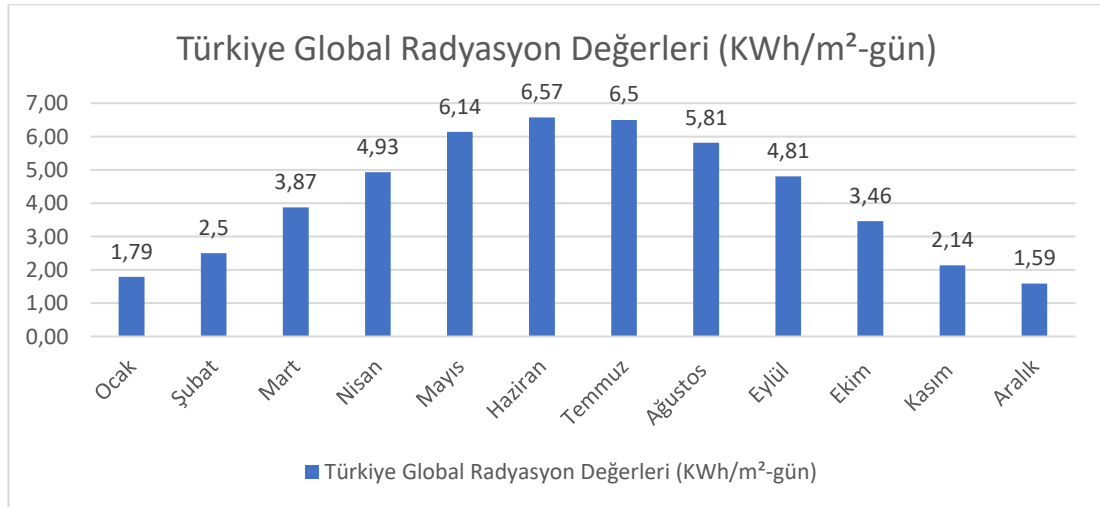
hücresi tasarlamıştır. 1954 yılında ilk silisyum p-n eklemli güneş hücresi üretilmiş ve zaman içinde geliştirilmiştir [55].

Fotovoltaik sistemlerde yaygın olarak kullanılan malzeme silisyum elementidir. Silisyum yarı iletken özellik gösteren güneş hücresi üretimi için uygun bir malzemedir.

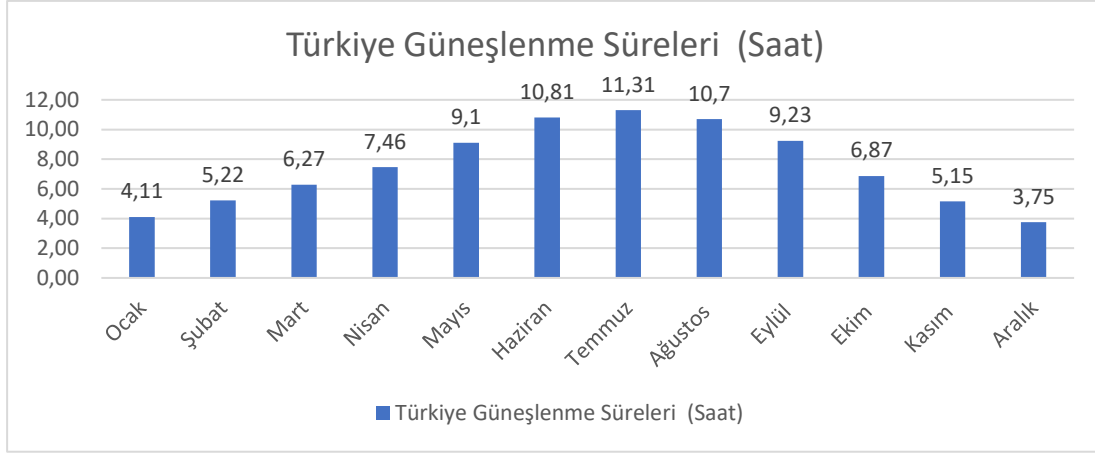
1.2.3.1. Türkiye’de güneş radyasyon değerleri

Ülkemi kuzey yarım kürede 26 – 45° doğu boylamı, 36 – 42° kuzey enleminde bulunmaktadır. Bulunduğumuz coğrafi konum itibari ile güneş kuşağında kalan Türkiye birçok ülkeye nazaran önemli avantaja sahiptir. Sahip olduğumuz avantajlara rağmen güneş enerjisi kullanımı öngörülen değerlerden çok daha az kalmaktadır [58]. GEPA’ya göre Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat, ortalama yıllık ışıınım değeri 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmaktadır [55].

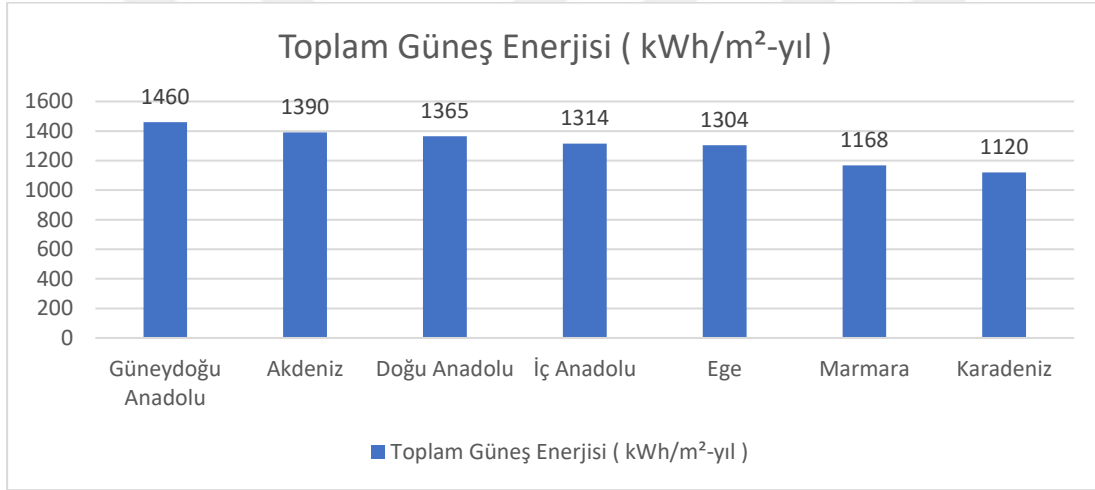
Ülkemizde yıllık güneşli gün sayısı 110 gün olarak hesaplanmaktadır. Yıllık ortalama toplam güneş ışıınının bölgelere göre dağılımı incelendiğinde; Güneydoğu Anadolu Bölgesi 1460 kWh/m²-yıl ile en büyük değere sahiptir. Akdeniz 1390 kWh/m²-yıl, Doğu Anadolu 1365 kWh/m²-yıl, İç Anadolu 1314 kWh/m²-yıl, Ege 1304 kWh/m²-yıl, Marmara 1168 kWh/m²-yıl, Karadeniz 1120 kWh/m²-yıl değere sahiptir. Bölgelere göre güneşlenme süreleri incelendiğinde Güneydoğu Anadolu 2993 Saat/Yıl, Akdeniz 2956 Saat/Yıl, Doğu Anadolu 2664 Saat/Yıl, İç Anadolu 2628 Saat/Yıl, Ege 2738 Saat/Yıl, Marmara 2409 Saat/Yıl, Karadeniz 1971 Saat/Yıl değerindedir [59].



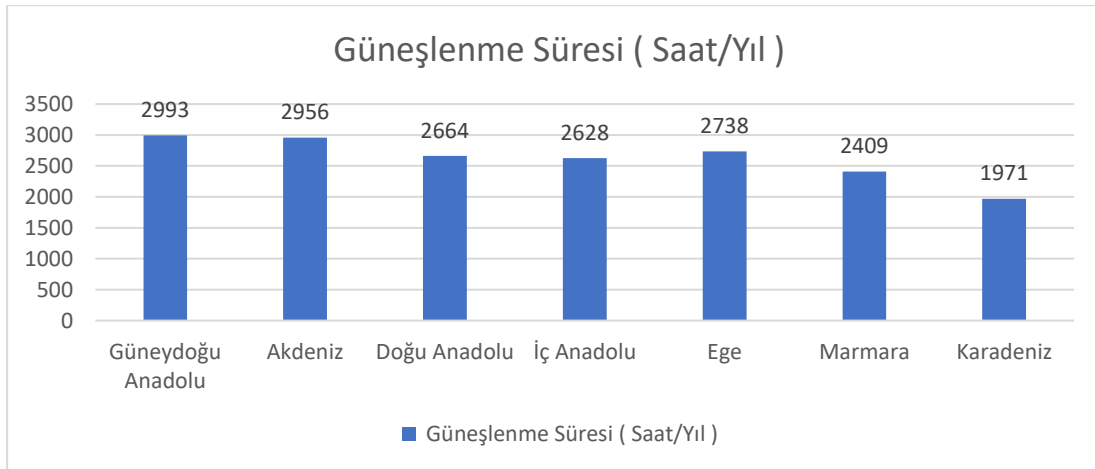
Şekil 1.27. Türkiye Global Radyasyon Değerleri [54]



Şekil 1.28. Türkiye Güneşlenme Süreleri [54]

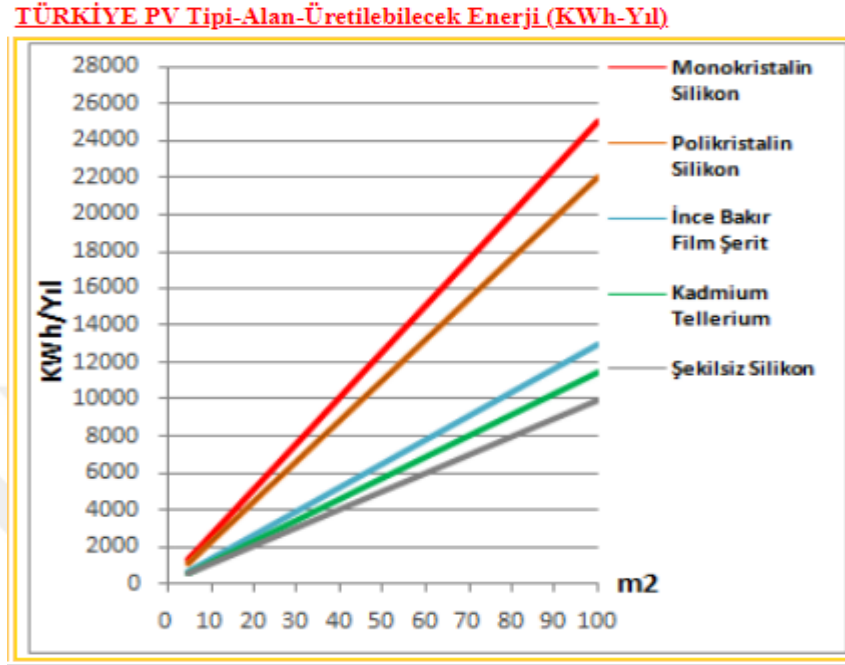


Şekil 1.29. Toplam Güneş Enerjisi [54]



Şekil 1.30. Bölgelere Göre Güneşlenme Süresi [60]

Fotovoltaik teknolojisine günden güne gelişmekte olup; fotovoltaik tipine göre m² başına üretilebilecek enerji miktarı da güneş enerjisi potansiyel atlasında gösterilmiştir.



Şekil 1.31. PV Tipi Alan- Üretilebilecek Enerji (kWh-Yıl) [54]

1.2.4. Fotovoltaik tanımı ve tarihçesi

Fotovoltaik kelimesi kökleri bakımından incelendiğinde “photo” ışık anlamına, “voltaik” ise gerilim üreten anlamına gelmektedir. Kelime anlamı olarak fotovoltaik; ışıktan elektrik üretimi anlamına gelmektedir [61].

Tarihsel olarak ele alındığında ilk olarak 1839 yılında Fransız bilim adamı Edmond Becquerel tarafından fotovoltaik etki prensibi keşfedilmiştir [62]. Fotovoltaik etki prensibi; iki farklı malzemenin üzerine ışık düşürüldüğünde elektrik pili gibi davranması göstermesi şeklinde tanımlanabilir. 1877 yılında W.G.Adams ve R.E.Day tarafından selenyumdan ilk güneş hücresi üretilmiştir. İlk kez 1958 yılında Vanguard I uydusunun elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla güneş hücresi kullanıldı. 1980’li yıllardan itibaren fotovoltaik hücreler binalarda kullanılmaya başlandı. 1983 yılında Almanya Pellworm Adasında 300kW’lık fotovoltaik enerji santrali kuruldu. 1985 yılında ilk çatı uygulaması gerçekleştirildi. 1989 yılında Burgdorf İsviçre’de üretilen fazla enerji şebekeye verildi. 1996 yılında renkli güneş hücreleri piyasaya sürüldü. 2002 yılına gelindiğinde kanatlar[ı tamamen fotovoltaik

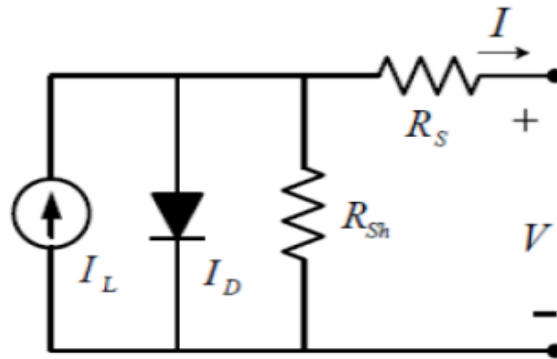
hücreler ile kaplı insansız uçak uçuruldu. Gün geçtikçe gelişen teknoloji ile birlikte fotovoltaiik hücreler mimari tasarımlarda da ön plana çıkmaya başlamıştır [61].

1.2.5. Fotovoltaiik hücrelerin yapısı ve çalışma prensibi

Fotovoltaiik hücre temel olarak yarı iletken malzemeden oluşmuş zıt kutuplara sahip iki katmandan oluşur. Hücre yapımında kullanılan yarı iletken malzemeler silisyum, kadmiyum tellür, galyum arsenit gibi maddelerdir [63]. Doğada en çok bulunan yarı iletken madde silisyumdur. Doğal olarak fotovoltaiik hücre üretiminde en çok kullanılan madde silisyumdur. Silisyum doğada saf halde bulunmadığından hücre yapımında kullanılması için saf hale getirilmesi gerekir. Saf hale getirilmesi için kullanılan yöntemler maliyetlidir. Fotovoltaiik hücre üretiminde kullanılan yarı iletken özellikli silisyum; indiyum, bor, gibi maddeler ile katkılanarak p ve n tipi yarı iletkenlere dönüştürülür. Yarı iletken malzeme tarafından fotovoltaiik hücre üzerine düşen foton soğurulur ve güneş enerjisi hücreye aktarılır. Hücre üzerine düşen foton yapısında elektron bulunduran yarı iletken malzemeden elektron koparır. Kopan elektron içeriğinde daha az elektron bulunduran farklı yüklü malzemeye doğru gider. Elektronun yapmış olduğu harekete ters yönde akım oluşur [63].

1.2.5.1. Fotovoltaiik hücrelerin eşdeğer elektrik devresi

Fotovoltaiik sistemler ile ilgili performans ve verim hesabı yapılırken kullanılan simülasyon programları hücrelerin farklı çalışma koşullarında ölçülen akım-gerilim eğrisine uyum sağlayan hücre modeli oluşturmaktadır. Günümüzde sıklıkla kullanılan modelleme yaklaşımı eşdeğer elektrik devresidir.



Şekil 1.32. Basitleştirilmiş Eşdeğer Fotovoltaiik Hücre Devresi [64]

Eşdeğer devre şemasında akım kaynağına paralel bağlanmış bir diyot ve seri bağlanmış bir direnç olarak modelleme yapılır. Güneş radyasyonu olmadığında hücre basit bir diyot gibi davranır [64].

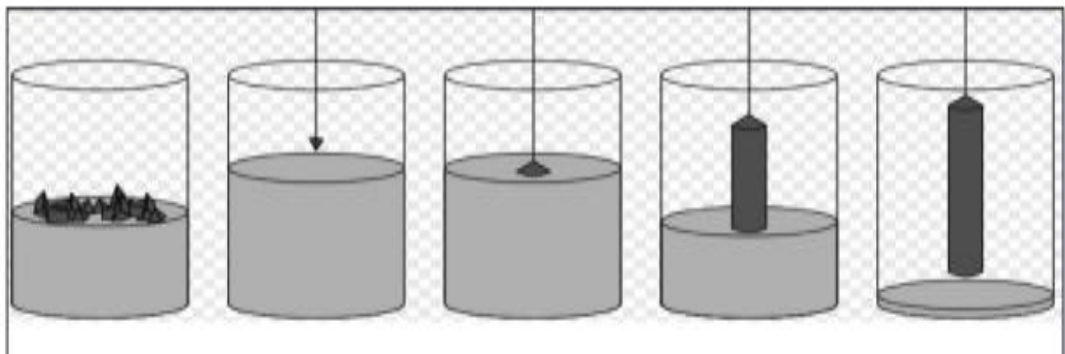
1.2.6. Fotovoltaik panel çeşitleri

Fotovoltaik piller; kristal silikon piller, ince film piller, amorf silikon piller, bakır indiyum piller diselenit piller ve diğerleri olmak üzere sınıflandırılabilir.

1.2.6.1. Kristal silikon piller

1.2.6.1.1. Monokristal silikon piller

Güneş pili üretim teknikleri içerisinde en eski ve maliyetli olan yöntemdir. En eski yöntem olmasına rağmen verimlilik oranı en yüksek olan yöntemdir. Piyasada bulunan monokristal pillerin verimlilik oranları %15 -%18 arasında değişmektedir. Verimlilikleri kullandıkları yerin dış koşullarına, yerleştirilme açılarına, hücre sıcaklığına göre değişiklik gösterir [65]. Mono kristal silikon üretiminde Czochralski Yöntemi olarak bilinen saflaştırma yöntemi kullanılır. 1915 yılında Polonyalı bilim adamı Jan Czochralski tarafından geliştirilmiştir. Doğadan alınan ağırlıklı olarak silisyum dioksit içerikli ham madde yüksek enerjili ark fırınında eritilir. Sonrasında eritilen silisyum yüksek sıcaklıkta karbon ile tepkimeye sokulur. Tepkime sonucu silisyum oksijenden arınır. Arındırılan silisyum, hidrojen klorür ile tepkimeye sokulur. Tepkime sonucu elde edilen hidrojen silisyum klorür maddesi damıtır ve daha saf hale getirilir. Saflaştırılan yüksek kimyasal buhar çökertme fırınına hidrojen silisyum klorür sokulur. Vakum pompası ile hidrojen ve klor dışarı atılır ve silisyum alttaş elde edilir.



Şekil 1.33. Czochralski Yönteminin Uygulanışı [65]

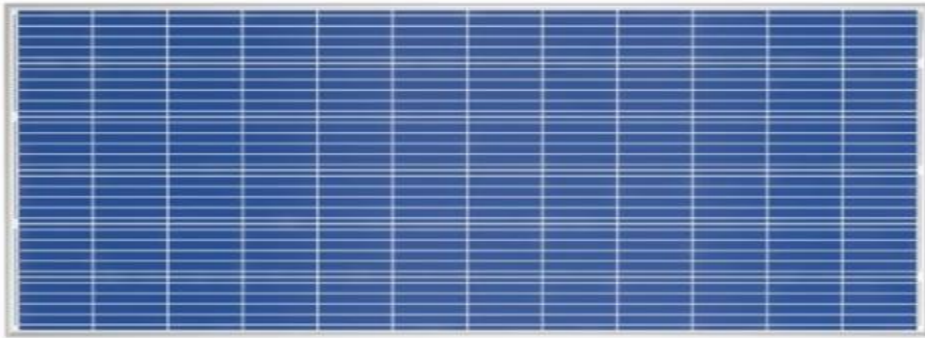
Elde edilen silisyum alttaş kazana konup yeniden eritilir. Eritilen silisyuma yukarıdan saf halde bulunan mono kristal çekirdek yaklaştırılır. Saf çekirdek erimiş silisyum ile temas ettiğinde saf halde olan silisyumlar çekirdek üzerinde birikir. Birikim arttıkça çekirdek yavaşça yukarı çekilir neredeyse kusursuz saf halde silisyum kristaller elde edilir. Yüksek enerji gerektiren bir yöntem olduğu için maliyetlidir.



Şekil 1.34. Monokristal Panel Görünümü

1.2.6.1.2. Polikristal silikon piller

Polikristal silisyum üretim yöntemleri de monokristal silisyum üretim yöntemlerine benzemektedir. Polikristal silisyum elde edilirken eriyik halde bulunan yarı iletken silisyumun kalıp halinde soğutulması metodu ile elde edilir. Monokristal silisyum üretimi gibi yüksek enerjili işlemler yapılmadığından üretim maliyetleri daha ucuz olmaktadır. Czochralski yöntemi gibi saflaştırma yöntemleri kullanılmadığından polikristal silisyumlar homojen özellikte değildir [66]. Uygulamadaki en önemli dezavantajı verimlilik oranının düşük olmasıdır. Çok kristalli yapıya sahip olduklarından yapısal ve elektriksel özellikleri farklıdır. Homojen yapıya sahip olmadıkları için laboratuvar ortamında %18 olan verimleri seri üretim ve uygulamalarda %13-%15 oranına düşmektedir [66].



Şekil 1.35. Polikristal Panel Görünümü

1.2.6.2. İnce film piller

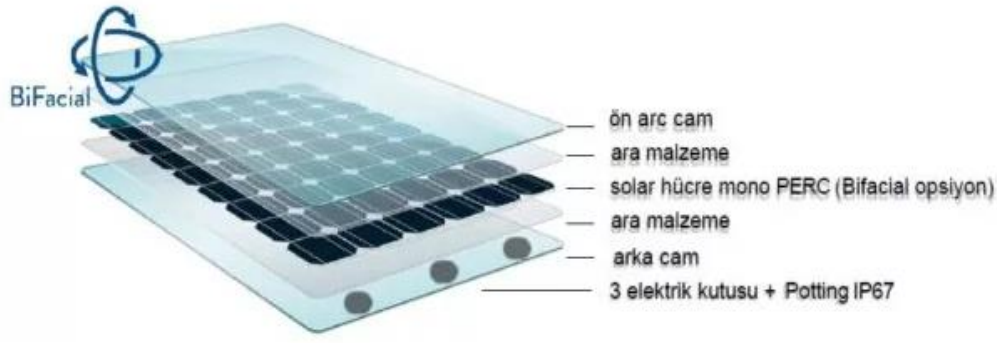
Işığın soğurma özelliği iyi olan maddeler kullanılarak ince bir yapıda üretilirler. Güneş pili üretiminde cam, plastik gibi geniş yüzeylere farklı özelliklere sahip yarı iletken malzemenin kaplanması ile üretilirler [65]. Esnek yapıda oldukları için çatı ve benzeri bükülebilir uygulamalar için geliştirilmiştir. Diğer hücrelere göre en büyük avantajları kolay kurulabilir ve taşınabilir olmasıdır. İnce film fotovoltaik hücreler ışıktan daha geniş bant aralığında faydalandığı için kapalı havalarda monokristal ve polikristal pillere nazaran daha verimlidirler. Bazı modelleri kızıl ötesi ışık altında elektrik akımı sağlayabilmektedir [67]. Verimlilik oranları %18'e varmaktadır ancak, kullanılan malzeme uzun dönemde kararlılığını koruyamaz. İnce film malzemenin en çok kullanılanları Amorf silisyum, kadmiyum tellür ve indiyum diselenoid'dir. Amorf silisyum; soğurma kat sayısı yüksektir. Verimlilik oranı laboratuvar ortamında %15'lerde olan verimliliği uygulamada çok düşmektedir. Daha çok küçük ölçekli enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılır. Bakır indiyum diselenid güneş pilleri laboratuvar ortamında %18 verimliliğe ulaşsa da uygulamada %10 seviyelerine düşmektedir. Pil ömrü yaklaşık 20 yıldır [66].



Şekil 1.36. İnce Film Güneş Paneli Görünümü

1.2.6.3. Bifacial piller

Bifacial pillerde standart güneş panellerinden farklı olarak alt yüzey ve üst yüzeyde ayrı ayrı güneş hücreleri bulunur. Çevreden yansıyan, panelin arka yüzeyine yansıyan ve yarısaydam olan ilk modülden geçen ışınlar ikinci panelde toplanır. Doğal olarak standart hücreden daha fazla enerji üretimi yapar. Isınma oranları daha düşük olduğundan verimlilik oranları yüksektir [68]. Çift yüzeyli panellerin yıllık ortalama enerji üretimi verimi tek yüzeyli panellerden yaklaşık %13 fazladır [69].



Şekil 1.37. Bifacial Güneş Paneli Görünümü [70]

1.2.7. Fotovoltaik sistem bileşenleri

1.2.7.1. Eviriciler

Fotovoltaik paneller doğru akım ile enerji üretirler. Günümüzde kullanılan aletler genellikle alternatif akım ile çalıştığından panellerde üretilen elektrik akımının dönüştürülmesi bir gerekliliktir. Eviriciler bu enerjiyi dönüştürmek için kullanılan devre elemanlarıdır. Eviriciler, girişine bağlı olan doğru akımı istenilen genlik ve frekansta çıkışına veren, bir ve üç fazlı olarak tasarlanabilen elemanlardır. Maksimum güç izleme algoritması ile güç ayarı yapar ve sistemin verimini artırır. Sahip oldukları yazılım ile uzaktan izleme ve kontrol imkanı sağlarlar [71]. Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan eviriciler dizi tip ve merkezi tip olarak sınıflandırılırlar.



Şekil 1.38. Merkezi ve Dizi Tip Evirici Görünümü

Merkezi eviriciler yüksek verimli olmakla birlikte maliyetleri düşüktür. En büyük olumsuzlukları arıza olması durumunda tüm sistemin devre dışı kalmasıdır. Dizi eviriciler daha az gruplar halinde dizayn edilirler. Daha az güç gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar. Bağlantı şekillerine göre on-grid ve off-grid olarak tasarlanırlar. On-grid yani şebeke bağlantılı eviriciler şebekenin gerilim ve frekansına göre besleme sağlar iken, of-grid yani şebeke bağlantısız eviriciler akü grupları ile yük arasında dönüşüm sağlar.



Şekil 1.39. Şebeke Bağlantısız ve Şebeke Bağlantılı İnvertör [72]

1.2.7.2. Akü

Özellikle şebekeden bağımsız olarak tasarlanan fotovoltaik sistemlerde kullanılırlar. Aküler elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürüp depolayan, ihtiyaç olduğunda elektrik enerjisine geri dönüş yapılmasını sağlayan elemanlardır. Genel olarak 14 üretilen akülerin ihtiyaca göre seri bağlanarak gerilimleri arttırılabilir. Güneş enerji sistemlerinde kullanılan akülerin ömrünün uzun, şarj-deşarj veriminin yüksek olması istenilir. Solar sistemlerde en çok kullanılan akü türleri kurşun asit ve jel akülerdir.



Şekil 1.40. Solar Akü Görünümü

1.2.7.3. Şarj kontrol cihazı

Fotovoltaik sistemlerde panellerde üretilen enerjinin istenilen şekilde aküye aktarılmasını sağlayan devre elemanlarıdır. Akünün fazla ve hızlı şarj olmasını engeller. Aküden çekilen elektrik akımının hızını sınırlayarak koruma sağlar. Akü performansının korunması ve ömrünün uzatılmasını sağlar. Fotovoltaik sistemlerde darbe genişlik modülasyonu (PWM) veya maksimum güç noktası takibi (MPPT) prensibi ile çalışan şarj kontrol cihazları kullanılır. PWM'ler akımı sabit tutarak akülerin şarj olmasını sağlarken, MPPT'ler maksimum güç takibi yaparak sistem verimliliğini artırır.

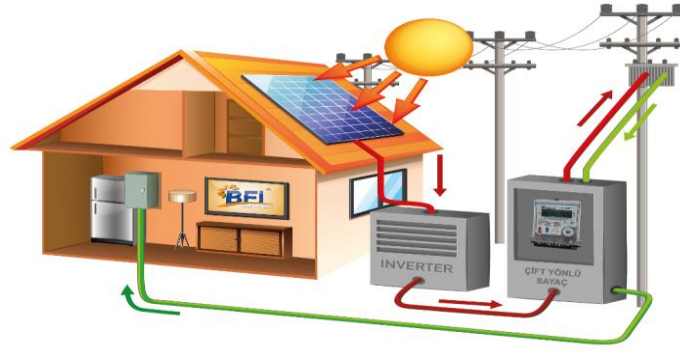


Şekil 1.41. MPPT ve PWM Şarj Kontrol Cihazı Görselleri

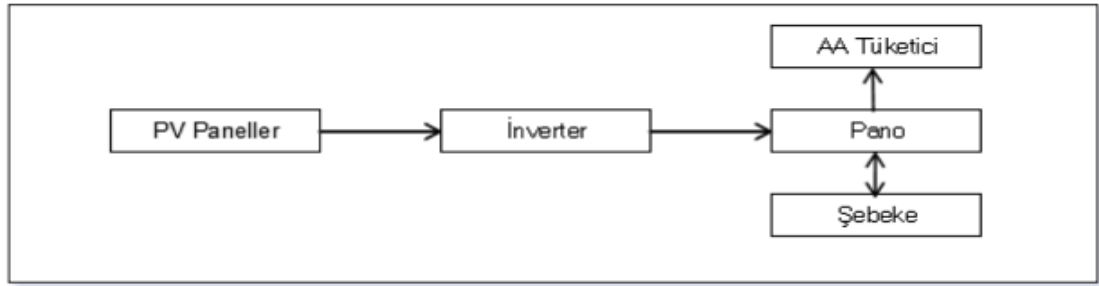
1.2.8. Bağlantı şekillerine göre fotovoltaik sistemler

1.2.8.1. Şebeke bağlantılı (on-grid) fotovoltaik sistemler

Elektrik dağıtım şebekesinin aktif olduğu ve şebeke ile elektrik enerjisinin karşılıklı olarak sağlanabildiği sistemlere on-grid sistemler denilmektedir. Çift yönlü çalıştıkları için sisteme bağlanan sayaçta çift yönlü olmalıdır. Şebeke bağlantılı oldukları için enerjinin depolanmasına gerek yoktur. Panellerden üretilen enerjinin yetersiz kaldığı durumlarda şebekeden enerji alarak ihtiyaç karşılanır. Üretimin fazla çekilen enerjinin az olduğu durumlarda şebekeye enerji verilir.



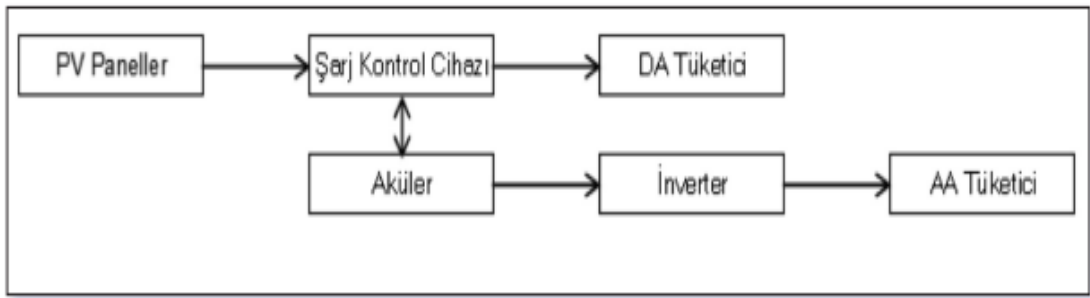
Şekil 1.42. Şebeke Bağlantılı Sistem Gösterimi [72]



Şekil 1.43. Şebeke Bağlantılı Sistemin Genel Şematik Çizimi [65]

1.2.8.2. Şebekeden bağımsız (off-grid) fotovoltaik sistemler

Elektrik dağıtım şebekesinin uzak olduğu, şebekeden bağlantı yapılmasının ekonomik olarak uygun olmadığı durumlarda şebekeden bağımsız olarak fotovoltaik sistem ile karşılandığı sistemlerdir. Enerjinin kesintisiz olarak sağlanabilmesi için sistemde akü bulundurulmaktadır. Gün içinde ihtiyaç fazlası olarak depolanan enerji, kesintisiz olarak gün boyunca kullanılabilir. Şebekeden bağımsız sistemlerin en olumsuz özelliği kesintisiz enerji sağlamak için kullanılan akü maliyetinin kurulum maliyetini yükseltmesi buna bağlı olarak amortisman süresinin uzamasıdır.



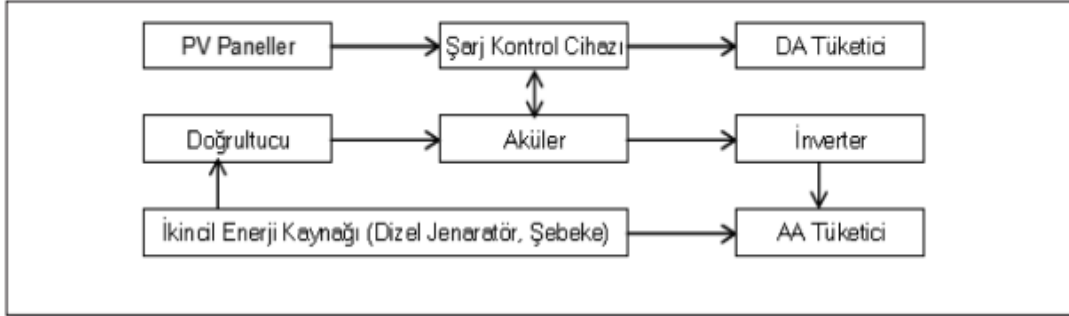
Şekil 1.44. Şebekeden Bağımsız Sistemin Genel Şematik Çizim [65]



Şekil 1.45. Şebekeden Bağımsız Sistem Gösterimi [72]

1.2.8.3. Hibrit sistemler

Bir veya birden çok elektrik üretim sisteminin birleşmesi ile oluşan sistemler hibrit sistemlerdir. Fotovoltaik panele ek olarak ikincil enerji kaynağı ya da daha sonraki kaynaklar eklenerek oluşturulur. Enerji ihtiyacı öncelikli olarak fotovoltaik hücrelerden sağlanırken enerjinin yetersiz kaldığı durumlarda jeneratör, şebeke veya rüzgar enerjisi gibi farklı kaynaklardan ihtiyaç karşılanır.



Şekil 1.46. Hibrit Sistemin Genel Şematik Çizim [67]

1.2.9. IEC61724 Standardına göre fotovoltaik sistem performans parametreleri

IEC 26 Haziran 1906 tarihinde Londra'da kurulmuş olup; 67 ülkenin ulusal komitelerinin üyesi olduğu elektrik ve elektronik ile ilgili uluslararası standartları hazırlayan ve geliştiren kar amacı gütmeyen organizasyondur [73]. IEC; 170'den fazla ülke tarafından desteklenen, dünya genelinde 20.000 uzmanı ile elektrik ve elektronik teknolojilerine yönelik olarak güvenli ve güvenilir ürünlerin geliştirilmesi amacıyla 10.000 uluslararası standart yayınlamıştır [74]. IEC 61724 standardı Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından fotovoltaik sistemlerin güvenilir olarak yapılabilmesi için geliştirilmiş kriterleri kapsamaktadır.

1.2.9.1. Işınım kayıpları

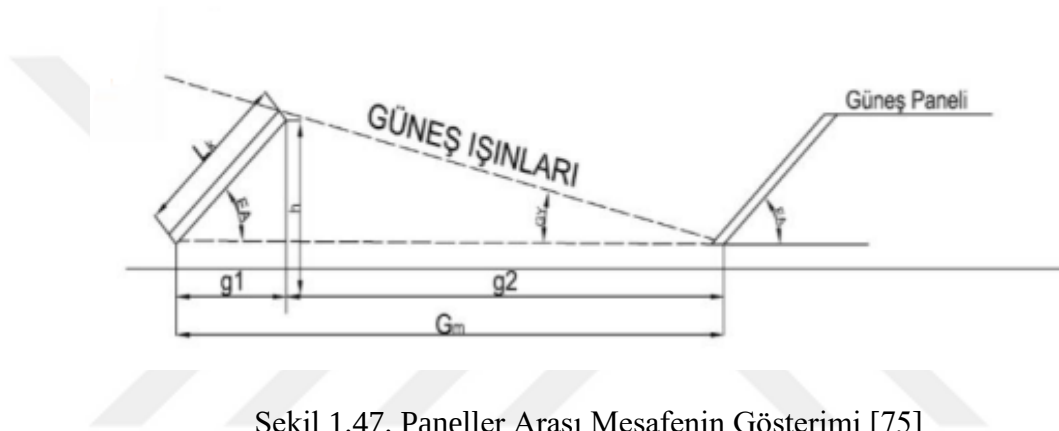
1.2.9.1.1. Düzlem açısı ve paneller arası mesafe

Sistem tasarımı yapılırken kayıpların minimum düzeyde tutulabilmesi amacıyla paneller arasındaki mesafe;

$$GM = g1 + g2 \quad (1.1)$$

$$g1 = Lk \times \cos(EA) \quad (1.2)$$

formülü ile hesaplanır.



Şekil 1.47. Paneller Arası Mesafenin Gösterimi [75]

Bu denklemde g1 1. güneş panelinin yatay düzlemdeki uzunluğunu ifade ederken g2 2. güneş panelinin en yakın uç noktası ile g1 arasındaki uzaklığı ifade eder.

1.2.9.1.2. Spektrum kayıpları

Fotovoltaik panellerin spektral tepkilerindeki seçicilikten kaynaklanan kayıplar meydana gelir. Açık gökyüzünün ideal spektrumu ile paneller arasındaki sapmalar dikkate alınarak toplam yıllık gelen güneş ışınımı güneş hücresi teknolojisine bağlı olarak bir düzeltme faktörü ile çarpılarak bir miktar azaltılır [76].

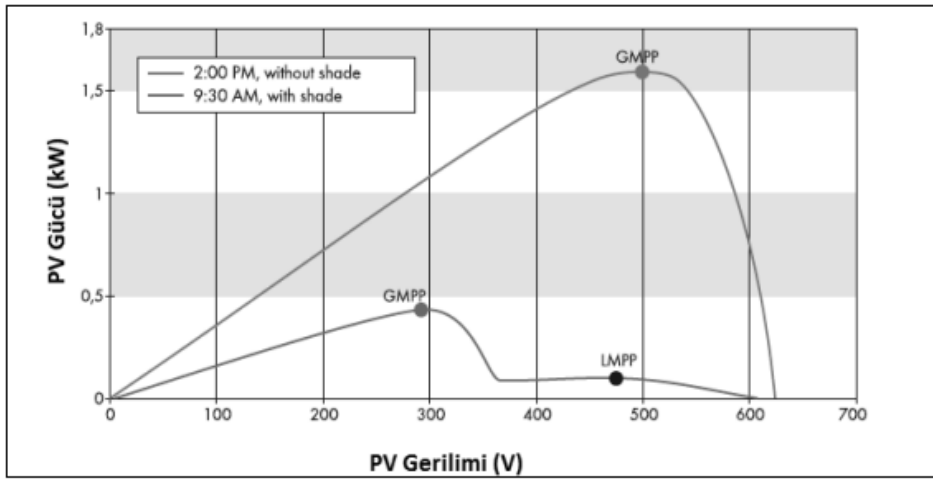
1.2.9.1.3. Yansıma kayıpları

Fotovoltaik panel tarafından soğurulmayan ve geri yansıyan ışımdan kaynaklanan kayıplara yansıma kayıpları denir. Fotovoltaik panellerde malzeme kalitesi optik yansımaya, iletimden kaynaklanan kayıplara ve emilen güneş ışınımına bağlı olarak belirlenir. Fotovoltaik paneller yansımanın azaltılması ve emilimin artırılması amacıyla katmanlar olarak üretilir. Panelin yüzeyi yansımayı en aza indirmek amacıyla temperli yapıdadır ve kaplama ile kaplanarak yansıma önlenir. Yansıyan güneş

radyasyonunun şiddeti panel ile güneşten gelen radyasyon arasındaki açıya bağlı olup; normal bir ışınımında %4 oranında yansıma olur [76].

1.2.9.1.4. Gölgeleme kayıpları

Fotovoltaik panellerde oluşan kayıpların en önemlisi gölgeleme kayıplarıdır. Fotovoltaik panelin gölgelenen ve gölgelenmeyen kısımları arasında oluşan ışınım farkları olarak tanımlanabilir. Panellerin kurulacağı bölgede bulunan büyük binalar, ağaçlar, paneller arası mesafenin doğru tespit edilememesi, doğal veya doğal olmayan yapı ve yükseltilerden kaynaklı meydana gelen gölgeleme paneller üzerine düşen ışınım miktarını doğrudan etkiler. Ufuk gölgelemesi ve modül sırası gölgelemesi olarak iki şekilde sınıflandırılır. Fotovoltaik panellerin verimini arttırmak amacıyla panellerin konumlandırılması yapılırken azami dikkatle gölgeleme kayıpları en az seviyede tutacak şekilde yapılmalıdır [76].



Şekil 1.48. Fotovoltaik Panelin Gölgelemeli ve Gölgelemesiz Güç-Gerilim Grafiği [76]

1.2.9.1.5. Tozlanma ve karlanma kayıpları

Fotovoltaik panelin yüzeyinde biriken toz, kirlenme veya kardan kaynaklı olarak emilen güneş radyasyonunun azalması ile oluşan kayıplardır. Yağışların az olduğu yerlerde %15 oranlarına ulaşan kayıplar ölçülmektedir. Panellerin yatayla eğim açısı 15° den büyük olduğunda yağın yağmurun tozu temizlemek için etkili olacağı varsayılır. Yapılan araştırmalar sonucunda tozlanmadan kaynaklanan kayıplar nadiren %4 oranının üzerine çıkar. Kar yağışının yoğun olduğu bölgelerde yer uygulamalarında %1, çatı uygulamalarında %2 karlanma kaybı varsayılır [76].

1.2.9.2. Sistem kayıpları

1.2.9.2.1. Fotovoltaik panelin teknik özelliklerindeki sapmalar

Fotovoltaik panellerin ölçülen performans değerleri ile katalog değerleri arasındaki farklılıklar olarak tanımlanabilir. Kataloglarda öngörülen üretim değerleri ile gerçekte ölçülen üretim değerleri hiçbir zaman aynı olmaz.

1.2.9.2.2. Düşük ışıınım kayıpları

Standart test koşullarından farklı güneş radyasyonunun az olduğu ışıınım değerlerinde fotovoltaik panelin ürettiği güç değerlerindeki kayıp olarak tanımlanır. Standart test koşullarına günlük kullanımda pek rastlanılmaz ve buna bağlı olarak düşük ışıınım karakteristikleri fotovoltaik panellerin performansı için önemli parametrelerden biridir. Piyasada bilinen 30 panel üreticisine ait incelenen katalogların %59'unda düşük ışıınım performansına ait veriler bulunmaktadır [76].

1.2.9.2.3. Sıcaklık kayıpları

Fotovoltaik panellerin verimleri sıcaklık arttıkça düşer dolaylı olarak panelin çıkışlarından alınan güç değerleri azalır. Fotovoltaik panelin 800 W/m^2 güneş radyasyonu, 1 m/s rüzgar ve 20°C ortam sıcaklığı koşullarındaki sıcaklığına Hücre Nominal Çalışma Sıcaklığı denir ve ürün kataloglarında gösterilir. Yılın sıcak aylarında fotovoltaik panelin verimi %35 daha az olabilir [76].

1.2.9.2.4. Uyumsuzluk kayıpları

Fotovoltaik paneller istenilen güç değerlerine göre seri ya da paralel bağlanırlar. Panellerin paralel ya da seri bağlı olduğu durumlardaki toplam güç, panellerin tek tek toplam gücünün toplamından az olmaktadır. Bu farklılık uyumsuzluk ve gölgelenme faktörü gibi nedenlerle meydana gelir ve uyumsuzluk kaybı olarak adlandırılır. Fotovoltaik panel dizilerinde panellerin konumlandırılmalarından dolayı farklı ışıınım, açı ve sıcaklık değerlerinde çalışmaları uyumsuzluk kayıplarına neden olmaktadır.

1.2.9.2.5. Kablo kayıpları

Fotovoltaik sistemde kullanılan kablolarda oluşan omik kayıplar kablo kayıpları olarak adlandırılır. Paneller arasındaki mesafelere bağlı olarak kablo seçimi doğru yapılmazsa gerilim düşümüne bağlı kayıplar sistem verimini olumsuz etkiler.

Alternatif ve doğru gerilimde kabul edilebilir gerilim düşümü %1 ile %3 arasında değer alabilir.

1.2.9.3. Evirici kayıpları

Eviricinin çevrim kayıpları, içerisinde kullanılan yarı iletken malzemeye bağlı kayıplar ve anahtarlama kayıplarının toplamı evirici kayıplarını oluşturur. Teknolojik gelişmeler ile birlikte günümüzde evirici verimleri %98 düzeylerine gelmiştir. Eviriciler %30 ile %50 arasındaki kısmi yüklerde maksimum verimde çalışırlar. Eviriciler fotovoltaik panellerin maksimum güç noktasında çalıştığı varsayımı ile çalışırlar. Üretim yapılırken maksimum güç noktası izleme yöntemi ile algoritma tasarımı yapılır.

1.2.10. Homer yazılımı

HOMER yazılımı American National Renewable Laboratory (NREL) tarafından mikro şebeke tasarımı yapmak amacıyla geliştirilmiştir. Tüm dünya çapında 190'dan fazla ülkede 250.000'den fazla tasarımcısı tarafından şebeke tasarımı için kullanılmaktadır [77]. HOMER yazılımı ile birden çok farklı kaynağı aynı sistemde tasarlayarak sistemin optimum tasarımı yapılabilmektedir. Sistem bileşenleri yazılıma girilerek yapılan optimizasyon ve simülasyon çalışmaları vasıtasıyla üretim maliyetleri, amortisman bedelleri gibi ekonomik ve mühendislik analizleri gerçekleştirilir.

Programda sistem tasarımı yapılırken kullanılan simülasyon aracı ile yıl içindeki farklı zaman aralıklarında enerji arzının sağlandığı kaynaklar ve arz edilen enerji miktarı gibi parametreler kullanılarak enerji akış süreçleri görülebilir. Birincil kaynağın dışında akü, yakıt pili, jeneratör gibi yedek enerji kaynaklarının nasıl kullanılacağı, şarj-deşarj zamanları gibi değişkenlerin belirlenmesini sağlar. Yapılacak simülasyon sonuçlarına göre tasarlanan sistemin uygulanabilir olup olmadığı tespit edilir.

Yazılımda bulunan optimizasyon ayarları ile simülasyonu yapılan konfigürasyonların kullanıcının gerekliliklerine göre en verimli olanı belirlenir ve sistemde kullanılan malzemelerin boyutlandırılması yapılır.

1.2.11. Bor elementi

Periyodik tabloda B simgesi ile gösterilen bor elementinin atom numarası 5, atom ağırlığı ise 10,81 g/mol'dür. Periyodik cetvelin 3A gurubunda yer alır. Doğada B10 ve B11 olarak kararlı izotop olarak bulunmaktadır. Yarı metal ve yarı iletken özelliklere sahiptir. Doğada hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Farklı metal ve ametal elementlerle farklı özellikler gösteren bileşikler oluşturmaktadır. Saf bor elektriksel iletkenlik özelliği taşımaktadır. Kristalize bor ise elmasa benzer ve hemen hemen elmas kadar serttir. Görünüm ve optik özellikler açısından da elmas ile benzerlikler göstermektedir [78].

Atomik Yapısı

- Atomik Çapı: 1,17Å
- Atomik Hacmi: 4,6cm³/mol
- Kristal yapısı: Rhombohedral
- Elektron Konfigürasyonu: 1s² 2s² p¹
- İyonik Çapı: 0,23Å
- Elektron Sayısı (yüksüz): 5
- Nötron Sayısı: 6
- Proton sayısı: 5
- Valans Elektronları: 2s² p¹

Kimyasal Özellikler

- Elektrokimyasal Eşdeğer: 0,1344g/amp-hr
- Elektronegativite (Pauling): 2,04
- Füzyon Isısı: 50,2 kJ/mol
- İyonizasyon potansiyeli :
 - Birinci: 8,298
 - İkinci: 25,154
 - Üçüncü: 37,93
- Valans elektron potansiyeli (-eV): 190

Fiziksel Özellikler

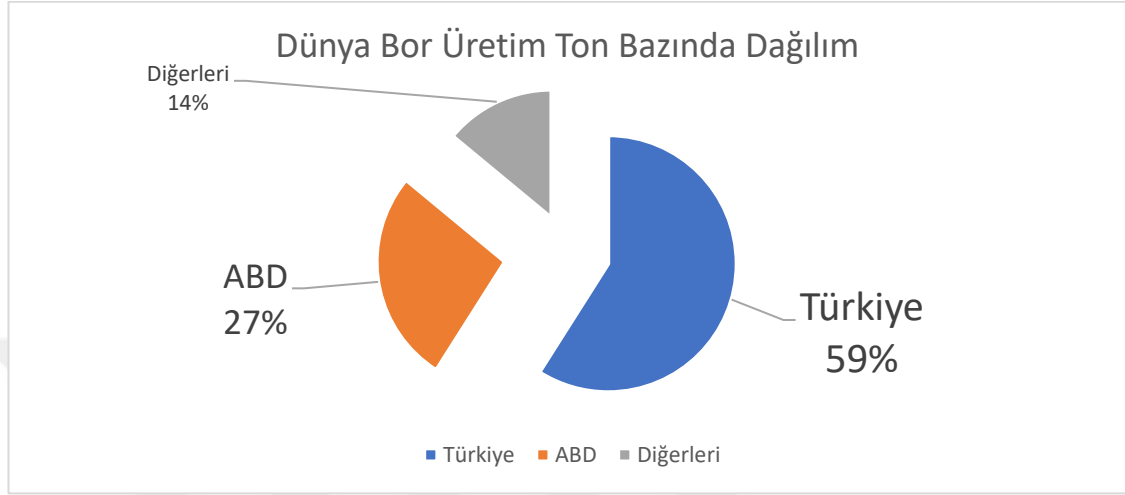
- Atomik Kütlesi: 10,811
- Kaynama Noktası: 4.275K – 4.002°C – 7.236°F;
- Termal Genleşme Katsayısı: 0,0000083cm/cm/°C (0°C)
- Kondüktivite: Elektriksel: 1,0E -12 106/cm Termal: 0,274 W/cmK
- Yoğunluk: 2,34g/cc @ 300K
- Görünüş: Sarı-Kahverengi ametal kristal.
- Elastik Modülü: Bulk: 320/GPa
- Atomizasyon Entalpisi: 573,2 kJ/mol @ 25°C
- Füzyon Entalpisi: 22,18 kJ/mol
- Buharlaştırma Entalpisi: 480 kJ/mol
- Sertlik: Mohs: 9,3 Vickers: 49000 MN m-2
- Buharlaştırma Isısı: 489,7kJ/mol
- Ergime Noktası: 2573K 2300°C 4172°F
- Molar Hacmi: 4,68 cm³/mol
- Fiziksel Durumu: (20°C & 1atm): Katı
- Spesifik Isısı: 1,02J/gK

Buhar Basıncı: 0,348Pa@2300°C

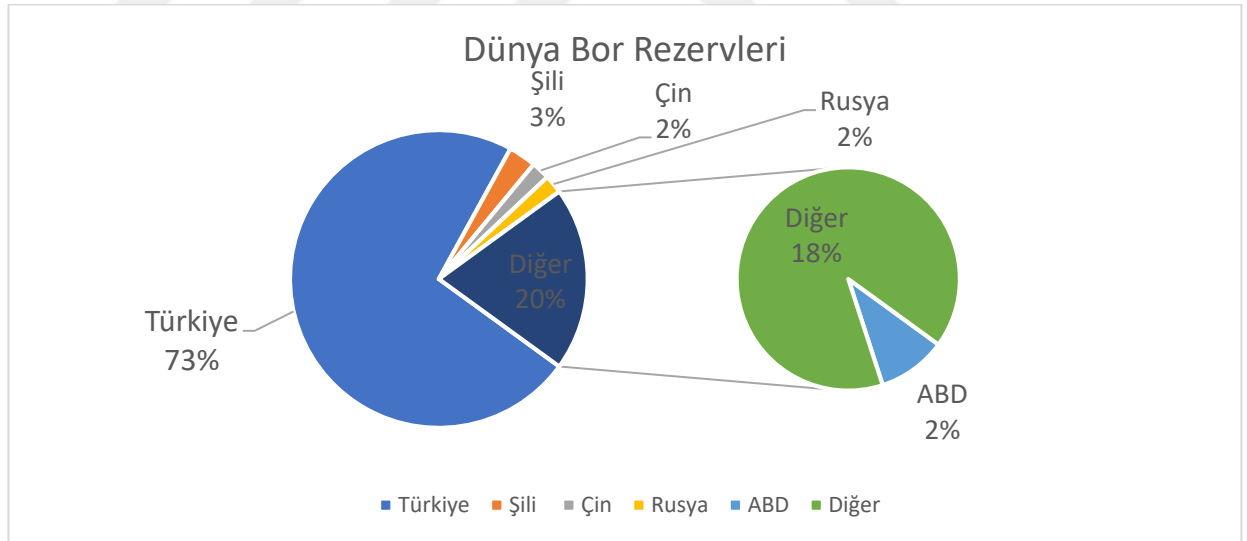
Dünya bor rezervlerinin %73'ü Türkiye'dedir. Ülkemiz rafine ve tüvenan bor üretiminde dünya piyasasında ilk sıradadır. Günümüzde dünya bor üretiminin yıllık kapasitesi 5,7 milyon ton olarak hesaplanmaktadır. Bor üretiminde Türkiye'yi ABD, Rusya, Şili, Çin, Peru, Arjantin, Bolivya ve Arjantin takip etmektedir [79].

Yapılarında değişik oranda bor oksit (B₂O₃) içeren bor minerallerinin ticari değere sahip olanları Tinkal, Kolemanit, Üleksit, Probertit, Borasit, Pandemit, Hidroborasit ve Kernit'tir. Türkiye' de Eskişehir Kırka Bor yataklarında bulunan tinkal %35,5 bor oksit içeriği %20'lik rezervi ile dünya tinkal rezervleri arasında en büyük paya sahiptir. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında yer alan Kolemanit, cam ve

seramik sektöründe dahil olduğu malzemenin kullanım ömrünü uzatarak malzemenin dayanıklılığını maksimum seviyeye çıkarır. Üleksit, ısı ve ses yalıtımında, cam, seramik ve gübre endüstrisinde borik asit ve boraks üretiminde önemli bir rol oynar [78].



Şekil 1.49. Dünya Bor Üretim Ton Bazında Dağılım [79]



Şekil 1.50. Dünya Bor Rezervleri [79]

Bor tüketiminin yaklaşık olarak %50'si cam sektöründe, %17'si tarım sektöründe, %15'i Seramik sektöründe, %2'si deterjan ve temizlik sektöründe kullanılmakta olup; %16 muhtelif sektörlerde kullanılmaktadır [79].

2022 yılında Türkiye Cumhuriyeti tarafından 2.4 milyon ton civarında bor ihracatı yapılmış ve yaklaşık 1,18 milyar \$ gelir elde edilmiştir. Bor ihracatı yaptığımız ülkeler arasında Çin, ABD, Rusya ve Hindistan yer almaktadır [79].

Bor elementi farklı sanayi dallarında çeşitli amaçlarla kullanılmakta olup bazı kullanım amaçları aşağıda verilmektedir.

- Savunma endüstrisi (Zırhlı ve seramik plakalar, silah namluları vb.)
- Cam endüstrisi (Laboratuvar camları, Uçak camları, Optik Lifler vb.)
- Elektronik ve bilgisayar endüstrisi (Mikrodalga tüpler, sensörler, süper iletkenler, akım levhaları, bataryalar, kapasitörler, piller, gecikmeli sigortalar vb.)
- Enerji endüstrisi (Gaz türbinleri, yüksek ısı transistörleri, ısı enerjisi depolayıcılar vb.)
- Görüş sistemleri endüstrisi (Kamera ve mercek camları, dürbünler vb.)
- İlaç ve kozmetik endüstrisi (Dezenfekte ediciler, antiseptikler vb.)
- İletişim araçları endüstrisi (Cep telefonları, modemler vb.)
- İnşaat endüstrisi (Çimentoya mukavemet artırıcı ve izolasyon amaçlı)
- Kağıt endüstrisi (Geri kazanılan kağıtların mürekkeplerinden arındırılması, kağıt hamurunun beyazlatılması vb.)
- Kimya endüstrisi (Katalistler, tekstil boya, sabun, toz deterjan, mumyalama vb.)
- Koruyucu malzeme endüstrisi (Boya ve vernik kurutucular, küf ve mantar önleyiciler vb.)
- Makine endüstrisi (Manyetik cihazlar, zımpara, titreşim söndürücü malzemeler vb.)
- Metalurjik ürün endüstrisi (Kaplama elemanları, paslanmaz ve alaşımlı çelik, kaynak elektrotları vb.)
- Otomobil endüstrisi (Hava yastığı şişirme mekanizmaları, bor hidrür yakıtları vb.)

- Seramik endüstrisi (Emaye, fayans, porselen boyaları vb.)
- Spor malzemeleri endüstrisi (Kayak aksamaları, tenis raketleri balık oltaları vb.)
- Tarım endüstrisi (Sentetik gübreler, biyolojik gelişim ve kontrol kimyasalları vb.)
- Tekstil endüstrisi (Tekstil boyaları, yanmayı geciktirici ve önleyici kumaşlar vb.)
- Tıp endüstrisi (Yapay organlar, antibiyotikler, menopoz tedavisinde vb.)
- Uzay ve havacılık endüstrisi (Roket yakıtı, uydular, radar dalgası soğurucular vb.)
- Nükleer endüstri (Nükleer atık depolama, reaktör aksamaları vb.)

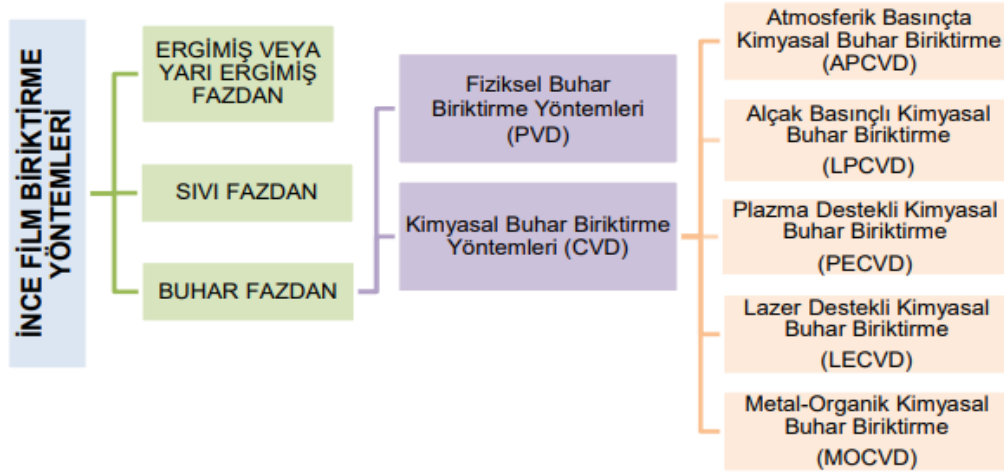
1.2.12. Borlama

Borlama termokimyasal işlem yoluyla malzemenin yüzeyinin bor atomları ile zenginleştirilmesi işlemine verilen addır. Genellikle 700-1500°C sıcaklık aralığında 1-12 saat sürelerde çeşitli kontrollü ortamlarda gerçekleştirilmektedir [80]. Bu işlem yüzeyi sertleştirilmiş, temperlenmiş çeliklere, takım çeliklere, paslanmaz çeliklere, dökme çeliklere, nikel, kobalt, titanyum, seramik gibi alaşımlara uygulanabilmektedir.

- Katı borlama,
- Sıvı borlama,
- Pasta borlama,
- Gaz borlama,
- Plazma borlama gibi borlama yöntemleri mevcuttur.

Borlama işlemi sonucu elde edilen borür tabakası çok yüksek sertlik ve ergime sıcaklığına sahip olmasıdır. Borür tabakaların yüksek yüzey sertliğine ve düşük sürtünme katsayısına sahip olması, yüzey yorulması ve aşınmayı önlemede çok önemli katkı sağlar. Bu işlem sayesinde malzemelerin seyreltik asitler karşısındaki korozyon ve erozyon dirençleri atmış olur. Borlanan metallerin sıcak metal korozyonuna karşı direnci ve ayrıca yüksek sıcaklıktaki oksidasyon direnci yüksek olur. Metaller dışında bor uygulamaları yapılan bileşiklerin en yaygın kullanım şekli alev geciktiriciler

olarak kullanımıdır. Bor uygulandığı malzemeye güç tutuşurluk özelliği kazandırmaktadır. Yanma işleminin başlama sıcaklığı ötelenerek çok yüksek değerlere ulaşması sağlanır, böylelikle can, mal ve çevre güvenliği sağlanmış olur [81].

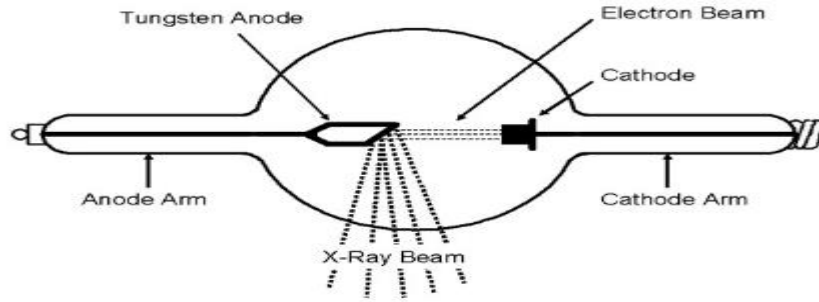


Şekil 1.51. İnce Film Biriktirme Yöntemleri [82]

2. BOR KATKISININ NANOKRİSTAL InP FİMLERİNİN ELEKTRİKSEL VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

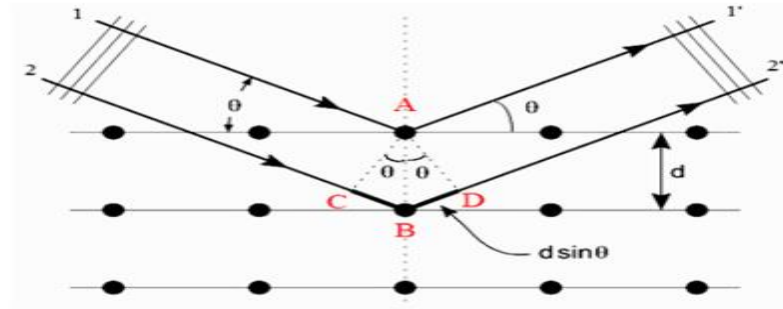
2.1. X-ışını Kırınım Tekniği

“X-ray diffraction” (XRD) X-ışını Kırınım tekniği katı malzemelerin kristal yapılarının durumunu incelemek için kullanılır. XRD sonucunda elde edilen desenler bir malzemenin karakteristiği ve kristal yapısı hakkında bilgi verir [83].



Şekil 2.1. X-ışını elde etmek için kullanılan X-ışını tüpü

Şekilde gösterilen “sıcak katot” X-ışını tüpleri, X-ışınlarını elde etmek için kullanılır. X ışınları, katottan çıkan ve hızla hareket eden elektron akımının anot materyalinin atomları ile etkileşmesi sonucunda oluşur. Polikristal malzemelerin incelenmesinde genel olarak kullanılan X-ışınımı kırınımı yöntemi toz yöntemidir. X-ışını katı malzemenin üzerine düştüğünde kırılır. Böylece kırınım ışığının yoğunluğuna göre kırınım açısının (2θ) değişimini veren bir XRD deseni oluşur. X-ışını, şekilde gösterildiği gibi bir kristal kafes düzlemine düşürüldüğünde, kristaldeki atomların her biri Huygens prensibinin gerektirdiği gibi üzerlerindeki dalga hareketi için yeni bir dalga merkezi görevi görür [84].



Şekil 2.2. X-ışınlarının kristal kırınımı [85]

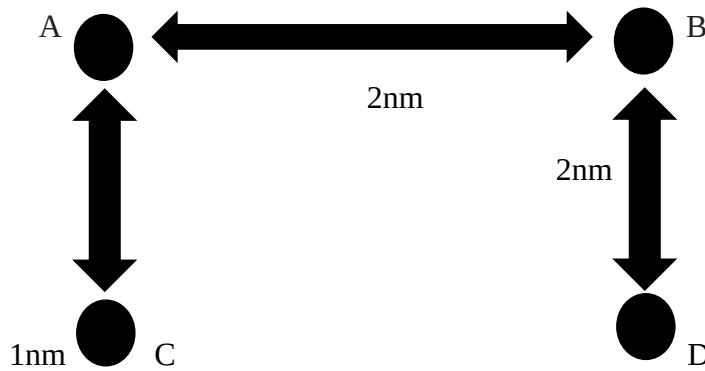
Şekilde gösterildiği gibi kırılma, kristaldeki atomların oluşturduğu farklı düzlem katmanlarından yansıyan dalgaların girişiminden kaynaklanır. X-ışınları kristal yapı üzerine düşürüldüğünde ışınlar katı yüzeyden geliş açılarına göre yansımaya uğrarlar. Işınlar kristaldeki düzlemler sebebi ile saçılırlar. Bu saçılıma kırınım denir. X ışınlarından dolayı oluşan bu kırınımın Bragg Kanunu ile açıklanır.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (2.1)$$

Bu formülde d , bir kristaldeki iki yansıtıcı düzlem arasındaki mesafe, θ geliş açısı, λ x-ışınlarının dalga boyu, n bir tam sayıdır. Bu denkleme Bragg Yasası adı verilmektedir [80]. ASTM (Amerikan Test Merkezleri Derneği) kartları kullanarak yarı iletken malzemedeki bileşen miktarına ilişkin bilgiler de elde edilebilmektedir. Spektrumdaki piklerin yoğunluğuna Full Width Half Maximum (FWHM)'ye arka plan yoğunluğuna bakılarak malzemenin kristalleşmesine ilişkin bilgi elde edilebilir. İyi düzeyde kristalizasyona sahip malzemenin XRD spektrumu minimum yoğunluklu bir zemin üzerinde yüksek yoğunluklu piklere ve dar pik genişliklerine sahiptir [86]. Birçok malzeme tercihli yönelim sergileyebilir. Buna göre malzemenin analizi yapılabilir.

2.2. Elektriksel Ölçümler

Bu çalışmada; Van Der Pauw metodu film örneklerinin öz direncini ve çoğunluk taşıyıcıları olan elektronların Hall (mobiliti) hareketliliğini karanlıkta ve oda sıcaklığında değerlendirmek için kullanılmıştır [87]. Bu yüzden laboratuvar da film örneklerinin üstüne buharlaştırma yöntemiyle $0,25 \text{ mm}^2$ alanlı dairesel indiyum elektrotlar şeklinde dört ohmik kontak A, B, C ve D hazırlanmıştır.



Şekil 2.3. Filmlerde oluşturulan ohmik kontaklar

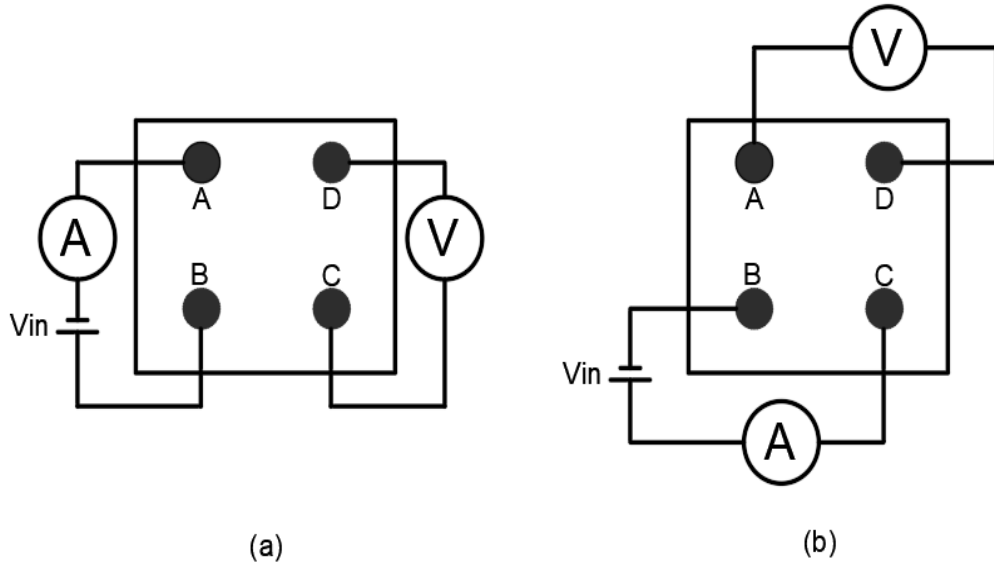
2.2.1. Özdirenç ölçümü

İletken direnci hesaplanırken;

$$R = \rho \quad (2.2)$$

denklemini kullanılır. Bu denkleme göre iletken boyunca akım yoğunluğunun sabit olduğu kabulü yapılmıştır. İletkenin sabit alana sahip olmadığı durumlarda yukarıdaki direnç hesabı geçerliliğini kaybeder. Genel olarak özdirenç iletkenin hacmi üzerindeki özdirençlerin ağırlıklı ortalaması olarak hesaplanır ve akım yoğunluğunun karesidir.

Direnç ölçümleri iki adımda gerçekleştirilir. Öncelikle $R_{AB\ DC}$ 'yi belirlemek için Şekil (a) da gösterilen deneysel kurulum kullanılır. A ve B kontakları boyunca bir giriş potansiyeli (V_{in}) uygulanır. Ampermetre aracılığıyla I_{AB} akımı ölçülür. C ve D kontakları arasında bir V_{CD} potansiyeli oluşur. Bu potansiyel voltmeterle ölçülür. $R_{AB\ DC}$ direnci V_{CD} 'nin I_{AB} 'ye oranından elde edilir. $R_{BC\ DA}$ direncini belirlemek için B ve C kontaklarına giriş potansiyeli uygulanır. Daha sonra B ve C kontakları boyunca akan I_{BC} akımı ve D, A kontakları arasında ortaya çıkan potansiyel V_{DA} ölçülür.



Şekil 2.4. Özdirenç ölçümleri için kurulum [88].

$R_{BC\ DA}$ direnci V_{DA} 'nın I_{BC} ' bölünmesi ile bulunur. Bu ölçümler beş farklı giriş potansiyelinde 5 kez tekrarlanarak $R_{AB\ DC}$ ve $R_{AB\ DA}$ 'nın ortalama değerleri elde edilir. Numunelerin özdirenci ρ , bu dirençlerin ortalama değerleri aşağıdaki ifade de kullanılarak hesaplanır.

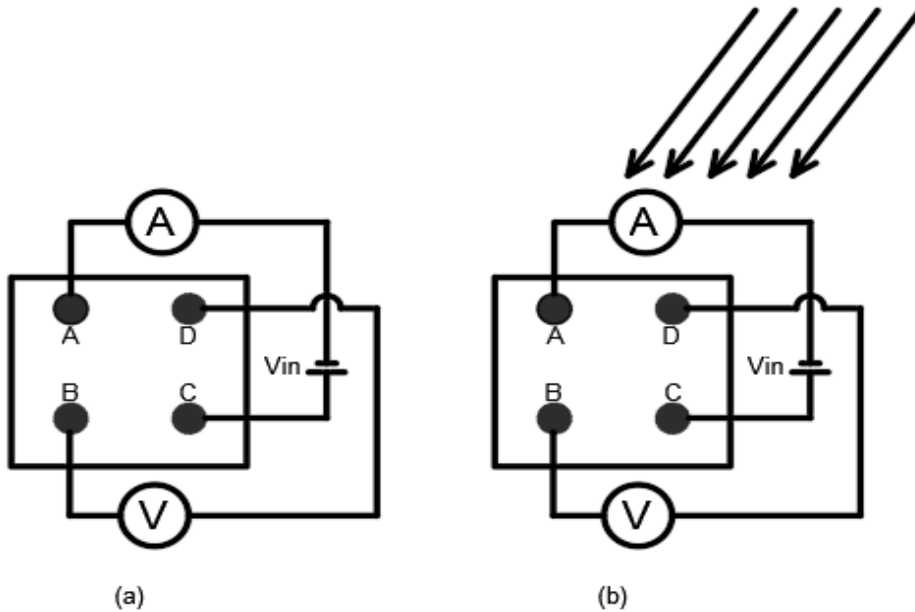
$$\rho = \frac{d}{\ln 2} (R_{AB,CD} + R_{BC,DA}) f\left(\frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}}\right) \quad (2.3)$$

Burada d numune kalınlığıdır, f form faktörü fonksiyonudur. F değeri aşağıdaki ifadeden elde edilir.

$$f = 1 - \left[\frac{R_{AB,CD} - R_{BC,DA}}{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}} \right]^2 \frac{\ln 2}{2} - \left[\frac{R_{AB,CD} - R_{BC,DA}}{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}} \right]^4 \left[\frac{(\ln 2)^2}{4} - \frac{(\ln 2)^3}{12} \right] \quad (2.4)$$

2.2.2. Hall mobilite ölçümü

Çoğunluk taşıyıcılarının (elektronların) Hall hareketliliğini (mobilité) belirlemek için yapılacak deney iki adımda gerçekleştirilir. Öncelikle numunenin $R_{AC,DB}$ direnci, aşağıdaki şekilde gösterilen deney düzeneği kullanılarak ölçülür.



Şekil 2.5. Hall mobilite ölçümü için kullanılan düzenek [88]

İkinci aşamada örnek film 8,75mT büyüklüğünde ve film örneğinin yüzeyine dik bir manyetik alan içine yerleştirilen filmin, $R_{AC,DB}$ direncini bulmak için aynı ölçümler yapılır. Taşıyıcıların Hall hareketliliği iki farklı ölçümden elde edilen ortalama $R_{AC,DB}$ değerlerinin farkını gösteren ortalama direnç farkı $\Delta R_{AC,DB}$ ve önceki bölümde bulunan öz direnç değeri ρ aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanır.

$$\mu_H = \frac{d}{B} \frac{\Delta R_{AC,DB}}{\rho} \quad (2.5)$$

Bu ifadede B, malzemeye uygulanan manyetik alan büyüklüğü, d numune kalınlığıdır.

2.2.3. Optik ölçümler

Yarıiletkenin yasak enerji aralığı hesaplanması soğurma ölçümleri yapılarak elde edilir. Bunun için, ince film örneği ve kaplanmamış alt taban spektrometrenin çift ışığının önüne konulur. Böylece alt taban camından kaynaklı soğurma etkisi ortadan kaldırılmış olur. Böylece, farklı dalga boylarına karşılık gelen soğurma katsayısı α , değerleri elde edilir ve bu değerler kullanılarak aşağıdaki denklemde yerine konularak hesaplanır.

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (2.6)$$

Bu hesaplamada, d numune kalınlığıdır.

2.3. Deneysel Çalışmalar

2.3.1. Nanokristal InP:B filmlerinin üretim yöntemi

Kimyasal püskürtme “sprey piroliz” yöntemi kimyasal buhar biriktirme yönteminin bir türüdür ve çözelti püskürtme yöntemi olarakta bilinir. Yarı iletken ince ve kalın film büyütmede kullanılan kolay ve ucuz olan bir yöntemdir. Sprey piroliz yönteminde ısıtılmış bir alt tabaka üzerine çözelti atomize etmek için hava kullanılarak püskürtülmüştür. Bu yöntemde filmin kalitesinin ve özelliklerini etkileyen durumlar vardır. Bu durumlar;

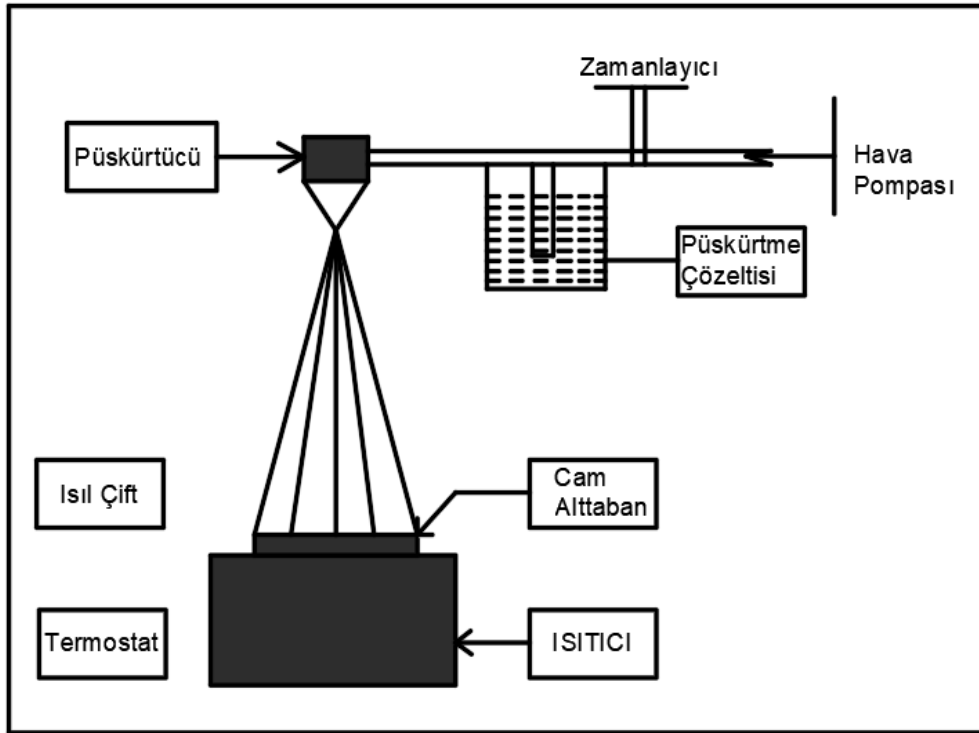
- Alt tabakanın özellikleri
- Alt tabakanın sıcaklığı
- Püskürtme başlığı
- Çözeltinin damlacık boyutunun tek düzeligi
- Püskürtme çözeltisinin akış hızı
- Püskürtme başlığının alt tabaka yüzeyine olan mesafesi ve yeri

Alt tabakanın sıcaklığını ve püskürtme aralığını kontrol eden termostat sistemi ve kontrol paneli bulunmaktadır. Çözeltinin kimyasal bileşimini seçerken istenen film malzemesini verecek şekilde termal olarak etkinleştirilen bir reaksiyonu sağlayacak

şekilde seçilmelidir. Ek olarak taşıyıcı sıvıda bulunan ve alt taban üzerine katı halde oluşacak olan film bileşenleri dışındaki tüm bileşenlerin alt tabaka sıcaklığında uçucu olması gerekir. Püskürtme başlığı sıvı damlacıkları oluşturmayacağı bir açıyla yerleştirilmeli çünkü, oluşabilecek damlalar filmin büyümesine zarar verebilir. Püskürtme başlığı ısıtıcı üzerindeki cam lamellerden 30 cm mesafeye yerleştirilerek filmler büyütülmüştür.

Çalışmamızda aşağıda gösterilen Kimyasal Püskürtme Sistemi kullanılarak bor katkılı ve katkisız nanokristal InP filmleri büyütülmüştür.

Isıtıcı: Filmin büyümesi için çok önemli olan altlık sıcaklığının kontrol edildiği bileşendir. Kontrol panelinden ısıtıcının sıcaklığını kontrol ettik. Isıtıcının sıcaklığı önceden belirlenmiş sıcaklığa sahip bir termostat tarafından kontrol edilir. Ayrıca bu termostat ± 5 °C hassasiyete sahiptir. Isıtıcının gücü 2500 watt olup, 220 V 50 Hz ile çalışmaktadır.



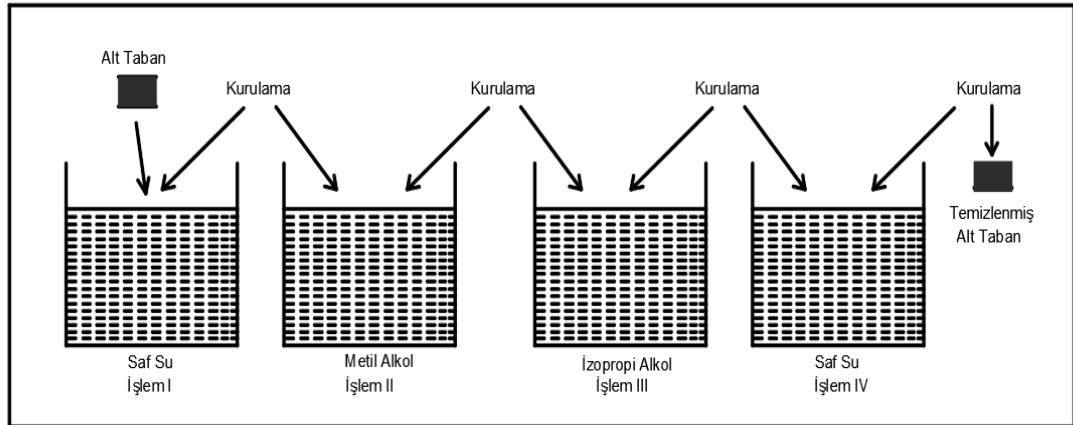
Şekil 2.6. Kimyasal püskürtme yönteminin şematik gösterimi [88]

Hava Pompası: Hazırlanan solüsyonu atomize eder ve ısıtılmış alt tabaka üzerine hava pompalayarak püskürtür. Hava pompasının zaman aralığını kontrol etmek için kontrol panelini kullandık.

Püslürtme Başlığı: Pompalanan hava yardımıyla atomize edilir ve püskürtme başlığı aracılığıyla ısıtılan altlık üzerine çözelti püskürtülür.

2.3.2. Alt tabakaların hazırlanması

Kristal filmlerin üretiminde taban olarak amorf malzemelerin kullanılması uygundur. Bu nedenle cam (alt taban) lameller kullanılmıştır. Şekilde gösterildiği gibi cam lameller üzerine yarı iletken filmin kristalleşmesinin düzgün olması için cam lamellerin yüzey düzgünlüğüne ve temizliğine dikkat edilmiş ve bu yüzden alt taban olarak kullanılan cam lameller ısıtıcıya yerleştirilmeden ve püskürtme işlemine başlamadan önce ön temizlemeye tabi tutulmuştur. Öncelikle üzerine yapışmış olabilecek toz kalıntılarını gidermek için damıtılmış su ile iyice temizlenip kurutulur. İkinci aşamada sudan çıkarılan camlar metil alkolde temizlenir. Alt taban olarak kullanılan cam lameller üzerinde birikmiş olabilecek yağlı maddelerin bertaraf edilebilmesi için metil alkole konulur. Tabanları kuruttuktan sonra bir kez temizleyip izopropil alkolle kurutulur. Bunun yapılmasının amacı her türlü tozu ve küçük parçacıkları camdan uzaklaştırmaktır. Son adım olarak tekrar saf su ile temizleyip tekrar kurutulur. Tüm süreç boyunca cam kısımlara direkt temas etmemesi adına cımbız kullanılmıştır. Tüm bu temizlik işlemlerinin sonunda cam lameller alt taban olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.7. Cam alt tabanların temizlenme işlemi [88]

2.3.3. Çözelti hazırlama

Çalışmamızda nanokristal InP film oluşturmak için bor katkılı ve katkısız farklı konsantrasyonlarda iki tip çözelti hazırlanmıştır. Yapılan her ölçümde kimyasalların

kütlesinin ölçerken yüksek hassasiyetli elektronik teraziler kullanılmıştır. Yapılan tüm numunelerde kimyasallar 100 ml saf su ile karıştırılmıştır. Suyu dökülen kimyasalların karşılaştırılması için manyetik karıştırıcı kullanılmıştır.

2.3.4. Bor katkılı ve katkısız InP filmlerin geliştirilmesi

Bu çalışmada bor katkılı ve katkısız nanokristal InP filmleri kimyasal püskürtme yöntemi ile püskürtme çözeltisi kullanılarak büyütülmüştür. Püskürtme çözeltisi 0,5M indiyum klorür (InCl_3) ve 0,5M Na_2HPO_4 tuzları alınarak ve daha sonra her ikisi 100ml saf su içinde karıştırılmak süratiyle elde edilir. Daha sonra bor katkılı InP filmleri için 0.2, 0.3, 0.6 ve 0.9 M miktarlarında H_3BO_3 (borik asit) eklenir. Böylece bor katkılı ve katkısız InP filmlerinin oluşturulması için gerekli olan püskürtme çözeltisi hazırlanmış olur. Deneylerimiz 500 °C alt taban sıcaklığında yapılmıştır. Atomizer olarak hava kullanılmış ve filmlerin büyütülmesi sırasında altlık taban sıcaklığı ve taşıyıcı akış hızı sabit tutulmuştur.

2.4. Bulgular ve Tartışma

2.4.1. Bor katkılı ve katkısız nanokristal InP filmlerin yapısal özellikleri

X-ışını kırınımı (XRD) tekniği malzemenin kristal yapısını incelemek için kullanılan tekniktir. Toz yöntemi polikristal yapıya sahip malzemeleri incelemek için kullanılır. Bu yöntemde monokromatik bir X-ışını, kristal yapı içeren kristal toz veya ince filmlere gönderilir. Malzeme üzerine gönderilen X-ışınları Bragg yasasına göre ($n\lambda=2d\sin\theta$) belirli açılarda kırılır. Böylece saçılan ışının şiddeti 2θ kırılma açısına göre değiştirilerek kırınım deseni elde edilir [89].

Bilinmeyen bir alaşımın kırınım modeli ASTM (Amerikan Test Malzemeleri Derneği) kartları kullanılarak belirlenir. Malzemenin kristalleşme seviyesi, kırınım desenlerindeki tepe noktasının yoğunluğuna ve bu tepe noktasının genişliğine bakılarak belirlenir. Kristalizasyonun iyi olabilmesi için pik şiddetinin keskin, yüksek ve genişliğinin dar olması gerekmektedir. Aksi takdirde kristalleşme kötü olacaktır [90].

Katı maddeler çok küçük tanelerden oluşur. Tanenin malzeme içindeki atomik dizilişi aynıdır ancak atomların yönelimi değişebilir. Bu durum malzemenin tane boyutu

büyükliğini etkiler. Tane boyutunun değişimi ise malzemenin elektriksel ve yapısal özellikleri üzerinde büyük bir değişim olmasına sebep olur.

Nanokristal InP filmlerin X-ışını kırınım modellerini belirlemek için dalga boyu $\lambda = 1.541 \text{ Å}$ olan $\text{CuK}\alpha$ ışını kullanan Rigaku Rint 2000 model X-ışını kırınım cihazı kullanılmıştır. Filmlerin kırınım desenleri $20^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$ açı aralıklarında elde edilmiştir.

Bu amaçla kırınım açısı (2θ) kullanılarak XRD deseninden elde edilen miller indeksleri; yarı maksimumda tam genişlik (FWHM), tane boyutu (d) ve mikrogerilim (ϵ) değerleri hesaplanarak yapısal özellikleri açıklanmıştır.

Şekilde gösterilen XRD desenlerine göre bor katkısı, XRD pik şiddeti ve yarı maksimum genişliği (FWHM) değerlerine olan etkisi gözükmemektedir. Yani, XRD desenlerinin yarı maksimum genişliğinin küçülmesi ve XRD pik şiddetinin büyümesi tane boyutunun büyüdüğünü ve filmlerin kristal yapılarının düzgünleştiğini gösterir. Yarı maksimum genişliğinin büyümesi ve XRD pik şiddetinin küçülmesi ise tane boyutunun küçüldüğünü ve filmlerin kristal yapısının bozulduğunu gösterir. Bu sonuçlar bize Nanokristal InP filmlerinin yapısal özelliklerinin borik asit katkı oranına doğrudan bağlı olduğu gösterir.

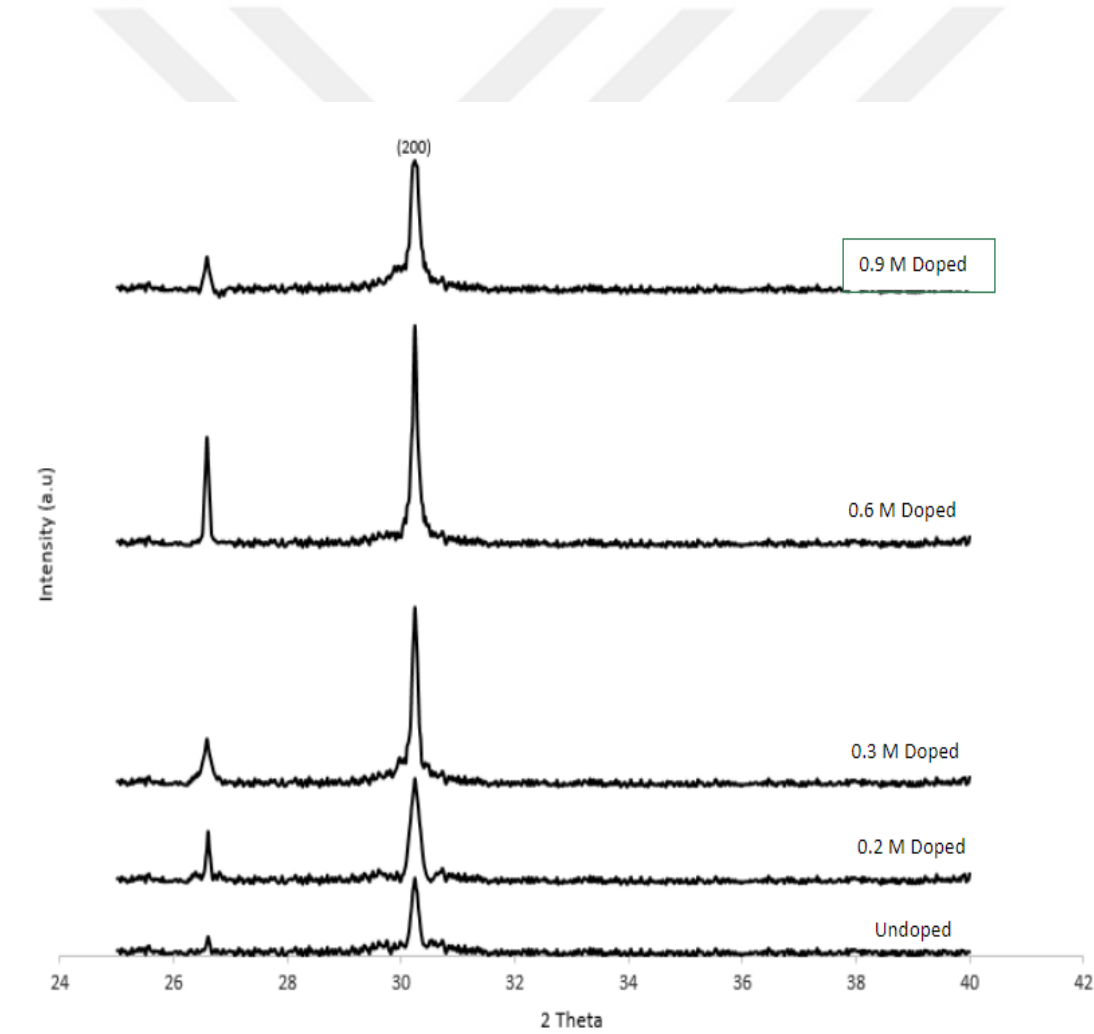
500 °C alt taban sıcaklığında büyütülen bor katkılı ve katkısız nanokristal InP filmlerinin XRD desenleri şekilde gösterilmektedir. Şekilde görülen XRD desenlerine göre püskürtme yöntemiyle büyütülen katkısız ve bor katkılı nanokristal InP filmlerinin polikristal yapıya sahip olduğu görülmektedir. Kırınım deseninin literatürle uyumlu olarak (111) ve (200) düzlemleri olduğu belirlenmiştir [90]. Ayrıca tüm filmler (200) düzleminde tercihli bir yönelime sahiptir. 0,6 M bor katkısına kadar tüm piklerin yoğunluğunun arttığı görülürken, 0,9 M bor katkısı uygulandığında tüm piklerin yoğunluğunun azaldığı gözlenmiştir. Bu davranış filmlerin kristalleşme kalitesinin 0,6 M bor katkısına kadar arttığını göstermektedir. 500 °C taban sıcaklığında ve 0,6 M borik asit katkısı kullanılarak büyütülen InP:B filmlerinin, yüksek kaliteli InP:B filmlerinin büyütülmesi için en uygun durum olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, spreyl piroliz yöntemi kullanılarak nanokristal InP:B filmlerinin yapısal özelliklerinin filmlere eklenen bor miktarına bağlı olduğu görülmüştür [91].

Ayrıca şekilde gösterilen XRD piklerindeki artışın B atomlarının yeni çekirdeklenme merkezlerini oluşturduğu söylenebilir. Yüksek katkılama seviyesinde oluşan kırınım tepe noktalarının azalması ise;

1. Çekirdeklenme merkezlerinin sayısının çok artması,
2. Çarpışma sırasında enerji soğurmasının değişmesi ve katkı atomları ile film arasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar nedeniyle açıklanabilir.

Bor katkılı ve katkısız nanokristal InP filmlerin tane boyutu (200) düzlemi için Scherrer formülü ile hesaplanmıştır [64].

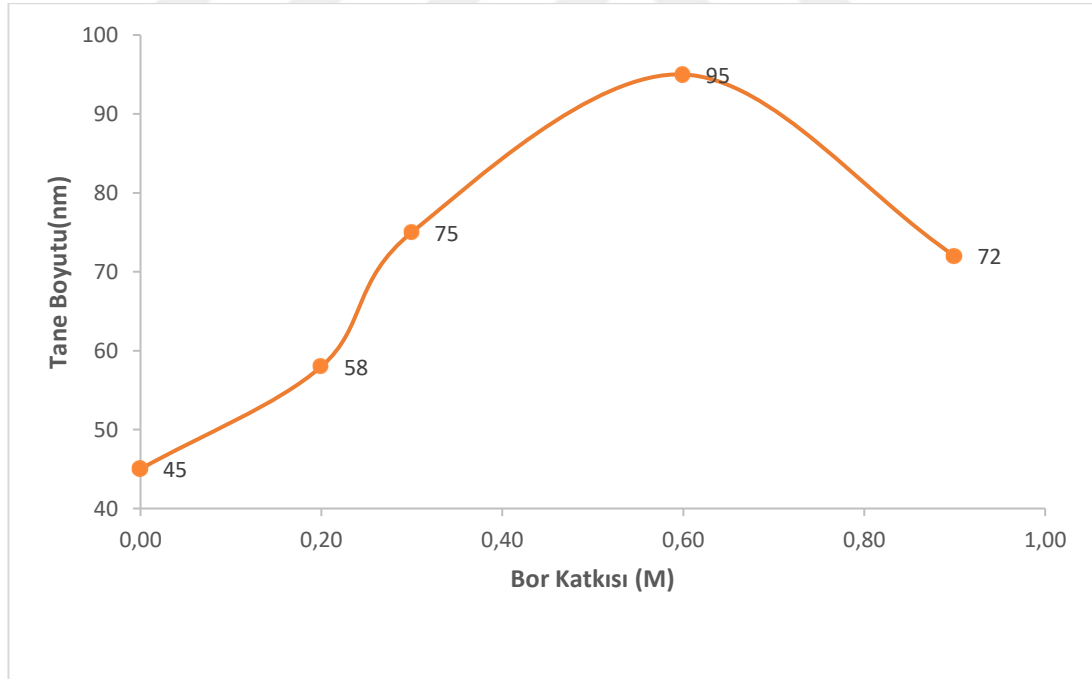
$$d = \frac{\lambda}{D \cos \theta} \quad (2.7)$$



Şekil 2.8. Bor katkılı ve katkısız nanokristal InP filmlerinin XRD desenleri

Burada, D yarı maksimum genişlik (FWHM), θ Bragg açısıdır, λ X-ışını dalga boyudur ve d tane boyutudur. Katkısız ve farklı borik asit konsantrasyonlarına sahip

nanokristal InP filmlerin yapısal ve elektriksel parametrelerinin değişimi tabloda verilmiştir. Şekile göre nanokristal InP filmlerinin XRD piklerinin yoğunluğu 0,6 M bor katkısına kadar artmakta ve bu pikler kristalleşmede bir iyileşme göstererek daralmaktadır. Bu sonuç ve bor katkısının tane boyutuna göre değişimi grafiğinde görüldüğü gibi, borik asit katkısının 0,6 M'ye kadar olması durumunda filmlerin tane boyutunda artış meydana gelmektedir. Borik asit katkısı 0,6 M değerini aştığında ise kristaldeki kusurlar ve tane boyutunun küçülmesiyle pikler alçalır ve genişler. Görüldüğü gibi tane boyutundaki artışın ve azalmanın kırınım zirvesinin genişlemesiyle veya daralmasıyla ilişkili olduğu söylenebilir. Tane boyutunda oluşan bu azalma şeklinde de görülmektedir. Bu sonuçlara göre tane boyutu küçüldükçe tane sınırlarının yoğunluğu artar ve bu sınırlar taşıyıcının taşınması için bir bariyer, serbest taşıyıcılar için ise bir tuzak görevi görür. Bu nedenle tane boyutundaki azalmalar tane sınırı saçılımını artırır [92]. Bu gözlemler X-ışını kırınım sonuçlarıyla iyi bir uyum göstermektedir. Sonuç olarak katkısız ve bor katkılı InP filmlerin çeşitli karakteristik özelliklerinin filmlerdeki bor miktarından büyük ölçüde etkilendiği görülmektedir.



Şekil 2.9. Farklı bor katkısı ile InP filmlerinin tane boyutunun değişmesi

Ayrıca bor atomlarının kristal yapıya girmesi sonucu yeni çekirdeklenme merkezleri oluşur ve bunun etkisiyle pikler güçlenir. Böylece katkı maddesi içeriğindeki artışla birlikte tane boyutlarında (0,6M'ye kadar) bir artış gözlenir. Tane boyutunun artmasına paralel olarak filmlerin kristal kalitesinde de artış olduğu görülmektedir. Tane

boyutunun artması, daha az sayıda kafes kusurunun varlığını gösterir. Bu sonuçlar 0,6 M bor katkısı oranına kadar üretilen filmlerin yüksek kaliteye sahip olduğunu göstermektedir. Ancak daha sonra yüksek katkılama seviyelerinde bu filmlerin tane boyutlarının küçüldüğü görülmüştür. Bu durum bor atomlarının çekirdeklenme tipinde değişikliğe yol açtığı ve yüksek katkılama oranlarında kristal yapının bozulduğunun göstergesidir. Sonuç olarak, tane boyutunun büyümesi film kusurlarında olan tane sınırlarının sayısını azaltır ve filmin kristalleşme düzeyini artırır. Bu yüzden söyleyebiliriz ki, en ideal değer 0,6 M bor katkılı nanokristal InP filmidir. 0,6 M'den yüksek oranda yapılan bor katkısı ise tane boyutunu küçülmesi ile tane sınırlarının boyutları artacaktır. Bu sebepten dolayı, 0,6 M borik asit katkısından fazla oranlar kullanılarak büyütülecek filmlerin kristalleşmesinin bozulacağını söyleyebiliriz.

Film şeklindeki kristallerde oluşan mikrogerilim kristal kafeste bulunan distorsiyonun derecesi ve filmin kristal kafesi ile altlık arasındaki sınırlarda oluşan geometrik uyumsuzluklardan dolayı meydana gelir [93].

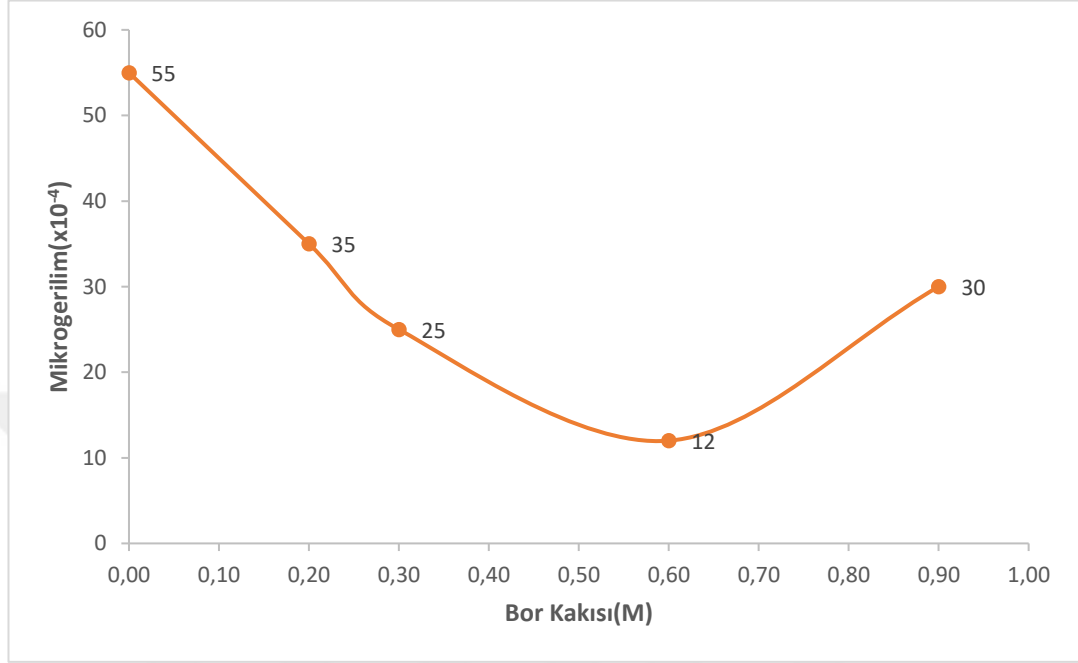
Stresin iki bileşeni vardır; birincisi filmin ve alt tabakanın genleşme katsayısındaki farklılıklardan kaynaklanan termal stres, ikincisi ise biriktirme sırasında filmdeki kristalografik kusurların birikim etkisinin neden olduğu iç stresdir [56]. Çoklu kristal filmlerinde baskın olan basınç gerilimi, tane sınırı etkilerinden kaynaklanmaktadır [93,94]. Bor katkılı ve katkısız nanokristal InP:B filmlerinin geliştirilen mikrogerilim (ε) değerleri, aşağıdaki denklem ile elde edildi [95].

$$\varepsilon = \frac{D \cos \theta}{4} \quad (2.8)$$

burada D; yarı maksimum genişliği, θ Bragg açısıdır.

Aşağıdaki şekil nanokristal InP filmlerinin bor katkısına bağlı olarak mikrogerilim değişimi göstermektedir. Borik asit katkısının 0,6 M'ye kadar artmasıyla mikrogerilimin azaldığı görülmektedir. Mikrogerilimlerdeki bu tür değişikliklerin nedeni filmlerdeki yeniden kristalleşme süreci olabilir. Ayrıca incelendiğinde filmlerin parçacık boyutlarının artmasıyla birlikte mikrogerilmelerde azalma eğilimi görülmektedir. Bu, kristal kafes içindeki atomların düzenli düzenlenmesinin bir sonucu olarak kristallikte bir iyileşme olarak yorumlanabilir. Ayrıca borik asit katkısı 0,6 M'nin üzerine çıktığında ise mikrogerilimin arttığı görülmektedir. Mikrogerilim

bir kusur olmasından dolayı filmlerin kristalleşme düzeyini düşürür ve bu durum ise bize polikristal olan filmin tane boyutunun küçüleceğini, filmlerin öz direncinin ve tane sınırlarının boyutunun artacağını gösterir.



Şekil 2.10. InP filmlerinde bor katkısına bağlı olarak mikrogerilim değişimi

Tablo 2.1. Katkısız ve farklı borik asit konsantrasyonlarına sahip nanokristal InP filmlerin yapısal ve elektriksel parametrelerinin değişimi

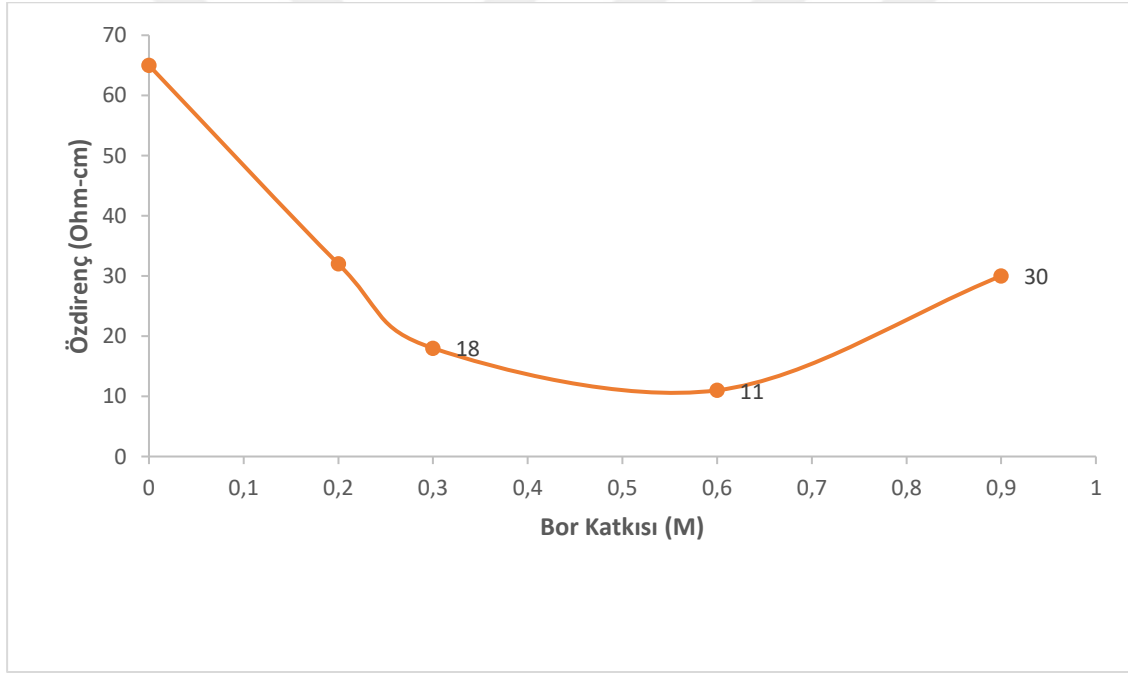
Bor Katkısı (M)	Filim Kalınlığı (nm)	Tane Boyutu (nm)	Mikrogerilim (ϵ) ($\times 10^{-4}$)	Özdirenç ρ ($\Omega\text{-cm}$) $\times 10^3$	Hall Mobiliti (Hareketlilik) (cm^2/Vs)
Katkısız	145	45	35	45	105
0.2	267	68	28	32	115
0.3	310	82	20	25	127
0.6	355	95	12	12	145
0.9	315	77	25	30	125

2.4.2. Katkısız ve bor katkılı nanokristal InP filmlerin elektriksel analizi

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi katkısız ve bor katkılı nanokristal InP filmlerin elektriksel öz direnç değerleri, bor katkısı 0,6 M'ye kadar azalmakta, bu değer üzerinde ise artmaktadır. Filmlerin bor katkısı 0,6 M'ye kadar yükseldikçe kristallığın iyileşmesi nedeniyle taşıyıcı saçılma işleminin büyük ölçüde zayıflamasından kaynaklanan öz direnç değeri düşmektedir [96]. Yani en uygun değerler 0,6 M oranında büyütülen filmde görülmüştür. Tablo 4'te görülen değerleri karşılaştırsak

filmlerin özdirenç değerindeki artış Hall hareketlilik (mobiliti) değerinde ise azalma veya filmlerin Hall hareketlilik (mobiliti) değerinde artış, özdirenç değerinde ise azalmaya neden olması görülmüştür. Bu durum filmin kristalleşme düzeyi açısından beklenen sonuçtur. Bu durum şöyle açıklanabilir;

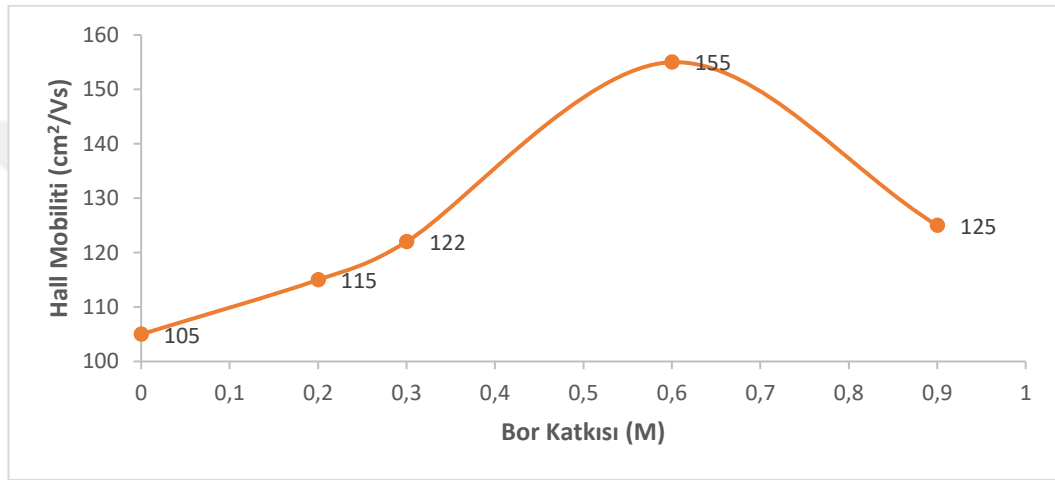
Filme bor katkısı yaptıkça filmde oluşan çekirdeklenmenin oluşumu esnasında atoma eklenen yeni atom, çekirdeğin hacmini ve yüzey alanında olan artışı gösterir ve bunun sonucu olarak çekirdeklenmeye bağlı olarak enerjide bir değişim oluşur. Çekirdeğin enerjisindeki bu artış, filmin Hall hareketliliğini artırır ve özdirencini düşürür. Eklenen bor katkısı optimum değeri olan 0,6 M den fazla uygulandığında ise enerji değişimi düşmeye başlar. Bunun sonucu olarak filmin Hall hareketliliğinde düşme ve özdirencinde ise artma gözlenir.



Şekil 2.11. Elektriksel özdirenç değerinin bor katkısına göre değişimi

Aşağıdaki şekil katkısız ve bor katkılı nanokristal InP filmlerin hesaplanan elektriksel Hall (mobiliti) hareketlilik değerlerinin değişimini göstermektedir. Kristallığın iyileştirilmesi nedeniyle, taşıyıcı saçılma işleminin büyük ölçüde zayıflamasından kaynaklanan Hall (mobiliti) hareketlilik değerleri artar. Hall (mobiliti) hareketliliğinin artması, tane boyutunun artması ve tane sınırlarının daralması nedeniyle özdirençte azalmaya neden olur. Bor katkısının 0,6 M'den fazla olması, elektriksel özelliklerde hafif bir bozulmaya neden olur. Artan film elektriksel özdirenç, Hall hareketliliğindeki azalmaya ve tane sınırı saçılımına neden olur, bu yüzden bor

iyonlarının en yakın komşu alanlarını daha sık işgal etmesine, dolayısıyla donör hareketlerinin engellenmesine ve kristal kafesin bozulmasına neden olur. Bununla birlikte bor oranının artması, daha küçük kristalit boyutu ve daha yüksek elektriksel özdirenç, tane sınırı saçılımının artmasına ve serbest taşıyıcı için tuzak görevi gören daha yüksek tane sınırı yoğunluğuna neden olabilir [97]. Hall hareketliliğindeki azalma, yüzeyin oksidasyonunun artması ve özdirenç artışının bir sonucu olarak yerel donörlerin azalmasına bağlı olabilir [98]. Sonuç olarak yüksek bor katkısı filmlerde kristallik kaybına neden olur.



Şekil 2.12. Hall mobilitenin bor konsantrasyonuna göre değişimi

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki belirli oranlarda bor katkısının InP nanokristalinin mikrojergilim değerlerinde azalma sağladığı, elektriksel özdirencini düşürdüğü, tane boyutunun büyümesine neden olduğu ve iletkenliği arttırdığı, kristal yapıda iyileşme sağladığı görülmektedir. Dolaylı olarak belirli oranda bor katkılı üretilen güneş hücrelerinin veriminin artacağı gözükmemektedir. Belirli oranlarda bor katkılanmış olarak üretilen güneş hücrelerinin veriminin artmasına bağlı olarak panel başına üretilebilecek elektrik enerjisi artacaktır, buna bağlı olarak katkısız hücrelere oranla daha az sayıda hücre ile çözümler üretilebilecektir. Dolaylı olarak ilk kurulum maliyetlerinin azalacağı değerlendirilmektedir. Ülkemizin bor madeninin dünyadaki en büyük en önemli tedarikçisi olduğu ve dünya rezervinin önemli kısmına sahip olduğu düşünüldüğünde bu alanda yapılacak ar-ge çalışmaları ile ülke ekonomisine önemli oranda katkı sağlanabileceği düşünülmektedir.



3. FOTOVOLTAİK SİSTEM UYGULAMA TASARIMI: BURSA ÖRNEĞİ

Çalışmanın bu kısmında Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından yapımı sürdürülen Orhaneli Gençlik Merkezi Projesi için fotovoltaik sistem uygulama tasarımı yapılacaktır. Modelleme için HOMER yazılımı içindeki iklim verileri kullanılacaktır. Yapımı devam eden proje en yakın enerji nakil hattına yaklaşık olarak 3 km mesafe uzaklıktadır. Şebeke genişletme ve altyapı kurulum maliyetleri dikkate alınarak hesaplama ve optimizasyon çalışmaları yapılacaktır. Homer programında yapılacak hesabın dışında matematiksel olarak ayrıca boyutlandırılma yapılacak olup; alınacak sonuçlar Homer programından alınacak sonuçlar ile karşılaştırılacaktır.

3.1. Orhaneli Gençlik Merkezi

Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından yapımı sürdürülen Orhaneli Gençlik Merkezi Projesi Bursa ilinin Orhaneli ilçesi Göynükbelen mevkiinde 39°96N 29°02'E koordinatlarında toplam 2700m² inşaat alanına yapılmaktadır. Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından gençlik merkezi olarak hizmet vermesi planlanan alan içerisinde konaklama alanları, sosyal tesis ve etkinlik alanları bulunacaktır.

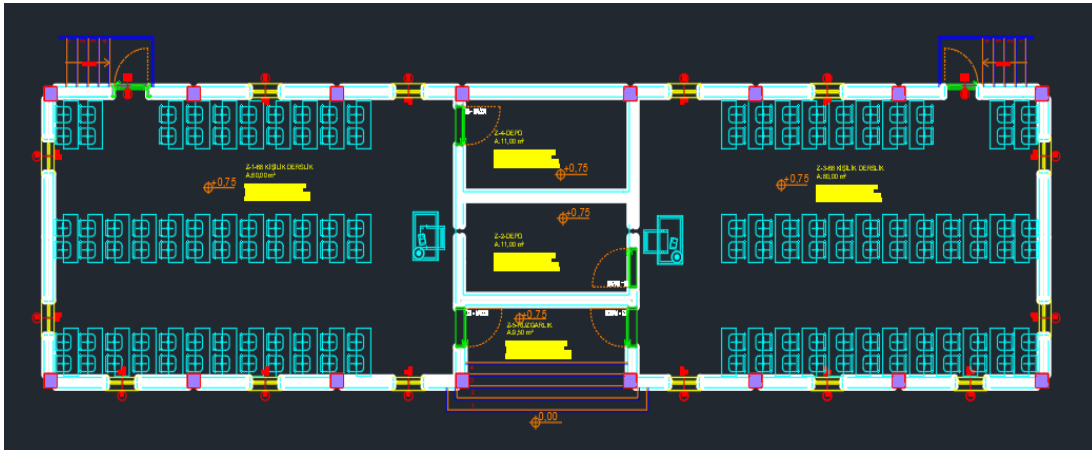


Şekil 3.1. Orhaneli Gençlik Merkezi Projesi



3.1.1. Orhaneli gençlik merkezi elektrik tüketim değerleri

Elektrik tüketim değerleri için yapılan projede yapılacak olan 1 numaralı derslik alanı için 1990W'lık bir enerji tüketimi öngörülmüştür.

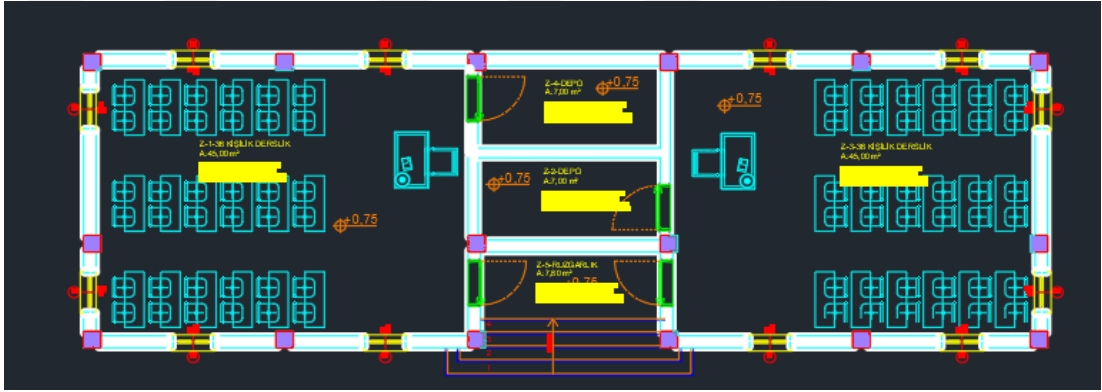


Şekil 3.2. 1 Numaralı Derslik Planı

TABLO YÜKLEME CETVELİ												
KAT PANOSU İÇİ	LİNE NO	SORTİ AD.	ISIK GÜCÜ (W)	PRİZ GÜCÜ (W)	MOTOR GÜCÜ (W)	FAZ GÜCÜ DAĞILIMI				SİG. (A)	K.AKIM RÖLE (mA)	AÇIKLAMA
1DRSP						R (W)	S (W)	T (W)	RST (W)			
BURSA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ	A1	9	306			306				1x10		Aydınlatma
	A2	9	306				306			1x10		Aydınlatma
	A3	1	16					16		1x10		Aydınlatma
	AA1	6	60					60		1x10		Acil Aydınlatma
	P1	3		900		900				1x16		Priz
	P2	3		900				900		1x16		Priz
KURULU GÜC (W)	DİV.	TALEP GÜC (W)										
2.488 W	0,80	1.990 W	TOP.	31	688	1.800	0	1.206	306	976	0	3x25
ÇEKİLEN AKIM 4 A MESAFE Ad. Kesit Kablo Cinsi 35 m 1 5 x 6 N2XH kablomun taşıyacağı max. Akım 43 A olduğundan uygundur.												

Şekil 3.3. 1 Numaralı Derslik Tablo Yükleme Cetveli

2 numaralı derslik alanı için yapılan çalışmada 1843W'lık enerji tüketimi öngörülmüştür.

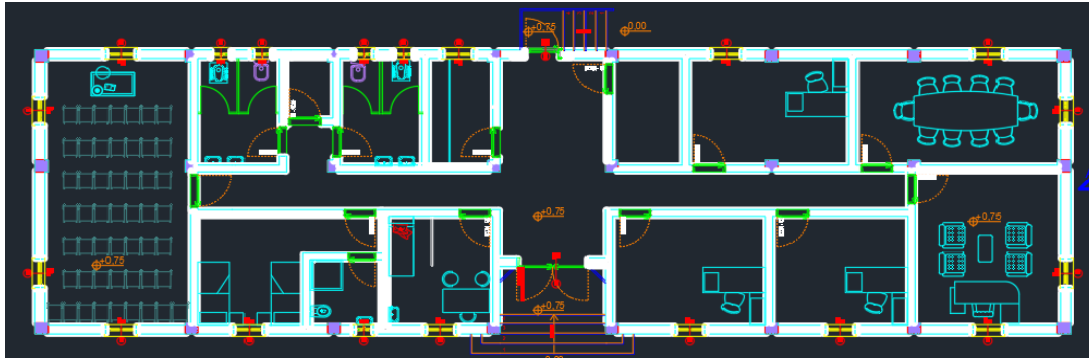


Şekil 3.4. 2 Numaralı Derslik Planı

TABLO YÜKLEME CETVELİ												
KAT PANOSU İÇİ	LİNE NO	SORTİ AD.	ISIK GÜCÜ (W)	PRİZ GÜCÜ (W)	MOTOR GÜCÜ (W)	FAZ GÜCÜ DAĞILIMI				SİG. (A)	K.AKIM RÖLE (mA)	AÇIKLAMA
2DRSP						R (W)	S (W)	T (W)	RST (W)			
BURSA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ	A1	7	234			234				1x10		Aydınlatma
	A2	7	234				234			1x10		Aydınlatma
	A3	1	16					16		1x10		Aydınlatma
	AA1	4	20					20		1x10		Acil Aydınlatma
	P1	3		900		900				1x16		Priz
	P2	3		900				900		1x16		Priz
KURULU GÜC (W)	DİV.	TALEP GÜC (W)										
2.304 W	0,80	1.843 W	TOP.	25	504	1.800	0	1.134	234	936	0	3x25
ÇEKİLEN AKIM 4 A MESAFE Ad. Kesit Kablo Cinsi 30 m 1 5 x 6 N2XH kablomun taşıyacağı max. Akım 43 A olduğundan uygundur.												

Şekil 3.5. 2 Numaralı Derslik Tablo Yükleme Cetveli

İdari bina olarak yapılacak olan ortak alan 18022 W'lık enerji tüketimine sahip olacağı öngörülmektedir.

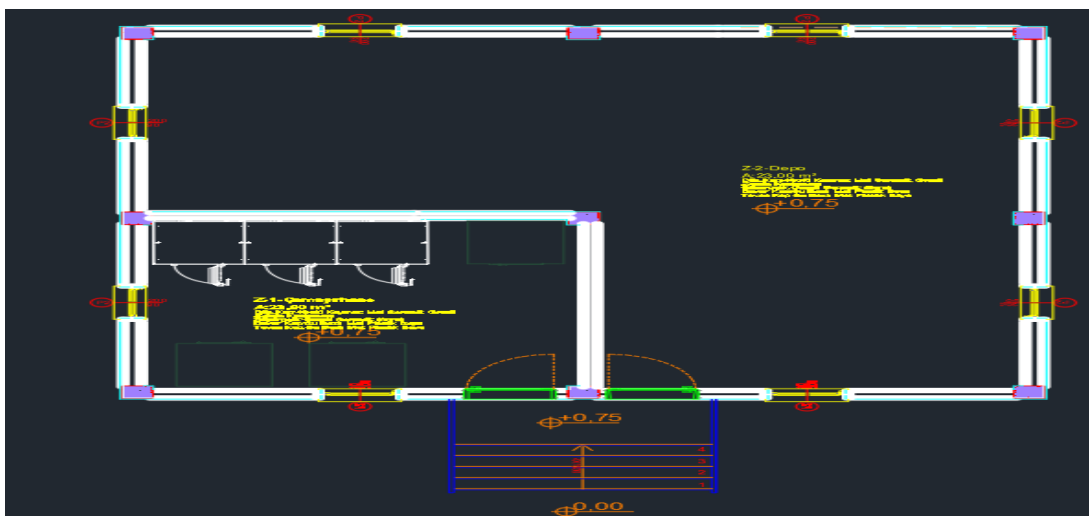


Şekil 3.6. İdari Bina Planı

TABLO YÜKLEME CETVELİ																															
KAT PANOSU İÇİ			LİNYE NO	SÖRÜT ADI	İŞİK GÜCÜ (W)	PRİZ GÜCÜ (W)	MOTOR GÜCÜ (W)	FAZ GÜCÜ DAĞILIMI				SİG (A)	K AKTİF RÖLE (mA)	AÇIKLAMA																	
İBDP								R (W)	S (W)	T (W)	RST (W)																				
 BURSA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ			A1	2	128				128				1x10	4x25 A 30mA	Aydınlatma																
			A2	5	216					216			1x10		Aydınlatma																
			A3	4	112						112		1x10		Aydınlatma																
			A4	2	92				92				1x10		Aydınlatma																
			A5	5	180					180			1x10		Aydınlatma																
			A6	4	144						144		1x10		Aydınlatma																
			A7	1	30				30				1x10		Aydınlatma																
			AA1	12	120						120		1x10		Acil Aydınlatma																
			P1	2		600			600				1x16	4x25 A 30mA	Priz																
			P2	2		600				600			1x16		Priz																
			P3	4		1.200					1.200		1x16		Priz																
			P4	4		1.200			1.200				1x16		Priz																
			P5	4		1.200			1.200				1x16		Priz																
			P6	3		1.200				1.200			1x16		Priz																
			P7	4		1.200			1.200				1x16		Priz																
			P8	4		1.200			1.200				1x16		Priz																
			P9	7		2.100				2.100			1x16	Priz																	
			M1	2			60	60					1x16	4x25 A 30mA	Mekanik İç Ünite																
			M2	3			90	90					1x16		Mekanik İç Ünite																
			M3	5			190	190					1x16		Mekanik İç Ünite																
		M4	1			5.600				5.600		3x20	Mekanik Dış Ünite																		
KURULU GÜCÜ (W)	DIV.	TALEP GÜCÜ (W)	K1	12		3600			3600	0	0	1x32		UIBDP Besleme																	
21.072 W	0,86	18.022 W	TOP.	107	1.032	14.100	5.940	6.920	3.486	5.066	5.600	3x40																			
<table><tr><td>8.000 W</td><td>1</td><td>8.000 W</td><td>İlk 10 kva Priz Gücü</td></tr><tr><td>6.100 W</td><td>0,5</td><td>3.050 W</td><td>10 KVA Güç Priz Gücü</td></tr><tr><td>1.032 W</td><td>1</td><td>1.032 W</td><td>Aydınlatma Gücü</td></tr><tr><td>5.940 W</td><td>1</td><td>5.940 W</td><td>Motor Gücü</td></tr></table>																8.000 W	1	8.000 W	İlk 10 kva Priz Gücü	6.100 W	0,5	3.050 W	10 KVA Güç Priz Gücü	1.032 W	1	1.032 W	Aydınlatma Gücü	5.940 W	1	5.940 W	Motor Gücü
8.000 W	1	8.000 W	İlk 10 kva Priz Gücü																												
6.100 W	0,5	3.050 W	10 KVA Güç Priz Gücü																												
1.032 W	1	1.032 W	Aydınlatma Gücü																												
5.940 W	1	5.940 W	Motor Gücü																												
ÇEKİLEN AKIM										34 A		<table><tr><td>MİSAFİ</td><td>Ad</td><td>Kerit</td><td>Kablo Çıktı</td></tr><tr><td>5 m</td><td>1</td><td>5 x 10</td><td>N2 NH</td></tr></table>				MİSAFİ	Ad	Kerit	Kablo Çıktı	5 m	1	5 x 10	N2 NH								
MİSAFİ	Ad	Kerit	Kablo Çıktı																												
5 m	1	5 x 10	N2 NH																												
kabloların taşıyacağı max. Akım olduğundan uygundur.										60 A																					

Şekil 3.7. İdari Bina Tablo Yükleme Cetveli

Proje kapsamında yapılacak çamaşırhane ve depo alanı için öngörülen enerji tüketimi 12112 W değerindedir.

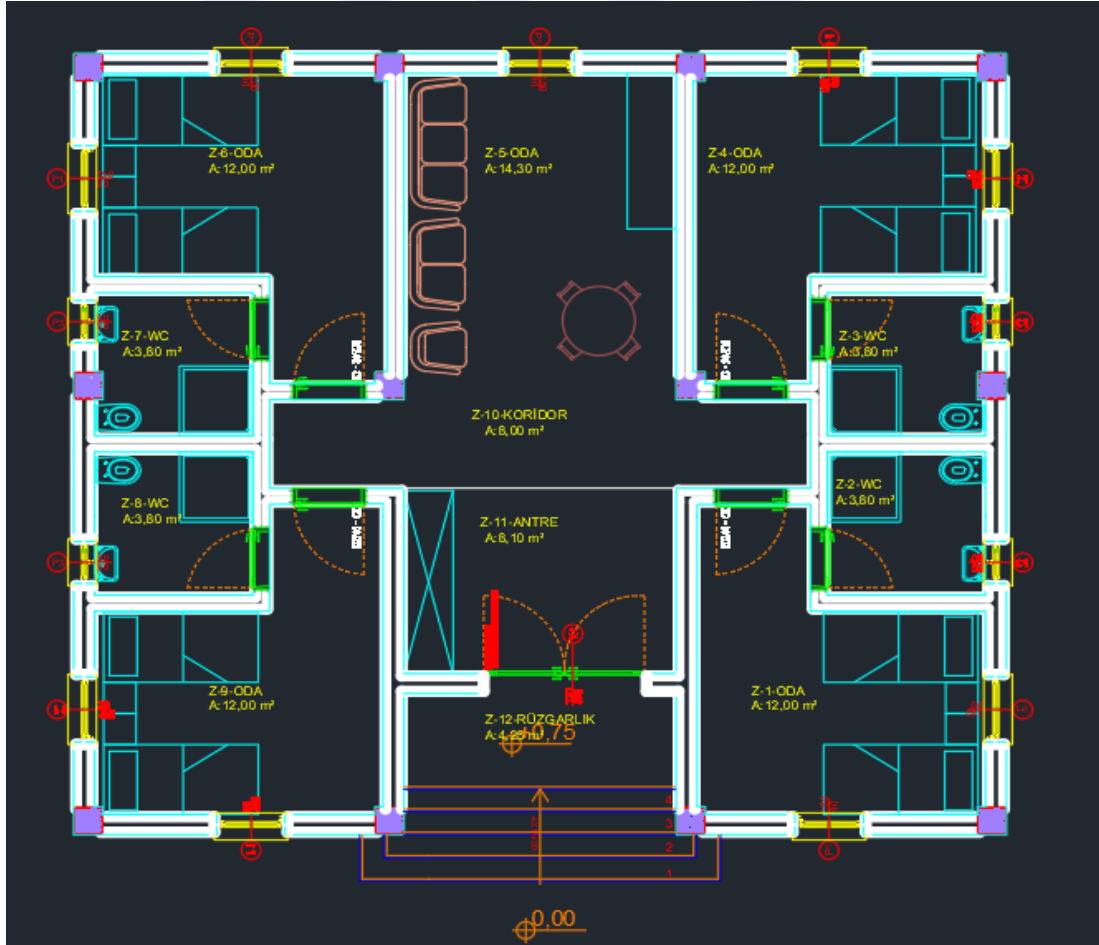


Şekil 3.8. Çamaşırhane ve Depo Planı

TABLO YÜKLEME CETVELİ															
KAT PANOSU İÇİ			LİNE NO	SORTİ AD	IŞIK GÜCÜ (W)	PRİZ GÜCÜ (W)	MOTOR GÜCÜ (W)	FAZ GÜCÜ DAĞILIMI				SİG. (A)	K.AKIM RÖLE (mA)	AÇIKLAMA	
ÇHDP								R (W)	S (W)	T (W)	RST (W)				
 BURSA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ			A1	2	72			72				1x10	4x25 A 30mA	Aydınlatma	
			A2	3	90				90					1x10	Aydınlatma
			P1	1		2.500				2.500				1x16	Priz
			P2	1		2.500		2.500						1x16	Priz
			P3	3		900			900				1x16	Priz	
			P4	1		2.500				2.500			1x16	Priz	
			P5	1		2.500		2.500					1x16	Priz	
			P6	1		2.500			2.500				1x16	Priz	
			P7	1		2.500				2.500		1x16		Priz	
KURULU GÜÇ (W)	DİV.	TALEP GÜÇ (W)													
16.062 W	0,75	12.112 W	TOP.	14	162	15.900	0	5.072	3.490	7.500	0	3x32			
8.000 W	1	8.000 W	İlk 10 kva Priz Gücü												
7.900 W	0,5	3.950 W	10 kVA üstü priz gücü												
162 W	1	162 W	Aydınlatma Gücü												
0 W	1	0 W	Motor Gücü												
ÇEKİLEN AKIM23 A															
MESAFEAd.KesitKablo Cinsi															
20 m14 x 10 + 10N2XH															
kabloların taşıyacağı max. Akım 60 A olduğundan uygundur.															

Şekil 3.9. Çamaşırhane Ve Depo Tablo Yükleme Cetveli

Yapılacak tesiste kalacak olan personeller için hazırlanan personel yatakhane binasında 4598 W'lık enerji tüketimi öngörülmüştür.

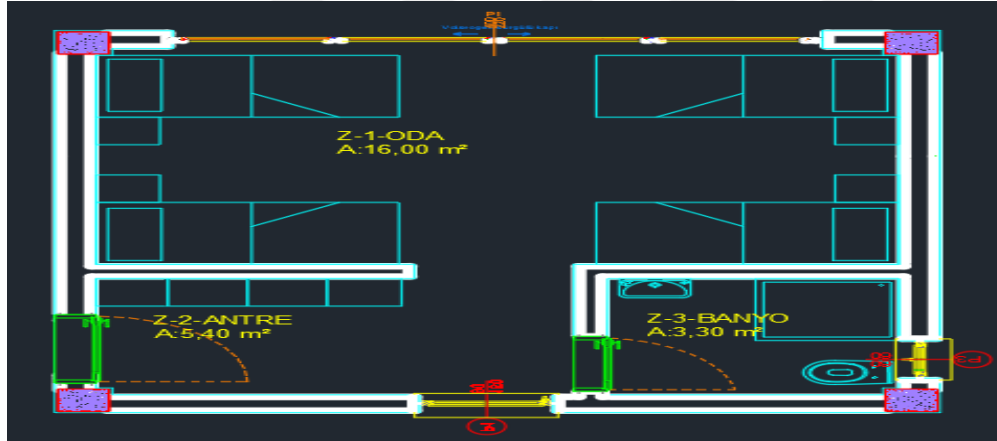


Şekil 3.10. Personel Yatakhane Binası Planı

TABLO YÜKLEME CETVELİ														
KAT PANOSU İÇİ			LİNE NO	SORTİ AD.	IŞIK GÜCÜ (W)	PRİZ GÜCÜ (W)	MOTOR GÜCÜ (W)	FAZ GÜÇ DAĞILIMI				SİC. (A)	K AKIM RÖLE (mA)	AÇIKLAMA
PYDP								R (W)	S (W)	T (W)	RST (W)			
 BURSA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ			A1	4	124			124				1x10	4x25A 30mA	Aydınlatma
			A2	3	56				56			1x10		Aydınlatma
			A3	3	56					56		1x10		Aydınlatma
			A4	3	56			56				1x10		Aydınlatma
			A5	3	56				56			1x10		Aydınlatma
			P1	2		600		600				1x16		Priz
			P2	4		1.200			1.200			1x16		Priz
			P3	4		1.200				1.200		1x16		Priz
			P4	4		1.200		1.200				1x16		Priz
			P5	4		1.200			1.200			1x16		Priz
KURULU GÜÇ (W)	DİV.	TALEP GÜÇ (W)												
5.748 W	0,80	4.598 W	TOP.	34	348	5.400	0	1.980	2.512	1.256	0	3x25		

Şekil 3.11. Personel Yatakhane Binası Tablo Yükleme Cetveli

Öğrencilerin konaklaması için yapılacak olan 21 adet bungalov evlerin her biri için 1310 W'lık enerji tüketimi öngörülmüştür.

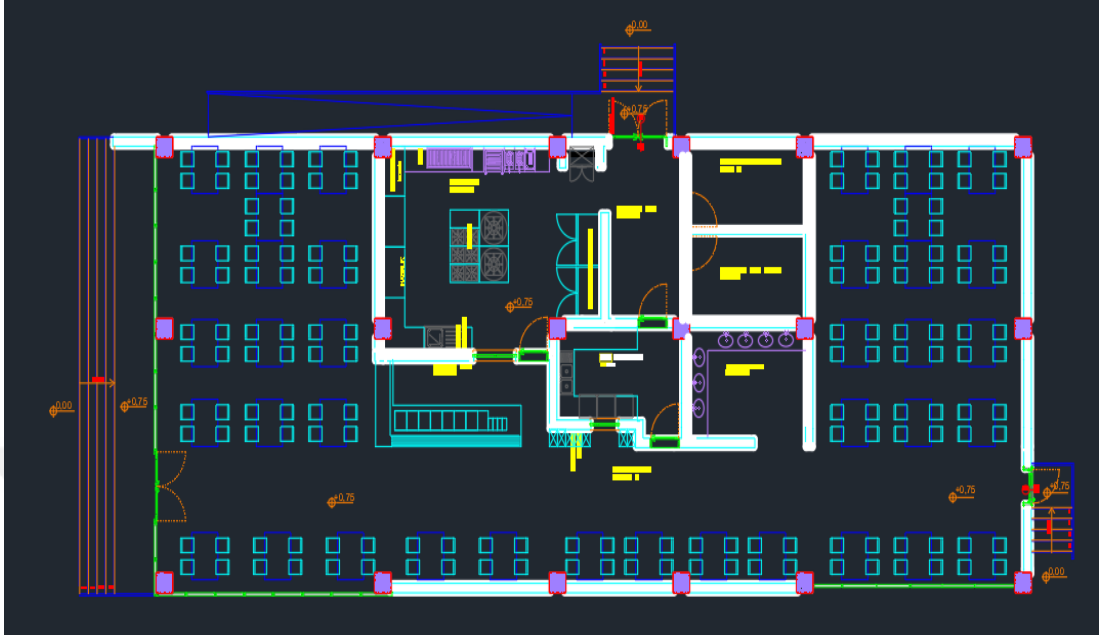


Şekil 3.12. Bungalov Konaklama Evi Planı

TABLO YÜKLEME CETVELİ														
KAT PANOSU İÇİ			LİNYE NO	SORTİ AD.	IŞIK GÜCÜ (W)	PRİZ GÜCÜ (W)	MOTOR GÜCÜ (W)	FAZ GÜÇ DAĞILIMI				SİG. (A)	K.AKIM RÖLE (mA)	AÇIKLAMA
TP.....								R (W)	S (W)	T (W)	RST (W)			
			A1	4	100			100				1x10		Aydınlatma
			AA1	1	10			10				1x10	2x25A	Acil Aydınlatma
			P1	2		600		600				1x16	30mA	Priz
			P2	2		600		600				1x16		Priz
KURULU GÜÇ (W)	DİV.	TALEP GÜÇ (W)												
1.310 W	1,00	1.310 W	TOP.	9	110	1.200	0	1.310	0	0	0	1x25		
								ÇEKİLEN AKIM		6 A				

Şekil 3.13. Bungalov Konaklama Evi Tablo Yükleme Cetveli

Yapılacak olan yemekhane ve çok amaçlı salon için 21546 W'lık enerji tüketimi öngörülmüştür.



Şekil 3.14. Yemekhane Planı

TABLO YÜKLEME CETVELİ																	
KAT PANOSU İÇİ				LİNE NO	SORTİ AD.	IŞIK GÜCÜ (W)	PRİZ GÜCÜ (W)	MOTOR GÜCÜ (W)	FAZ GÜCÜ DAĞILIMI				SİG (A)	K AKIM RÖLE (mA)	AÇIKLAMA		
YHDP									R (W)	S (W)	T (W)	RST (W)					
 BURSA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ				A1	10	360			360				1x10	4x25A 30mA	Aydınlatma		
				A2	11	396				396					1x10	Aydınlatma	
				A3	8	288					288				1x10	Aydınlatma	
				A4	3	108			108						1x10	Aydınlatma	
				A5	12	144				144					1x10	Cephe Aydınlatma	
				AA1	10	200						200			1x10	Ac il Aydınlatma	
				P1	1		2.000	2.000						1x16	4x25A 30mA	Mutfak Priz	
				P2	1		2.000			2.000				1x16		Mutfak Priz	
				P3	1		2.000				2.000			1x16		Mutfak Priz	
				P4	1		2.000	2.000						1x16		Mutfak Priz	
				P5	1		2.000			2.000				1x16		Mutfak Priz	
				P6	2		600					600			1x16	4x25A 30mA	Priz
				P7	1		2.500						2.500	1x16	Benmari		
				P8	5		1.500	1.500						1x16	Priz		
				P9	3		900			900				1x16	Priz		
				P10	1		2.000				2.000			1x16	El Kurutma		
				P11	1		2.000	2.000						1x16	4x25A 30mA	Bulaşık Makinası	
				P12	1		2.000			2.000				1x16		Bulaşık Makinası	
				P13	1		2.000				2.000			1x16		Bulaşık Makinası	
				M1	1			200	200						1x16	4x25A 30mA	Kanal Tipi Fan
				M2	1			1.500					1.500	3x20	Mutfak Davlumbaz		
				M3	1			2.600					2.600	3x20	Soğuk Oda Dağ Ünite		
KURULU GÜC (W)	DİV.	TALEP GÜC (W)	TOP.	77	1.496	23.500	4.300	8.168	7.440	7.088	6.600	3x50					
8.000 W				1	8.000 W	İlk 10kva Priz Gücü											
15.500 W				0,5	7.750 W	10 kVA üstü priz gücü											
1.496 W				1	1.496 W	Aydınlatma Gücü											
4.300 W				1	4.300 W	Motor Gücü											
CEKİLEN AKIM 41 A																	
MES AFFE				Ad	Kesit		Kablo Cinsi										
40 m				1	5 x 10		N2XH										
kabloların taşıyacağı max. Akım olduğundan uygundur.																	
60 A																	

Şekil 3.15. Yemekhane Tablo Yükleme Cetveli

Tablo 3.1. Toplam Elektrik Gücü

Adı	Gücü (W)
1 Numaralı Derslik	1910 W
2 Numaralı Derslik	1843 W
İdari Bina	18022 W
Çamaşırhane	12112 W
Yatakhane	4598 W
Bungalov Ev (21 Adet)	27510 W
Yemekhane	21546 W
Toplam	87621 W

Yapılacak projede hesaplanan güçler talep güç olarak dikkate alınmış olsa da eş zamanlılık faktörü ve kullanılan cihazların kullanım sürelerine bağlı olarak düzeltme faktörü uygulanarak bulunacak güç değerleri sistem bileşenlerinin seçimi ve maliyet hesabı için büyük öneme sahiptir.

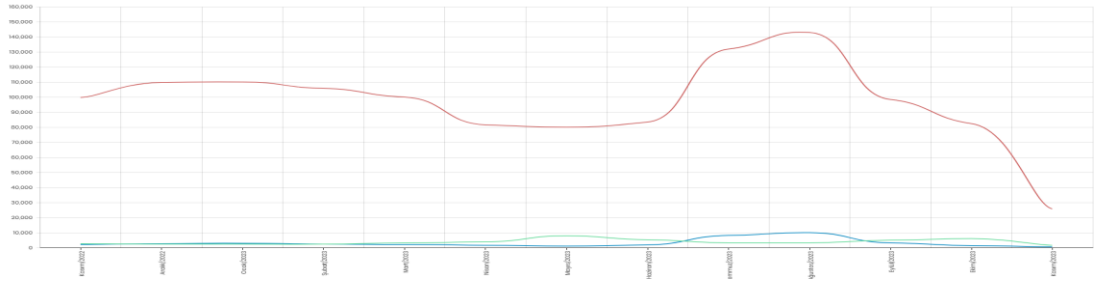
Tablo 3.2. Günlük Enerji Tüketimi

Ürün Tipi	Miktarı	Güç (W)	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Güç (W)	Kullanım Süresi Saat)	Günlük Tüketim (Wh)
Aydınlatma	---	4340	0,9	4822,2	4	19288,8
Çevre Aydınlatma		5530	0,9	6144,4	10	61444
Bulaşık Mak.	3 adet	6000	0,9	6666,6	1	6666,6
Çamaşır Mak.	6 adet	15000	0,9	16666,6	1	16666,6
Buzdolabı	21 adet	441	0,9	490	24	11760
Buzdolabı Yemekhane	3 adet	300	0,9	333,3	24	7999,2
TV	30 adet	3090	0,9	3433,3	5	17166,5
Bilgisayar	8 adet	800	0,9	888,8	10	8888
Telefon Şarj	30 adet	240	0,9	266,6	1	266,6
Benmari	1 adet	2500	0,9	2777,7	3	8333,1
Saç Kurutma Mak.	21 adet	16800	0,9	18666,6	0,1	1866,6
TOPLAM		55041 W		61156,6W		160346 Wh

Tablo 3.3. Fotovoltaik Sistem Tasarım Parametreleri

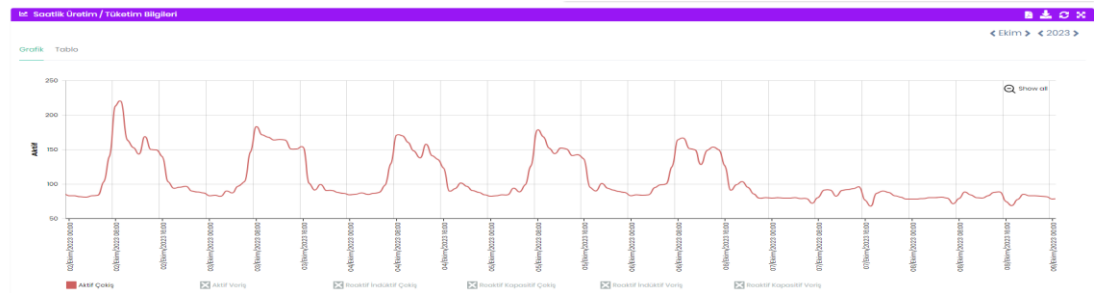
	BURSA	29 E 04	40 N 11
A1	Inverter verimi	0,9	
A2	Akü bara gerilimi	48	V
A3	Inverter AC çıkış voltajı	220	V
A4	Evin günlük enerji ihtiyacı	160346	Wh
A5	Sistemin günlük amper-saat miktarı (A4/A2)	3340,541	Ah
A6	Maksimum AC güç değeri	55041	W
A7	Maksimum DC güç değeri	44356,1	W

Orhaneli Gençlik Merkezi Projesi yapım aşamasında olan bir proje olduğu değerlendirildiğinde örnek olması açısından benzer nitelikte olan Bursa Büyükşehir Belediyesinin farklı gençlik merkezlerinin enerji tüketim verileri akıllı sayaçlardan alınıp analiz edilmiştir. Yapılan analizler tablo ve grafikler halinde sunulmaktadır.



Şekil 3.16. Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi Grafiği

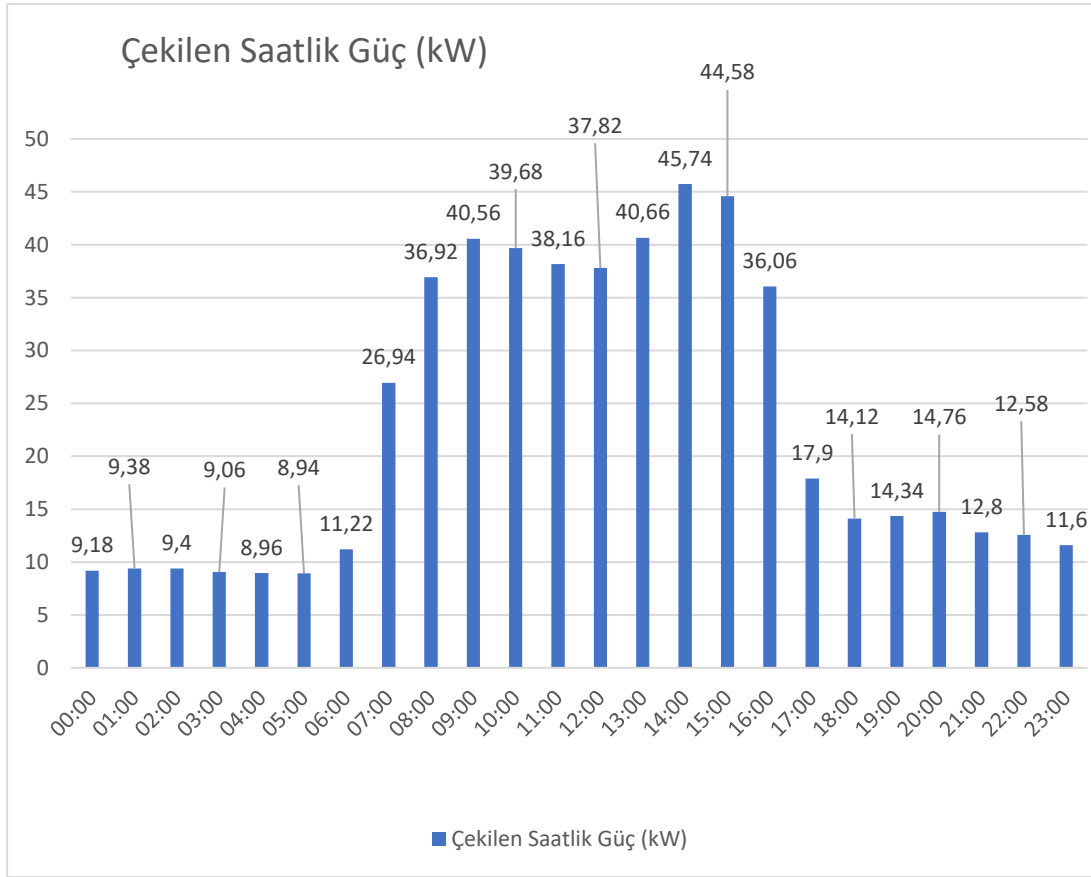
Yıllık enerji tüketimi aylar bazında ele alındığında Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım, Aralık aylarında ısınma amaçlı kullanılan mekanik cihazların etkisi ile ortalama tüketim seviyelerinde olduğu görülmektedir. Nisan, Mayıs ve Eylül aylarındaki tüketim değerlerinin yıllık ortalama değerlerin altında olduğu, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında soğutma amaçlı klima kullanımına bağlı olarak pik yaptığı görülmektedir.



Şekil 3.17. Saatlik Tüketim Grafiği

Bir haftalık veriler ele alındığında saatlik tüketimlerin kamu binası genel profili ile uyumlu olduğu görülmektedir. Mesai saatleri içerisinde 08:00-17:00 saatleri arasında tüketim değerlerinin yoğun olduğu, 17:00-07:00 saatleri arasında mesai dışında kalan zaman diliminde güvenlik amaçlı çevre aydınlatma tüketimi ve sürekli tüketimde bulunan cihazlardan kaynaklı olan tüketimler haricinde tüketim olmadığı görülmektedir.

Aşağıdaki tabloda kurulumu yapılacak gençlik merkezi ile yaklaşık olarak aynı kurulu güce sahip farklı bir gençlik merkezinin yılın en fazla tüketim olan günündeki saatlik enerji tüketim değerleri verilmektedir.

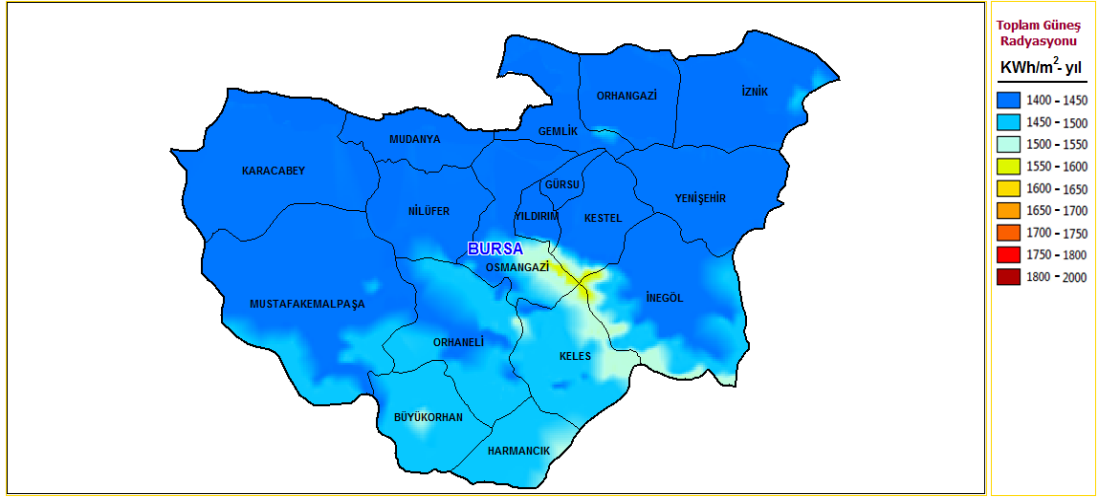


Şekil 3.18. Saatlik Çekilen Güç

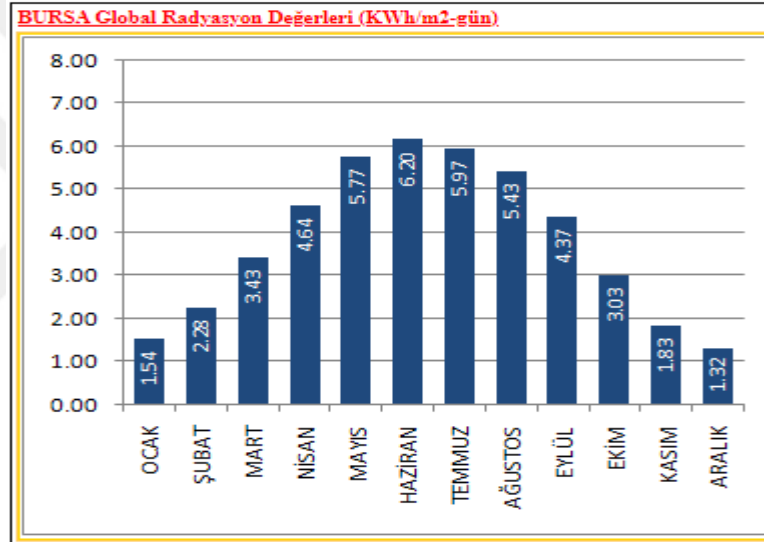
Tablo analiz edildiğinde mesai saatlerinde harcanan elektrik enerjisi, mesai saatleri dışında tüketilen enerjinin yaklaşık olarak 4 katıdır.

3.1.2. Meteorolojik veriler

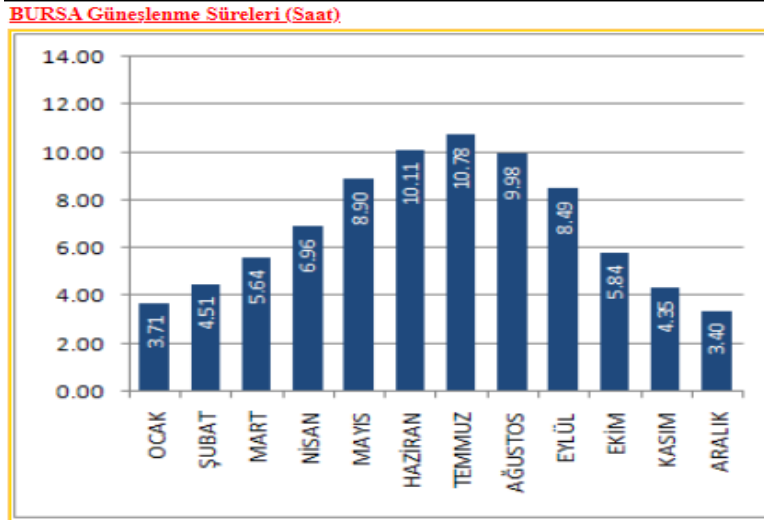
Sistem tasarımı yapabilmek için meteorolojik veriler Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan güneş enerjisi potansiyel atlasından alınmıştır.



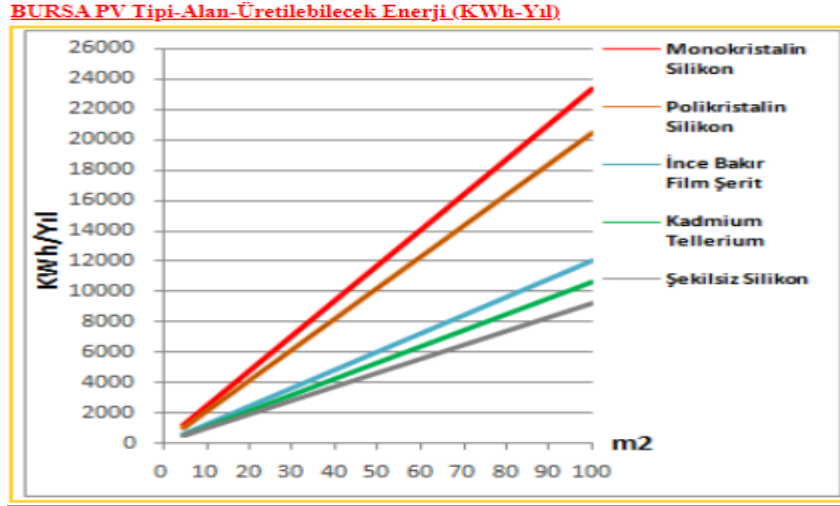
Şekil 3.19. Bursa ili Güneş Enerjisi Potansiyel Haritası



Şekil 3.20. Bursa ili Global Radyasyon Değerleri



Şekil 3.21. Bursa ili Güneşlenme Süreleri



Şekil 3.22. Bursa için Panel Türüne Göre Üretilebilecek Enerji

3.1.3. Batarya seçimi

Batarya için boyutlandırma yapılırken yapılacak olan tesisin kamu binası olduğu göz önünde bulundurulacaktır. Önceki kısımlarda detaylı olarak gösterilmiş olduğu gibi kamu binalarında enerji tüketimi yoğun olarak gün ışında olmaktadır ki bu da batarya kapasitesinin sınırlandırılması için olanak sağlamaktadır. Mevsimsel koşullar, bulutlu gün sayısı, yapılacak bakım onarım çalışmaları gibi sebeplerle fotovoltaik panellerden enerji üretiminin kısıtlı olduğu ya da üretimin yapılamadığı durumlar için kritik yükler belirlenecek ve batarya kapasitesi kritik yüklerin enerji ihtiyacını 2 gün boyunca kesintisiz olarak sağlayacak şekilde seçilecektir. Günlük toplam enerji miktarına göre hesaplanan akü kapasitesi aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.4. Batarya Kapasitesi Hesabı

Akü Boyutu		
Gerekli olan depolama günleri	2	gün
İzin verilebilen deşarj derinlik limiti	0,8	
Gerekli olan akü kapasitesi	8351,35	Ah
Seçilen akünün kapasitesi	200	Ah
Paralel bağlı olan akü sayısı	42	adet
Seri bağlı olan batarya sayısı	2	Adet
Toplam akü sayısı	85	Adet
Toplam akü kapasitesi	16800,00	Ah
KWh cinsinden toplam akü kapasitesi	806	kWh
Ortalama günlük deşarj derinliği	0,149131	

Hesaplanan toplam günlük enerji miktarına göre akü kapasitesi seçimi yapıldığında enerji depolama maliyeti sistemin kurulum maliyetini yükseltmektedir. Fotovoltaik sistem kurulumunda en büyük maliyetler enerji depolamak için kullanılan bataryalardan kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda çalışmamızda kamu binası yapılacağı değerlendirilerek tesisin asgari koşullarda hizmet verebilmesi için bulunan kritik yükler belirlenmiştir. Kritik yükler belirlendikten sonra hesaplanan günlük enerji miktarı yaklaşık olarak %50 oranında azalmıştır. Tesisin yapılacağı konum dikkate alınarak yapılan akü otonomi zamanı 2 gün olarak belirlenmiştir. 2 gün boyunca fotovoltaik panellerden enerji üretilmese bile belirlenen kritik yüklere aküler tarafından kesintisiz olarak enerji sağlanabilecektir. Yapılan optimizasyon çalışması ile akü kapasitesi 90.000 Ah olarak belirlenmiştir.

3.1.4. Panel seçimi

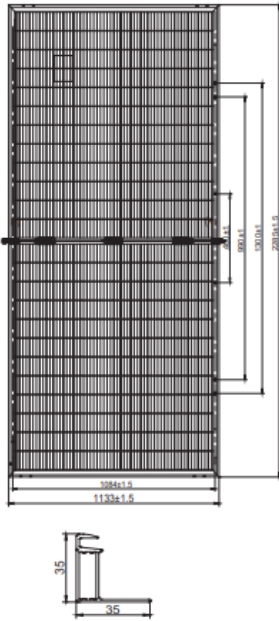
Panel seçimi yapılırken farklı marka ve modellerin panelleri incelenmiş olup; HT Solar firmasının HT72-18X-550 W Çift Yüzlü Şeffaf model paneli kullanılmıştır. Panelin teknik özellikleri incelendiğinde modül verimliliği %21,2 güç çıkışı garantisi 30 yıl olarak verilmiştir.

Tablo 3.5. Panel boyutlandırılması

Fotovoltaik Dizi Boyutu		
Dizayn Eğimi (Enlem$\pm$3°)	24,75	Yıllık
Toplam günlük enerji talebi	160346	Wh
Akü gidiş dönüş verimliliği	0,85	
Gerekli günlük dizi çıkışı (C1/C2)	188642,3529	Wh
Seçilen PV modülün max güç voltajı (STC) (.0.85)	35,6575	V
Seçilen PV modülün garanti güç çıkışı (STC)	467,5	Wh
Uygun eğimdeki tepe güneş zamanı	6,89	Saat
Günlük her modüldeki enerji çıkışı (C5.C6)	3221,075	Wh
Çalışma sıcaklığındaki modül enerji çıkışı (DF.C7)	2898,9675	Wh
Enerji ihtiyacını karşılamak için gerekli olan modül sayısı(C3/C8)	65	modül
Her sıra için gerekli olan modül sayısı (A2/C4)	2	modül
Paralel dizi sayısı (C9/C10)	33	dizi
Satın alınacak modül sayısı (C10.C11)	66	modül
Nominal oranlı PV modül çıkışı	550	W
Nominal oranlı dizi çıkışı (C12.C13)	36300	W

530W/ 535W/540W/545W/550W

Engineering Drawing



Electrical Characteristics

Module	HT72-18X				
Maximum Power at STC(P _{max})	530W	535W	540W	545W	550W
Open-Circuit Voltage(V _{oc})	49.20V	49.35V	49.50V	49.65V	49.80V
Short-Circuit Current(I _{sc})	13.76A	13.83A	13.90A	13.96A	14.00A
Optimum Operating Voltage (V _{mp})	41.35V	41.50V	41.65V	41.80V	41.95V
Optimum Operating Current(I _{mp})	12.83A	12.90A	12.97A	13.05A	13.12A
Module Efficiency	20.5%	20.7%	20.9%	21.1%	21.2%
Power Tolerance	0 ~ +5W				
Maximum System Voltage	1500V DC(UL/IEC)				
Maximum Series Fuse Rating	25A				
Operating Temperature	-40℃ to +85℃				

*STC: Irradiance 1000W/m², module temperature 25, AM=1.5
Optional black frame or white frame module according to customer requirements

BIFACIAL REAR SIDE POWER GAIN

Electrical characteristics with different rear side power gain for reference (reference to 535W front)

Module	HT72-18X		Bifaciality: 70±5%		
Maximum Power	P _{max} Gain	V _{oc} /V	I _{sc} /A	V _{mp} /V	I _{mp} /A
562W	5%	49.35	14.52	41.50	13.54
589W	10%	49.35	15.21	41.50	14.19
615W	15%	49.35	15.90	41.50	14.82
642W	20%	49.35	16.59	41.50	15.47
669W	25%	49.35	17.29	41.50	16.12

*Bifacial gain: the additional gain from the rear side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting structure, height, tilt angle etc. and albedo of the ground.

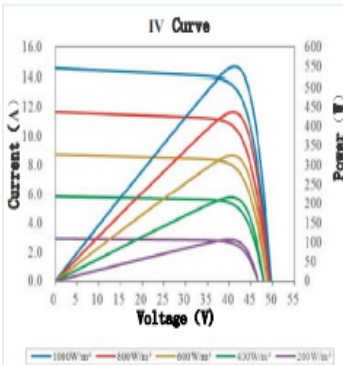
NMOT

Module	HT72-18X				
Maximum Power	396W	400W	404W	408W	412W
Open Circuit Voltage (V _{oc})	45.25V	45.40V	45.55V	45.70V	45.85V
Short Circuit Current (I _{sc})	11.22A	11.29A	11.36A	11.43A	11.50A
Maximum Power Voltage (V _{mp})	37.49V	37.64V	37.79V	37.94V	38.09V
Maximum Circuit Current (I _{mp})	10.56A	10.63A	10.69A	10.75A	10.81A
NMOT	45℃±2℃				

*NMOT: Irradiance 800W/m², ambient temperature 20℃, wind speed 1 m/s

I-V Curves

Current-Voltage & Power-Voltage Curve



Mechanical Characteristics

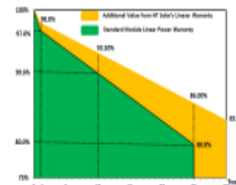
Solar Cells	Monocrystalline 182 × 91 mm
No. of Cells	144 (6 × 24)
Dimensions	2285mm×1133mm×35mm
Weight	27.2kg
Front Glass	High transmission tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction Box	IP68
Cable	4mm ² (UL/IEC) Length: (+) 400mm (-) 200mm/length can be customized
Connectors	MC4 / MC4 Compatible
Packaging Configuration	31pcs / box, 620pcs / 40'HQ Container

Temperature Characteristics

Temperature Coefficient of P _{max}	γ (P _m)	-0.39%/℃
Temperature Coefficient of V _{oc}	β (V _{oc})	-0.29%/℃
Temperature Coefficient of I _{sc}	α (I _{sc})	0.049%/℃

Warranty

12-year product warranty
30-year warranty on power output
Specific information is referred to the product quality guarantee



The module recycling should be carried out by the professional institutions at the the end of module life cycle

Şekil 3.23. Seçilen panelin katalog bilgileri

3.1.5. Evirici seçimi

Şebekeden bağımsız bir sistem tasarlanırken evirici seçimi yapmak için aynı anda çalışabilecek yükler tespit edilerek seçim yapılması doğru olacaktır. Bu durumda eviricinin sağlaması gereken maksimum güç hesaplanmış olur. Tasarlanan sistem için daha önce yaptığımız çalışmalarda maksimum gücün yıl içinde en fazla 45 kW olduğu değerlendirilmiştir. Bu kapsamda maliyet analizi yapabilmek için Arçelik ARCLK-INV-50KT Pro Solar Inverter seçilmiştir. Seçilen eviricinin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Teknik Özellikler

Tip tanımı	ARCLK-INV-50KT Pro
Giriş (DC) Parametreleri	
Maksimum PV dizi gücü (STC)	75.000 Wp
Maksimum giriş voltajı	1.100 V
MPP voltaj aralığı / nominal giriş voltajı	200 V ile 1000 V / 620 V arası
Minimum giriş voltajı	200 V
Başlangıç voltajı	250 V
Maksimum giriş akımı	32 A
Maksimum kısa devre akımı	48 A
Bağımsız MPP girişi sayısı / MPP girişi başı dizi sayısı	5 / 2
Çıkış (AC) Parametreleri	
Nominal güç	50.000 W
Maksimum görünür AC gücü	50.000 VA
Nominal AC voltajı	220 V / 380 V – 230 V / 400 V
AC voltaj aralığı	180 – 305 V / 312 – 528 V
AC şebeke frekansı / aralığı	50 Hz / 45 Hz ile 55 Hz arası
Maksimum çıkış akımı	80,0 A
Ayarlanabilir güç faktörü aralığı	0,8 sn ile 0,8 gecikme arası
Başlangıç fazları	3 / 3-N-PE
Nominal çıkışta harmonik bozulma (THD)	<= %3
Verimlilik ve Koruma	
Maksimum verim / AB verim	%98,6 / %98,3
DC anahtarı	Mevcut
Topraklama arızasını izleme / şebeke izleme	Mevcut / Mevcut
DC ters kutup koruması / AC kısa devre koruması	Mevcut / Mevcut
Tüm kutuplara duyarlı artık akım izleme ünitesi	Mevcut
DC Parafudr	Mevcut
AC aşırı akım koruması	Mevcut
Koruma sınıfı (IEC 62109-1'e uygun) / aşırı gerilim kategorisi (IEC 62109-1'e göre)	I / AC: III; DC: II
Genel Veriler	
Boyutlar (E / Y / D)	670 / 580 / 270 mm
Ağırlık	43,0 kg
Çalışma sıcaklığı aralığı	-25 °C ... +60 °C
Öz tüketim (Gece)	< 1 W
Topoloji	Transformatörsüz
Sogutma konsepti	Aktif Sogutma
Koruma derecesi (IEC 60529'a göre)	IP66
İklim kategorisi (IEC 60721-3-4'e göre)	4K4H
Maks. bağıl nem için izin verilen değer (Yoğuşmasız)	%100
Maksimum çalışma rakımı	3.000 m
Bağlantı Verileri ve Sertifikalar	
DC bağlantı	Phoenix Contact
AC bağlantı	OT konektörü
Montaj türü	Duvara montaj braketli
LED göstergeleri (Durum / Arıza / İletişim)	Mevcut
İletişim arayüzü	Wi-Fi / 4G / RS485
Sertifikalar ve onaylar	CE, EN50549, IEC62109, IEC62116, IEC61727, IEC61683, IEC61100 NR/T 32004

Şekil 3.24. Evirici teknik özellikleri

3.1.6. Jeneratör

Bu çalışmada sistem tasarımı yapılırken karbon salınımının olmaması istenmekte olsa da Orhaneli Gençlik Merkezi Projesinde yangın pompası bulunmaktadır. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğinin ilgili maddesinde “...yangın pompalarının enerji beslemesi güvenilir kaynaktan ve binanın genel elektrik sisteminden bağımsız olarak sağlanır.” hükmü gereği 25 kW gücünde dizel jeneratör tasarımda bulunacaktır.

Güç Çıkış Değerleri	400 VAC	
Standby (ESP)	kVA	35
	kW	28
Prime (PRP)	kVA	32
	kW	25

Şekil 3.25. Dizel Jeneratör Teknik Verileri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılmakta olan Orhaneli Gençlik Merkezi projesinin elektrik enerjisi ihtiyacının fotovoltaiik sistemden karşılanması amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Hesaplanan günlük enerji miktarı 160 kWh olup; Homer programında analiz ve optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Homer programından alınacak sonuçları kıyaslamak amacıyla tez çalışmasının önceki kısımlarında belirlenen ekipmanlar ile de maliyet analizi yapılacaktır.

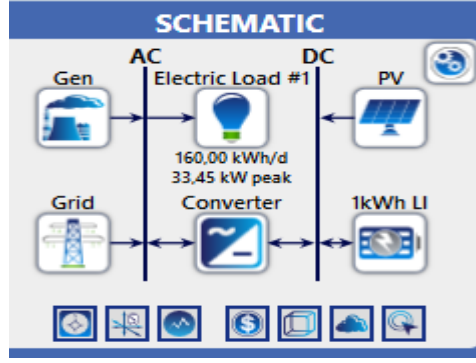
4.1. Homer Analiz Sonuçları

Homer programına kurlum yapılacak olan tesisin konum bilgileri girilerek program içinde gömülü olan NASA veri tabanından iklim verileri alınmıştır.



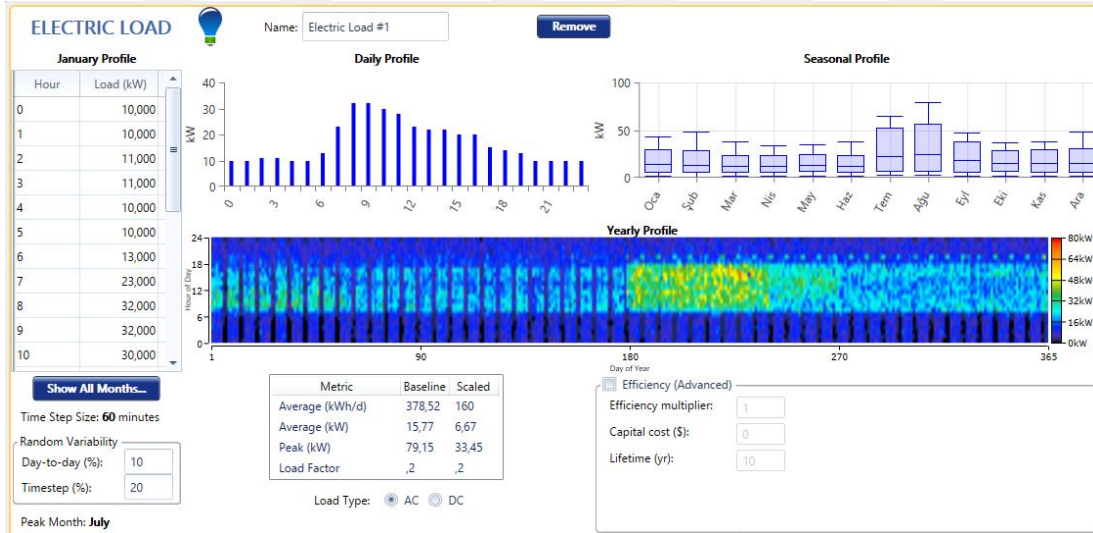
Şekil 4.1. Homer Programına Girilen Proje Konum Bilgisi

Tasarımı yapılan gençlik merkezinin şematik tasarımı yapılmıştır.



Şekil 4.2. Programda Tasarlanan Sistemin Şematik Gösterimi

Daha önce hesaplanan ve benzer nitelikteki tesislerin istatistiksel enerji tüketim verileri de dikkate alınarak hazırlanan yük profili bilgileri aylık ve saatlik olarak Homer programına girilmiştir.



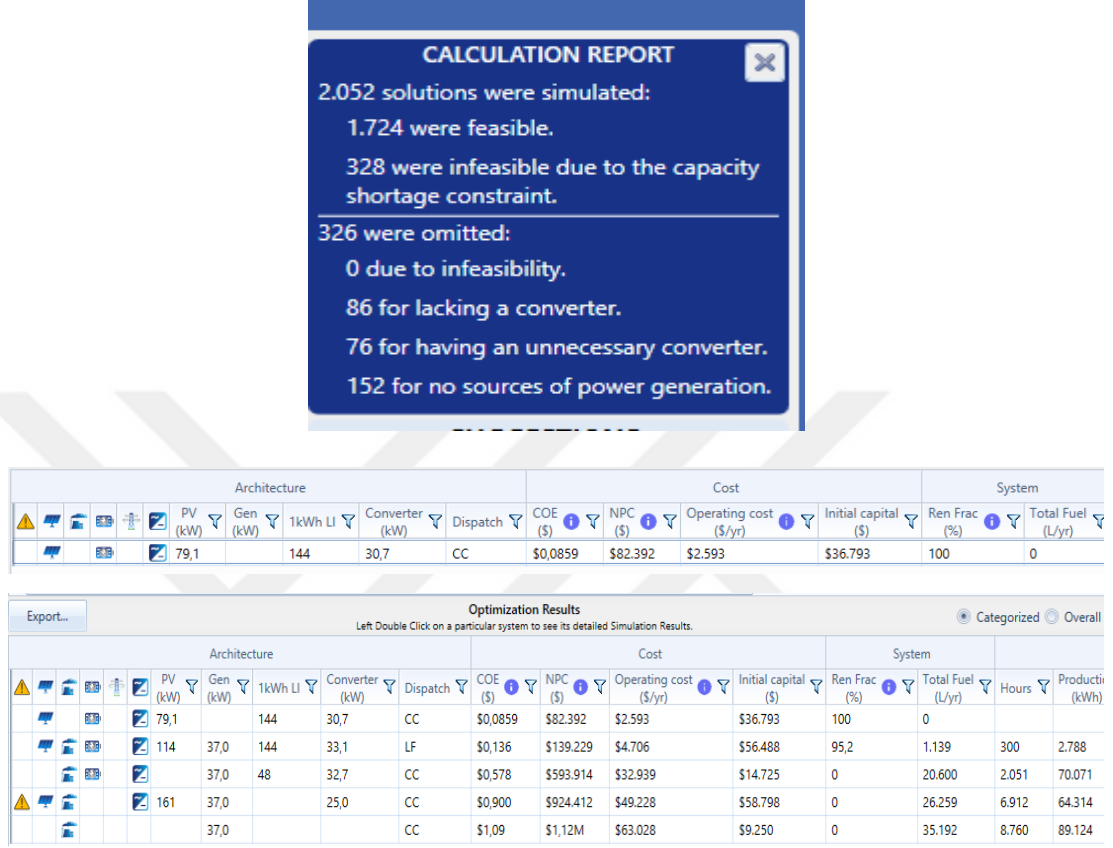
Şekil 4.3. Mevsimsel Yük Profili

Yearly Load Data

Weekdays	Weekends											
Hour	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
1	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
2	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000
3	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000
4	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
5	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
6	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000
7	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	25,000	25,000	23,000	23,000	23,000	23,000
8	32,000	32,000	23,000	23,000	23,000	23,000	35,000	35,000	23,000	23,000	23,000	23,000
9	32,000	32,000	22,000	22,000	22,000	22,000	37,000	37,000	22,000	22,000	22,000	22,000
10	30,000	30,000	22,000	22,000	22,000	22,000	40,000	40,000	27,000	22,000	22,000	22,000
11	28,000	28,000	21,000	21,000	21,000	21,000	40,000	40,000	27,000	21,000	21,000	21,000
12	23,000	23,000	20,000	20,000	20,000	20,000	40,000	40,000	30,000	21,000	21,000	21,000
13	22,000	22,000	17,000	17,000	17,000	17,000	38,000	38,000	32,000	20,000	20,000	20,000
14	22,000	22,000	20,000	20,000	20,000	20,000	42,000	42,000	32,000	20,000	20,000	20,000
15	20,000	20,000	22,000	22,000	22,000	22,000	44,000	45,000	28,000	24,000	24,000	24,000
16	20,000	20,000	22,000	22,000	22,000	22,000	41,000	45,000	28,000	24,000	24,000	24,000
17	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	35,000	35,000	23,000	22,000	22,000	22,000
18	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	15,000	15,000	15,000	13,000	13,000	13,000
19	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000
20	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
21	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
22	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
23	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000

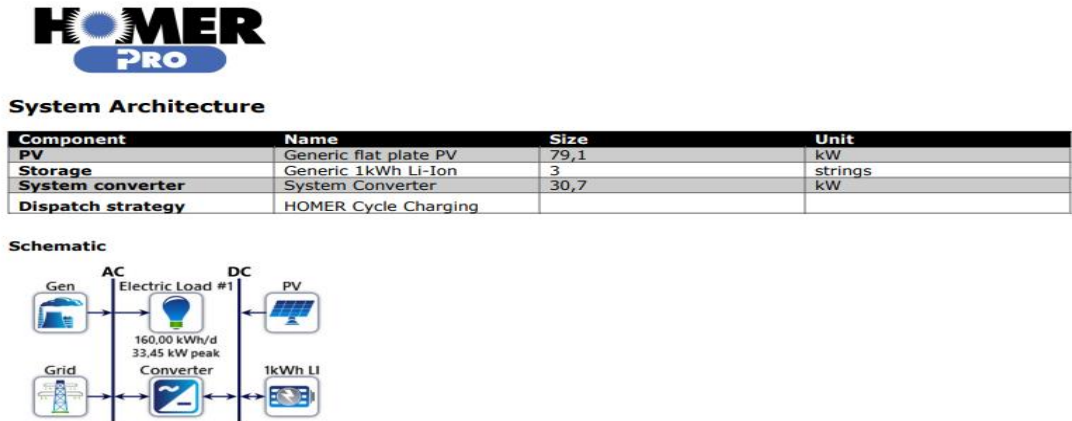
Şekil 4.4. 24 Saatlik Yük Dağılımı

Oluşturulan yük profiline göre Homer programında 2052 adet senaryo üzerinden simülasyon yapılmış olup; 1724 adet çözümün uygulanabilir olduğu değerlendirilmiştir. Yapılan simülasyon ve optimizasyon sonuçları aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.5. Simülasyon Sonuçları

Homer programında tarafından simülasyon ve optimizasyon çalışmaları ile sistem 79,1 kW kapasitesinde PV panel, 144 kWh kapasitesinde Li-Ion batarya ve 30,7 kW kapasitesinde evirici bulundurmaktadır.

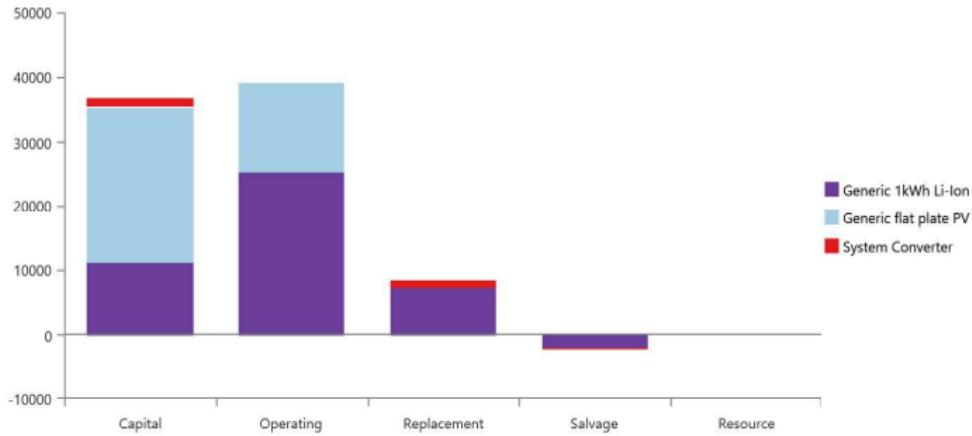


Şekil 4.6. Simülasyon Sonuçları

Yapılan tasarımda sistemin ilk kurulum maliyeti 36.793,00\$ olarak hesaplanmış olup; 11.520,00\$ batarya maliyeti, 23.736,00\$ fotovoltaik panel maliyeti, 1.537,00\$ evirici maliyeti olarak hesaplanmıştır. 25 yıllık sistem ömrüne göre yapılan tasarımda bataryaların 15 yıllık ekonomik ömrü olduğu öngörülmüş buna bağlı olarak değiştirilme ve işletme maliyeti 32.810,00\$ olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik panellerin 25 yıl içindeki bakım ve işletme maliyeti 13.912,00\$ olarak hesaplanmıştır. Eviricilerin ise işletme ve bakım maliyeti 999,39\$ olarak hesaplanmıştır. Bakım onarım ve yapılacak değişimler sonucu hurdaya çıkacak batarya ve eviricilerden 2.123,00\$ gelir elde edileceği hesaplanmaktadır. 25 yıllık zaman zarfında hesaplanan toplam kurulum ve işletme maliyeti 82.392,00\$ değerindedir.



Cost Summary



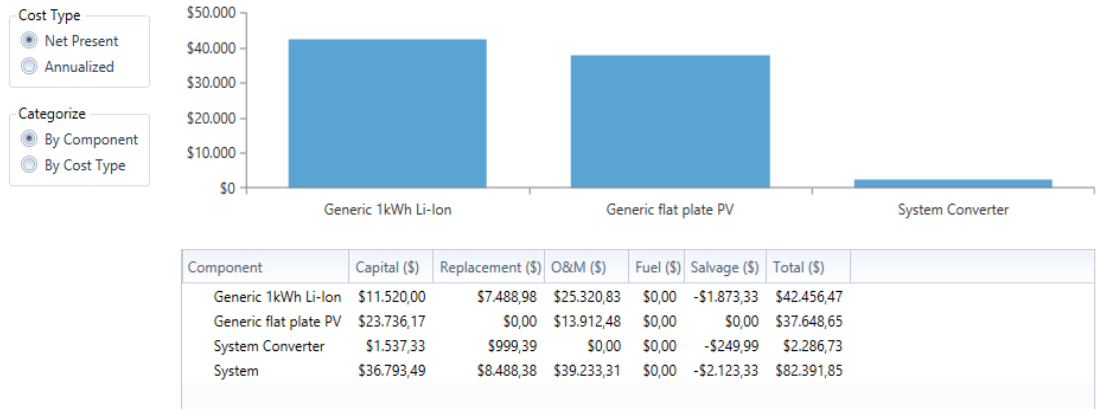
Net Present Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 1kWh Li-Ion	\$11,520	\$25,321	\$7,489	-\$1,873	\$0,00	\$42,456
Generic flat plate PV	\$23,736	\$13,912	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$37,649
System Converter	\$1,537	\$0,00	\$999,39	-\$249,99	\$0,00	\$2,287
System	\$36,793	\$39,233	\$8,488	-\$2,123	\$0,00	\$82,392

Annualized Costs

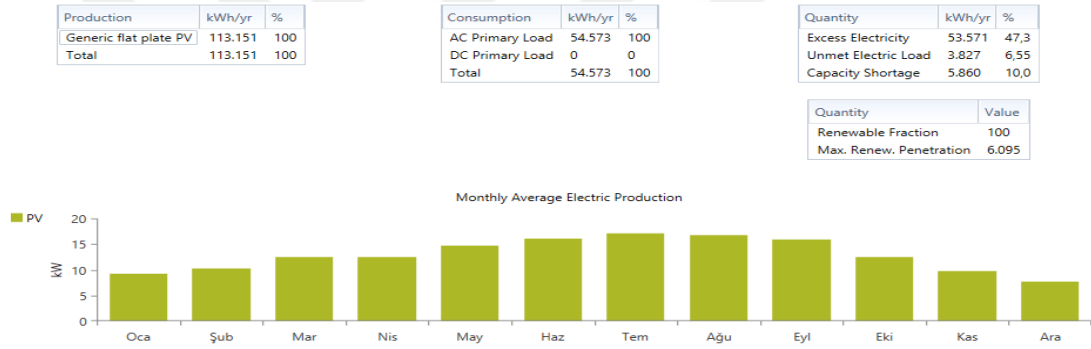
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 1kWh Li-Ion	\$655,14	\$1,440	\$425,90	-\$106,54	\$0,00	\$2,415
Generic flat plate PV	\$1,350	\$791,21	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$2,141
System Converter	\$87,43	\$0,00	\$56,84	-\$14,22	\$0,00	\$130,05
System	\$2,092	\$2,231	\$482,74	-\$120,75	\$0,00	\$4,686

Şekil 4.7. Optimizasyon Maliyet Sonuçları



Şekil 4.8. Simülasyon Maliyet Analizi

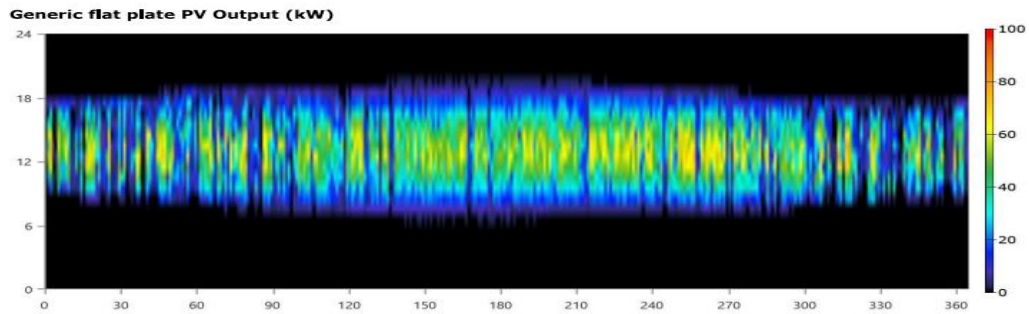
Programda hesaplanan verilere göre fotovoltaik panellerden yıllık ortalama 113.151 kW elektrik enerjisi üretilmektedir ve ihtiyacın tamamı panellerden karşılanmaktadır.



Şekil 4.9. PV Panellerden Üretilen Elektrik Enerjisinin Aylık Görünümü

Generic flat plate PV Electrical Summary		
Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	82,1	kW
PV Penetration	194	%
Hours of Operation	4,394	hrs/yr
Levelized Cost	0,0189	\$/kWh

Generic flat plate PV Statistics		
Quantity	Value	Units
Rated Capacity	79,1	kW
Mean Output	12,9	kW
Mean Output	310	kWh/d
Capacity Factor	16,3	%
Total Production	113,151	kWh/yr

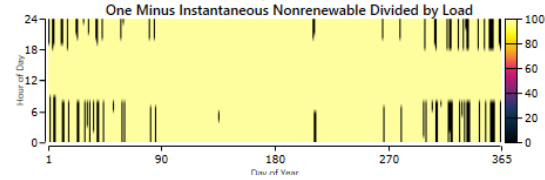
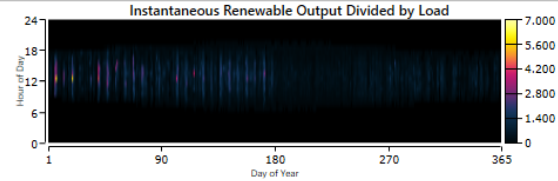
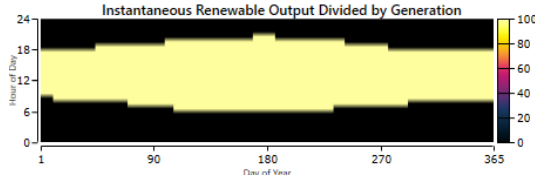


Şekil 4.10. PV Panellerin Çıkış Grafiği

Capacity-based metrics	Value	Units
Nominal renewable capacity divided by total nominal capacity	100	%
Usable renewable capacity divided by total capacity	100	%

Energy-based metrics	Value	Units
Total renewable production divided by load	207	%
Total renewable production divided by generation	100	%
One minus total nonrenewable production divided by load	100	%

Peak values	Value	Units
Renewable output divided by load (HOMER standard)	6.095	%
Renewable output divided by total generation	100	%
One minus nonrenewable output divided by total load	100	%



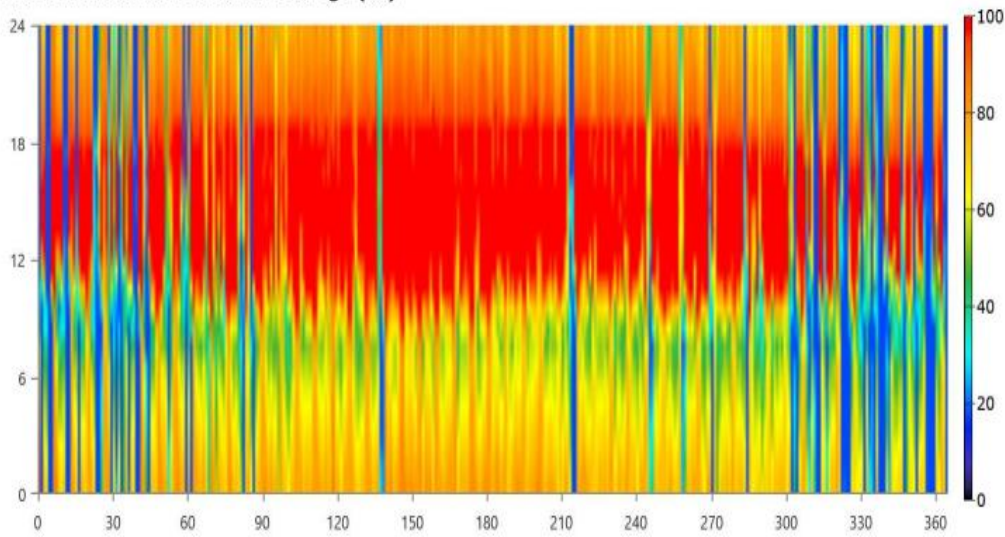
Şekil 4.11. Batarya Boyutlandırılması

Program tarafından yapılan boyutlandırma ve optimizasyon çalışmaları sonucu batarya otonomisi 17,3 saat olarak hesaplanmıştır. Bataryaların nominal kapasitesi 144kWh, kullanılabilir nominal kapasitesi 115 kWh olarak hesaplanmıştır. Bataryaların şarj grafiği aşağıdaki gibidir.

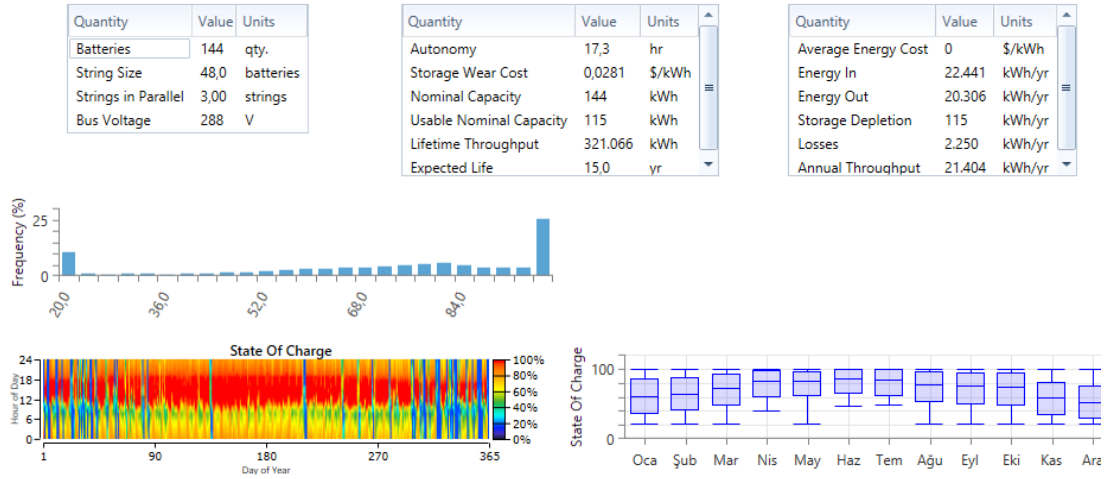
Generic 1kWh Li-Ion Statistics

Quantity	Value	Units
Autonomy	17,3	hr
Storage Wear Cost	0,0281	\$/kWh
Nominal Capacity	144	kWh
Usable Nominal Capacity	115	kWh
Lifetime Throughput	321,066	kWh
Expected Life	15,0	yr

Generic 1kWh Li-Ion State of Charge (%)



Şekil 4.12. Batarya Şarj-Deşarj Grafiği



Şekil 4.13. Batarya Sistem Detayı

Şebekeden bağımsız olarak yapılacak sistem tasarımında dikkate alınması gereken önemli bir unsurda yapılacak olan sistemin şebekeden uzaklığının belirlenmesi buna bağlı olarak da şebekeden enerji getirilmesinin maliyetinin hesaplanmasıdır. Yapılması planlanan kamu alanının enerji nakil hattına uzaklığı 3,17 km olarak tespit edildiğinden, enerji nakil hattı tesis edilmesi ve devreye alınması kamu marifeti ile yapılacak ve tüm masraflar kamu tarafından karşılanacaktır. Enerji sistemi tasarımında, öncelikli olarak enerji nakil hattına olan uzaklığına bağlı yatırım maliyeti dikkate alınmış ve bölgenin enerji kaynaklarından faydalanılarak enerji sistemi tasarımı ve analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.14. Şebeke Kurulum Maliyet Eğrisi

Yapılan optimizasyon çalışması sonucunda piyasadan ve ilgili kurumların pozlarından alınan kilometre başına şebekeden elektrik enerjisi getirilmesi maliyeti eğrisi ile şebekeden bağımsız tasarlanan sistemin maliyet eğrisine göre; 3,39 km mesafeden sonra şebekeden bağımsız sistem yapılmasının ekonomik olarak daha faydalı olduğu görülmektedir.

4.2. Piyasa Koşullarına Göre Sistem Boyutlandırılması ve Ekonomisi

Tezin önceki kısımlarında hesaplanan yük profiline göre yapılan boyutlandırma çalışması ve piyasa maliyetleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 4.1. Piyasa koşullarına göre hesaplanan sistem maliyeti

SİSTEM MALİYETİ	FİYAT	ADET	TOPLAM
PV PANEL (HT72-18X550W Bifacial Transparant)	5100	66	336600
AKÜ (Tommatech 24V 200A Lityum)	41300	85	3510500
İNVERTER (ARCLK-INV-50KT Pro Solar)	110000	2	220000
GENEL TOPLAM (TL)			4067100 TL

Toplam maliyet piyasa koşullarına göre 4.067.100,00 TL olarak hesaplanmıştır. Günümüz dolar kuruna göre toplan sistem maliyeti 141.908,58\$ olarak hesaplanmıştır. Piyasadan alınan ve optimizasyon yapılmadan hesaplanan sistem maliyeti akü otonomi zaman değerinin optimizasyon sonuçlarının 2 katından fazla olması sebebiyle maliyetinin yüksek çıktığı gözlemlenmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişen teknoloji ile birlikte ülkelerin enerji ihtiyaçları günden güne artmaktadır. Yakın gelecekte dünyanın kurulu gücünün 2 katına çıkacağı öngörülmektedir. Bu durum tüm dünyada enerji yatırımlarının artacağı anlamına gelmektedir. Fosil yakıt rezervlerinin her geçen gün azaldığı ve ekolojik sisteme verdikleri zararlar göz önünde bulundurulduğunda gelecekteki enerji talep ve ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da artmaktadır. Yapılan akademik çalışmalar göstermiştir ki güneş, rüzgar, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli yüksek olmakla birlikte gelecekte yaşanabilecek enerji krizlerinde yatırım yapan ülkelere avantaj sağlayacaklardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli sorunu günün her saatinde aynı düzeyde ve devamlı şekilde enerji sağlayamamalarıdır. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak bu olumsuzluklar farklı enerji kaynaklarının birbirini ikame edebilecek şekilde birlikte çalıştırılması ve farklı depolama yöntemleri geliştirilmesi ile birlikte enerji üretim maliyetlerinin düşürülmesi sağlanabilecektir. Günümüz koşullarında enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlandığı şebekeden bağımsız sistemlerdeki en büyük maliyet enerji depolamak amacıyla kullanılan akü maliyetleridir.

Tez çalışmasının ilk kısmı olan “ Bor Katkısının InP Nanokristaline Etkisinin İncelenmesi” kısmında bor katkılı nanokristal InP filmlerinin büyütülmesi için basit ve düşük maliyetli olan kimyasal püskürtme tekniği kullanılmıştır. Tüm filmler 500°C taban sıcaklığında farklı bor katkılı cam alt tabanlar üzerinde elde edilmiştir. Filmlerin katkılanması için başlangıç püskürtme çözeltisine 0,2 M, 0,3 M, 0,6 M ve 0,9 M oranlarında borik asit çözeltisi eklenmiş ve en iyi filmin 0,6 M borik asit eklenerek oluştuğu gözlenmiştir. Farklı düzlemlerdeki X-ışını yansıma tepe noktalarına göre incelenen tüm filmler polikristaldır. Piklerin yoğunluğu ve kristal yönelimleri bor katkısına bağlıdır. Kırınım deseninin (111) ve (200) düzlemleri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm filmler (200) düzleminde tercihli bir yönetime sahiptir. 0,6 M bor katkısına kadar tüm piklerin yoğunluğunun arttığı görülürken, 0,9 M bor katkısında ise piklerin yoğunluğunun azaldığı gözlenmiştir. 0,6 M borik asit katkısına kadar filmlerin tane boyutunda ve Hall mobilite değerinde artış, mikrogerilim değerinde ise azalma görülmektedir. Mikrogerilimdeki bu tür bir değişiklik, polikristal filmlerde tane botunun büyümesi ve yeniden kristalleşme sürecinin sonucu olabilir. Daha sonra bor

katkısı 0,6 M değerini aştığında nanokristal InP film piklerinin yoğunluğu azalır ve kristal yapının bozulmasına ve tane boyutunun küçülmesine bağlı olarak bu pik daha geniş hale gelir. Bunun sonucu olarak, filmlerin tane boyutunda ve Hall mobilite değerinde azalma, mikrogерilim değerinde ise artma görülmüştür. Bor katkısının nanokristal InP filmlerinin kristal yöneliminde önemli bir değişikliğe neden olduğu ve nanokristal InP filmlerinin mikro yapısını etkili bir şekilde değiştirdiği sonucuna varabiliriz. Katkısız ve bor katkılı nanokristal InP filmlerin hesaplanan elektriksel özdirenç değerlerine göre, bor katkısının 0,6 M'ye kadar, kristalliğin artması nedeniyle taşıyıcı saçılma işleminin büyük ölçüde zayıflamasından kaynaklanan özdirenç değeri düşmektedir. Ayrıca, kristalliğin iyileştirilmesi nedeniyle taşıyıcı saçılma sürecinin büyük ölçüde zayıflamasından kaynaklanan Hall hareketlilik değerleri de artar. Hall hareketliliğinin artması, tane boyutunun artmasına ve ardından tane sınırlarının daralmasına bağlı olarak özdirencin azalmasına neden olur. Bor katkısının 0,6 M'den fazla artması, elektriksel özelliklerde hafif bir bozulmaya neden olmuştur.

Sonuç olarak, nanokristal InP filmlerinin yapısal, elektriksel özelliklerinin ve kristalliğinin iyileşmesi için en uygun borik asit içeriğinin 0,6 M katkısının olduğu ve bununla birlikte, 0,6 M katkı ile büyütülmüş nanokristal InP filmleri, optoelektronik cihazların üretilmesinde InP bazlı heteroyapının oluşumu için yararlı olacağı sonucuna varılmıştır.

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki belirli oranlarda bor katkısının InP nanokristalinin mikrogерilim değerlerinde azalma sağladığı, elektriksel özdirencini düşürdüğü, tane boyutunun büyümesine neden olduğu ve iletkenliği arttırdığı, kristal yapıda iyileşme sağladığı görülmektedir. Dolaylı olarak belirli oranda bor katkılı üretilen güneş hücrelerinin veriminin artacağı buna bağlı olarakta amortisman sürelerinin kısalaabileceği değerlendirilmektedir.

Tez çalışmasının ikinci kısmında ise Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından Orhaneli İlçesine imal edilen Gençlik Merkezi için şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistem tasarımı boyutlandırması ve maliyet analizi yapılmıştır. Homer programı ile yapılan simülasyon ve optimizasyon çalışmalarında fotovoltaiik sistem maliyeti 36.793,00\$ olarak hesaplanmıştır. Elektrik enerjisinin tamamı güneş enerjisinden sağlanacak ve fosil yakıt kullanımı olmadığı için ekolojik sisteme zararı olmayacaktır. Tamamen çevreci olarak tasarlanan sistemde elektrik enerjisinin kW başına maliyeti 0,0859\$

olarak hesaplanmıştır. 25 yıllık kurulum ve işletme maliyetleri toplamda 82.392,00\$ olarak hesaplanmıştır. Kurulacak olan gençlik merkezi şebekeden yaklaşık 3.17 km uzaklıkta tesis edilecek olup; Homer programında 3,39 km uzaklığa kadar şebekeden enerji alınmasının ekonomik olduğu değerlendirilmiştir. 3,39 km mesafeden sonra enerji hattı için kazılar yapılması, kesici, ayırıcı, trafo yapımı, bakım ve onarımı gibi maliyet kalemlerinden dolayı şebekeden bağımsız sistem tesis edilmesinin ekonomik olarak daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda sistemin şebeke ile birlikte çalışacak şekilde tesis edilmesi durumunda; kurulum maliyeti 25.565\$ olarak hesaplanmıştır. 25 yıllık işletme maliyetleri ile birlikte toplam 76.250,00\$ olan sistemin yenilenebilir enerji fraksiyonu %91,5 olarak öngörülmüştür. Sistemin şebeke ile birlikte çalışması durumunda kW başına elektrik enerjisi maliyeti 0,0594\$ olacaktır. Yapılan bir diğer senaryoda ise sistemde 37kW gücünde jeneratör, 114kW gücünde PV panel, 144 kW gücünde batarya, 33,1 kW gücünde evirici ile tasarım yapılmıştır. Bu durumda sistem kurulum ve 25 yıllık işletme maliyeti 139.229\$ olarak hesaplanmaktadır. Yenilenebilir enerji fraksiyonu %95,2 olup; enerji birim maliyeti 0,136\$ olarak hesaplanmaktadır. Günümüz piyasa koşullarında EPDK tarafından belirlenen elektrik enerjisi birim maliyeti kamu ve özel hizmetler sektörü için 30 kWh'e kadar 3,37 TL günümüz dolar kuru ile 0,117\$, 30kWh'ten sonra olan tüketimi 4,47 TL günümüz dolar kuru ile 0,155\$'dır. Tasarımı yapılan gençlik merkezinin günlük enerji tüketimi 160 kWh olarak hesaplanmış olup günlük fatura bedeli 714,1 TL güncel kur (28,80TL) ile 24,75\$, aylık tüketim bedeli 832,5\$ olarak hesaplanmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemin kurulum ve 25 yıllık işletme maliyeti 82.391,39\$ olduğu düşünüldüğünde amortisman süresi yaklaşık 98 ay olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada elektrik enerjisi fiyatı bugünkü ekonomik değerinden hesaplandığı için ülkedeki enflasyon oranı da dikkate alındığında amortisman süreleri hesaplanandan çok daha kısa olacaktır. Şebeke ile birlikte çalışacak şekilde %91,5 oranında yenilenebilir enerji fraksiyonuna sahip sistem tasarımı yapılması durumunda amortisman süreleri 90 aya kadar düşmekte olup; enflasyon verileri de değerlendirildiğinde 72 ay seviyelerine düşmektedir. Hesaplamalar ve değerlendirmeler mevcut piyasa koşullarında üretilen güneş panelleri ile yapılmıştır. Yaptığımız teorik çalışmalar göstermiştir ki belirli oranlarda bor katkısının güneş hücrelerinin verimini arttırabilir. Verimin artması güneş panellerinden üretilecek elektrik enerjisini arttıracak buna bağlı olarak kullanılan panel

sayısı ve sistem maliyeti azalacaktır. Aynı zamanda dünya bor rezervlerinin büyük oranda ülkemizde çıktığı düşünüldüğünde bu alanda yapılabilecek teknolojik gelişme ve çalışmaların makro düzeyde ülke ekonomisine olumlu katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Farklı kombinasyonlarda yapılan hesaplamalar göstermektedir ki yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisinin sağlanması uzun vadeli yatırım yapan kurum ve işletmeler için avantaj sağlamaktadır. Fakat ilk kurulum maliyetleri yüksek olduğundan kurum ve işletmeler yatırım yapma konusunda çekingen davranmaktadır.

Özellikle kamusal alanda hizmet veren belediye, il özel idaresi gibi kurum ve kuruluşların seçim dönemleri 5 yıl gibi kısa sayılabilecek sürelerdir. Dolayısıyla amortisman süreleri seçim döneminden uzun olan yatırımlar yapmaktan imtina etmektedirler. Bu gibi olumsuz durumların önüne geçilebilmesi amacıyla “Kamu Binalarında Enerji Tasarrufu Genelgesi” yayımlanmış olup kamu kurum ve kuruluşlarında %15 olan enerji tasarrufu hedefi 04.11.2023 tarihinde yapılan düzenleme ile 2030 yılına kadar %30 olacak şekilde güncellenmiştir. Her ne kadar hedefler arttırılmış olsa da kamu kurumlarında yenilenebilir enerji yatırımlarının arttırılması amacıyla teşvik ve destekleme çalışmaları yapılmalıdır. Ayrıca ülkemizin yenilenebilir enerji mevzuatı dağınık olduğundan mevzuatın güncellenmesi ve toparlanması için çalışmalar yapılmalıdır.

Merkezi bölgelerde bulunan kamu kurum ve kuruluşlarına kurulacak olan güneş enerjisi sistemlerinin hafta içi mesai saatlerinde genel ihtiyacı karşılamak için boyutlandırılması, fazladan üretilen enerjinin depolanması için kritik yük tespiti yapılması kurulum maliyetlerini düşürecektir. Hafta sonu yapılan üretimlerin araç filosuna katılacak elektrikli araçların şarj edilmesi için kullanılabileceği, engelli araçlarının şarj edilmesi için sosyal sorumluluk projeleri geliştirilebileceği değerlendirilmektedir.

Özellikle kamuya hizmet veren binalarda çalışma saatlerinin 08:00-17:00 olduğu mesai saatleri dışında tüketimin minimum düzeyde olduğu görülmektedir. Bu bağlamda şebekeye bağlı hibrit sistem tasarımı yapıldığında ilk kurulum maliyetlerinin düşük olduğu da değerlendirilerek güneş enerjisinden elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasının ekonomik olduğu, merkezi idare tarafından yerel yönetim birimlerine teşvikler sağlanmasının ülke ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Aksoy. F, “*Kimyasal Püskürtme Yöntemiyle Elde Edilen InP İnce Filmlerinin Elektrik, Optik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi*,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde Üniversitesi, Niğde, 2005, 167928.
- [2] Dahlberg. S.C, “*Photovoltage Studies on n-Type InP(100)*”, Surface Science, 60(1), 231-238, 1976.
- [3] A. Hooper, B. Tuck, “*The Electrical Properties of Zinc Diffused Indium Phosphide*,” Solid-State Electronics, vol. 19, no. 6, 513-517, 1976.
- [4] L.P. Erickson, A. Waseem, G.Y. Robinson, “*Characterization of Ohmic Contacts to InP*,” Thin Solids Films, vol. 64, no. 3, 421-426, 1979.
- [5] M. Yamaguchi, A. Yamamoto, N. Uchida, C. Uemura, “*A New Approach for Thin Film InP Solar Cells*,” Solar Cells, vol. 19, no. 1, 85-96, 1986.
- [6] K.K. Chattopadhyay, A. Dhar, S. Chaudhuri, A.K. Pal, “*Scattering Process in Polycrystalline InP Films*,” Thin Solid Films, vol 208, 100-105, 1992.
- [7] P. Miska, J. Even, C. Parantohen, O. Dehaese, H. Folliot, S. Loualiche, M. Senes, X. Marie, “*Optical Properties and Carrier Dynamics of InAs/InP Quantum Dots Emitting Between 1.3 and 1.5 μm for Laser Applications*,” Physica E:Low Dimensional Systems and Nanostructures, vol. 17, 56-59, 2003.
- [8] Temiz. M, “*Investigation Of Structural, Optical And Electrical Properties Of Undoped And Boron Doped Indium Oxide Films Growth By Spray Pyrolysis Technique*,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, 2021, 682081.
- [9] Salımı. A, “*Analysis of Boron Doped Hydrogenated Amorphous Silicon Carbide Thin Film for Silicon Heterojunction Solar Cells*,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ortadoğu teknik Üniversitesi, Ankara, 2019, 600236.
- [10] Rasul. A.D., “*Characteristics Of The Boron Doped Cdse Films Deposited By Spray Pyrolysis Method*,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, 2017, 457156.
- [11] Tunç. A, “*Investigation Of The Characteristics Of The Boron Doped Mno Films Deposited By Spray Pyrolysis Method*,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, 2017, 382678.
- [12] Karaca. G, “*Bor Katkılı Cds İnce Filmlerine Ve Cds/Cu₂s Güneş Pillerinin Fotovoltaik Parametrelerine Ultraviyole Işınımının Etkisi*,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, 2015, 392446.
- [13] Ertap. H, “*Saf ve Bor Katkılı İndiyum Selenit (Inse) Tek Kristallerinin Bridgman Yöntemiyle Büyütülmesi, Yapısal, Optik, Elektriksel Ve*

Fotolüminesans Özelliklerinin Araştırılması,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kafkas Üniversitesi, Kars, 2015, 395723.

- [14] E. Isen, M. Kutluca, “*Design and Implementation of Off-Grid Micro Solar Power Plant,*” *Electronic Letters on Science Engineering*, vol. 17, no. 1, 2021.
- [15] N. Orhan, S. Şahin, “*Bir Besi Çiftliğinde Güneş Enerji Sisteminin Uygulanması ve Ekonomik Analizi,*” *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, vol. 9, no. 1, 33-40, 2022.
- [16] A. Etcı, A.K. Bilhan, “*PVSyst ile Konya İlinde Sabit ve Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Modellenmesi,*” *European Journal of Science and Technology*, vol. 32, 142-147, 2021.
- [17] Z. Er, “*Solar Radiation Forecasts and a Tiny House PV Off-Grid System,*” ,” *European Journal of Science and Technology*, vol. 47, 7-12, 2023.
- [18] M.Y. Kılıç, S. Adalı, “*Güneş Enerjisi Kullanılarak Bir Villanın Elektrik İhtiyacının Karşıllanması,*” *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 28, no. 1, 121-130, 2023.
- [19] S. Barua, R.A. Prasath, “*Rooftop Solar Photovoltaic System Design and Assessment for the Academic Campus Using PVSyst Software,*” *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, vol. 5, no. 1, 76-83, 2017.
- [20] B.A. Akgül, F. Alisinanoğlu, S. Özyazıcı, M.F. Hasoğlu, B. Haznedar, “*Analysis of transportable off-grid solar power generation for rural electricity supply: an application study of Sanliurfa, Turkey,*” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 29, no. 5, 458-467, 2023.
- [21] O. Arıkan, E. İşen, B. Kekezoğlu, “*Performance analysis of stand-alone hybrid (wind-photovoltaic) energy system,*” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol.25, no. 5, 571-576, 2019.
- [22] H. Çınaroğlu, Y. Önal, “*Performance Analysis Of Different Solar Tracking Systems For OffGrid Photovoltaic Power System İn Bilecik, Turkey Using Pvsyst Software,*” *Journal of Scientific*, vol 51, 192-210, 2022.
- [23] Y.S. İşler, M. Salihmuhsin, “*Şebekeden Bağımsız PV Sistemin TRNSYS ile Gerçek Zamanlı Modellenmesi,*” *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 21, no. 1, 66-76, 2018.
- [24] D. Dey, B. Subudhi, “*Design, simulation and economic evaluation of 90 kW grid connected Photovoltaic system,*” *Energy Reports*, vol. 6, 1778-1787, 2020.
- [25] C.Suda, B. Metin, K. Cengiz, E. Er, M. Ögün, K. Topçuoğlu, “*Pv Güç, Sistemi Modellemesi,*” *Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi*, vol. 3, no. 1, 71-71, 2016.
- [26] B. Wittmer, A. Mermoud, T. Schott, “*Analysis Of Pv Grid Installations Performance, Comparing Measured Data To Simulation Results To Identify*

Problems In Operation And Monitoring,” European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 14-18 September 2015.

- [27] İ. İçgül, E. Tüysüzoğlu, M.Z. Yakut, “*PV Çatı Uygulaması için Enerji Hesaplaması ve Ekonomik Analizi,*” Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol. 18, no. 2, 1-6, 2014.
- [28] Emo, EMO Elektrik Enerjisi Raporu 2016-2017. 1. Baskı, EMO Yayın No: GY/2018/718, Ankara, Mart 2018
- [29] K.Kaya, M.C. Şenel, E.Koç, “*Dünyada Ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi,*” Technological Applied Sciences, vol. 13, no. 3, 219-234, 2018.
- [30] S.Özbektaş, M.C.Şenel, B.Sungur, “*Dünyada Ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Durumu Ve Kurulum Maliyetleri,*” Mühendis ve Makine, vol. 64, no. 711, 317-351, 2023.
- [31] M.Kalkan, “*Türkiye’de Enerji Politikaları Ve Enerji Özelleştirmeleri,*” Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2011, 303566.
- [32] Ş.Ulus, “*Güneş Enerjisi Santrallerinin Türkiye Ekonomisindeki Yeri Ve Önemi: Karapınar Yeka-1 Güneş Enerjisi Santrali Üzerine Bir Saha Araştırması,*” Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, 2022, 767642.
- [33] N.Bilim, “*Türkiye’nin Elektrik Enerjisi Üretimindeki Dışa Bağımlılığın Azaltılması İçin Uygulanması Gereken Politikalar,*” Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 4, no. 2, 145-154, 2016
- [34] M.Çiftçi, “*Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisi Potansiyeli Ve Yerel Yönetimlerde Kullanımının Swot Analizi. Örnek: Bursa Gürsu Belediyesi,*” Yüksek Lisans Tezi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2015, 423203.
- [35] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-petrol> (Erişim Tarihi:03.10.2023 11:08).
- [36] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-dogalgaz> (Erişim Tarihi 09.10.2023 16:26).
- [37] Ö.Emre, “*Isparta İli İçin Güneş Enerjisi Santrali (Fotovoltaik) Çatı Uygulamasından Elde Edilen Saha Verileri İle Simülasyon Verilerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi,*” Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta, 2023, 813109.
- [38] G.Eroğlu, M.Şahiner, “*Dünyada ve Türkiye’de Uranyum ve Toryum,*” Eylül 2017 MTA Genel Müdürlüğü.

- [39] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-nukleer-enerji> (Erişim Tarihi 05.10.2023 15:45).
- [40] B.Albayrak, “*Elektrik Enerjisi Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ve Finansmanı : Bir Uygulama,*” Doktora Tezi, Kadir Has Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2011, 279937.
- [41] B.Yakşı, “*Bursa İli Kıyı Şeridi Rüzgar Enerjisi Potansiyel Analizi,*” Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018, 527662.
- [42] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (Erişim Tarihi 10.10.2023 11:20).
- [43] T.Biçen, “*Güneş Panelleri İle Elektrik Üretiminin Teknik Ve Ekonomik Analizi: Bursa Örneği,*” Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2018, 540890.
- [44] <https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study?c=28.304381,-31.992188,2> (Erişim Tarihi 10.10.2023 13:26).
- [45] M.Ceylan, “*Kampüs Binalarında Şebekeden Bağımsız Bir Çatı Üstü Fotovoltaik Sistem Tasarımı Ve Benzetimi,*” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2018, 513510.
- [46] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar> (Erişim Tarihi 10.10.2023 15:30).
- [47] Çukurçayır. M.A, Sağır. H, “*Enerji Sorunu, Çevre Ve Alternatif Enerji Kaynakları,*” Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, vol. 20, 257- 278, 2008.
- [48] Akkurt. Ş, Oğuz. M, “*Kayseri İlinin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli,*” Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimler Dergisi, vol. 6, no. 2, 362-374 2017.
- [49] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle> (Erişim Tarihi 11.10.2023 13:40).
- [50] <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/komur-arama-arastirmalari> (Erişim Tarihi 11.10.2023 14:10).
- [51] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik> (Erişim Tarihi 11.10.2023 14:50).
- [52] M.Yılmaz, “ , ” Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, vol. 4, no. 2, 33-54, 2012.
- [53] <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/bolgeler/TURKIYE-GENELI.pdf> (Erişim Tarihi 11.10.2023 16:35).
- [54] <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> (Erişim Tarihi 12.10.2023 10:40).

- [55] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (Erişim Tarihi 12.10.2023 10:40).
- [56] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-jeotermal> (Erişim Tarihi 12.10.2023 13:15).
- [57] M.H.Girgin, “*Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw’lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi*”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2011, 333077.
- [58] İ.T. İnce, “*Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretiminde Örnek Uygulamalar*,” Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi, İstanbul Arel Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, vol. 1, no. 1, 1-10, 2021.
- [59] F.Ç. Kılıç, “*Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri*,” Mühendis ve Makine, vol. 56, no. 671, 28-40, 2015.
- [60] A.Etci, “*PVSYST Programı İle Modellenen Konya Ve Van İllerinde Ges Santrallerinin Üretim Verilerinin Karşılaştırılması*,” Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, 2022, 742665.
- [61] Altın. M, “*Yeni Yapı Malzemesi Fotovoltaik Paneller, Özellikleri Ve Tarihçesi*,” II. Ulusal Yapı Malzemesi Sergisi ve Kongresi, Ekim, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 87–97, 2004.
- [62] N.N. Aksangör, “*Ankara Şartlarında Bir Fotovoltaik Sistemin Pvsyst Programı Yardımı İle Performans Analizi*,” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2019, 567917.
- [63] M.S. Çınaroğlu, “*Kilis 7 Aralık Üniversitesinde Kurulacak Bir Ges Projesinin Pvsyst Aracılığı İle Tasarım Ve Analizi*,” Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kilis, 2021, 670821.
- [64] M. Öztaş, “*Influence Of Grain Size On Electrical And Optical Properties Of Inp Films*,” Chin.Phys.Lett, vol. 25, no. 11, 2008.
- [65] Y. Oğuz, A. Karakan, B. Uslu, “*Afyonkarahisar’da Kurulu Olan Monokristal, Polikristal ve İnce Film Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi*,” Tesisat Mühendisliği, vol. 149, 47-58, 2015.
- [66] S. Sayın, İ. Koç, “*Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler Ve Yapılarda Kullanım Biçimleri*,” Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol. 26, no. 3, 89-106, 2011.
- [67] A.N. Çelik, F. Koç, “*Polikristal Tür bir Fotovoltaik Panelin I-V Karakteristiğinin Analitik Modellenmesi ve Deneysel Doğrulanması*,” Düzce Ünivesitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 8, 2491-2515, 2020.

- [68] İ. Sancar, H. Bulut, R. Karadağ, İ. Hinali, “*Hibrit Tip Havalı Güneş Kollektörünün CFD Analizi*,” 2. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, Adıyaman, 2019.
- [69] A. Bayyigit, O.K. :inici, A. Acır, “*Tek Yüzeyli ve Çift Yüzeyli Fotovoltaik Panellerin Performans Analizi*,” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 11, no. 2, 407-420, Ankara, 2023.
- [70] <https://www.keremcilli.com/cam-cam-cift-yuzeyli-gunes-paneli-nedir/> (Erişim Tarihi 18.10.2023 12:35).
- [71] H. Çınaroğlu, “*Bağımsız Bir Fotovoltaik Sistemin Pvsyst Yazılımı Kullanılarak Tasarımı Ve Simülasyonu*,” Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik, 2023, 809075.
- [72] <https://www.bfi.com.tr/on-grid-sistem/> (Erişim Tarihi 18.10.2023 15:50).
- [73] <https://www.btk.gov.tr/standart-kuruluslari> (Erişim Tarihi 23.10.2023 12:35).
- [74] <https://www.iec.ch/homepage> (Erişim Tarihi 23.10.2023 12:45).
- [75] O. Kılıcı, “*Değişken Özellikli Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Mevcut Verilerle PVsyst Programında Üretim ve Performans Analizi*,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, 2020, 654292.
- [76] Deniz. E, “*Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar*,” III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, İzmir, 21-24 Kasım 2013.
- [77] <https://www.homerenergy.com/> (Erişim Tarihi 24.10.2023 12:00).
- [78] <https://www.etimaden.gov.tr/bor-elementi> (Erişim Tarihi 21.01.2024 13:05).
- [79] <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabiikaynaklar-bor> (Erişim Tarihi 21.01.2024 14:00).
- [80] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Borlama> (Erişim Tarihi 21.01.2024 14:40).
- [81] <https://www.teknovak.com/borlama-nedir-borlama-ile-yuzey-sertlestirme/> (Erişim Tarihi 21.01.2024 16:00).
- [82] Coşgun. A, Taşcıoğlu. A, Yılmaz. G, “*İnce Film Üretiminde Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi ve Çeşitleri*,” Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol. 12, no. 2, 351-363, Burdur, 2021.
- [83] B.D. Culity, S.R., “*Elements of X-ray diffraction (3rd ed.)*,” In İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınlar, Prantice Hall, 2001.
- [84] W.L. Bragg, “*The Diffraction of X-Rays By Crystals Nobel Lecture*,” 1922.
- [85] W. Barlow, “*Probable Nature of The Internal Symmetry of Crystals*,” Nature, vol. 738, 186-188, 1883.

- [86] B.D. Cullity, “*Elements of X-Ray Diffraction*,” Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1978.
- [87] Y. Geng, “*Mathematical Analysis of Van der Pauw’s Method for Measuring Resistivity*,” IOP Publishing, Conf. Ser. International Conference on Materials Science and Engineering, doi:10.1088/1742-6596/2321/1/012027, 2022.
- [88] M. Öztaş, “*Investigation of the Structural and Electro-Optical Properties of Chemically Deposited ZnS and CdS Thin Films and The Thermoluminescence properties of ZnS Thin Films Ph.D. Thesis*,” Physics Engineering, Gaziantep University, 1996.
- [89] W.F. Smith, “*Principles of Materials Science and Engineering*,” Mc Graw-Hill Inc., Retrieved September 30, 1990.
- [90] P.K. Manoj, K.G. Gopchandran, P. Koshy, V.K. Vaidyan, B. Joseph, “*Growth and Characterization of Indium Oxide Thin Films Prepared by Spray Pyrolysis*,” Optical Materials, 1405-1411, 2006.
- [91] Y.M. Bedir, M. Öztaş, S.S. Çelik, T. Özdemir, “*Effect of The Substrate Temperature on The Structural, Optical and Electrical Properties of Spray-Deposited Cds:B Films*,” Journal of Materials Science: Materials Electronics, vol. 24, no. 2, 499-506, 2013.
- [92] M. Bedir, M. Öztaş, S.S. Çelik, T. Özdemir, “*Effect of Boric Acid Content on The Structural and Optical Properties of Mns Films Prepared by Spray Pyrolysis Technique*,” Acta Physica Polonica A, vol. 126, no. 3, 840–844, 2014.
- [93] I.A. Ovid’ko, “*Interfaces and Misfit Defects in Nanostructured and Polycrystalline Films*,” Rev.Adv.Mater.Sci, vol. 1, no. 6, 100-107, 2000.
- [94] S. Lalitha, S. Sathyamoorthy, S. Senhilarasu, A. Subbarayan, K. Natarajan, “*Characterization of CdTe Thin Film - Dependence of Structural and Optical Properties on Temperature and Thickness*,” Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 82, no. 1–2, 187–199, 2004.
- [95] M. Bedir, M. Öztaş, Ö.F. Bakkaloğlu, R. Ormancı, “*Investigations on Structural, Optical and Electrical Parameters of Spray Deposited ZnSe Thin Films with Different Substrate Temperature*,” European Physical Journal B, vol. 45, no. 4, 465–471, 2005.
- [96] M. Öztaş, M. Bedir, R. Kayalı, F. Aksoy, “*Influence of the annealing conditions on the properties of InP thin films*,” Materials Science and Engineering, vol. 131, 94–99, 2006.
- [97] H. Kim, J.S. Horwitz, G. Kushto, A. Pique, Z.H. Kafafi, C.M. Gilmore, D.B. Chirisey, “*Effect of Film Thickness on The Properties of Indium Tin Oxide Thin Films*,” Journal of Applied Physics, vol. 88, no. 10), 6021–6025, 2000.

- [98] Q.B. Ma, Z.Z. Ye, H.P. He, L.P. Zhu, W.C. Liu, Y.F. Yang, L. Gong, J.Y. Huang, Y.Z. Zhang, B.H. Zhao, “*Highly Near-Infrared Reflecting and Transparent Conducting ZnO : GGGa Films: Substrate Temperature Effect,*” Journal of Physics D: Applied Physics, vol. 41, no. 5, 2008.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Bursa’da tamamladı. 2004 yılında girdiği Marmara Üniversitesi Elektrik Öğretmenliği bölümünden 2009 yılında, 2007 yılında girdiği Anadolu Üniversitesi Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri bölümünden 2011 yılında, 2011 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Mahalli İdareler ve Şehircilik Yüksek Lisans programından 2013 yılında, 2016 yılında girdiği Afyon Kocatepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun oldu. 2009 yılında KPSS sınavı ile İstanbul Büyükşehir Belediyesinde memur olarak göreve başladı. 2010 yılında Bursa Büyükşehir Belediyesine geçiş yaptı. Halen Bursa Büyükşehir Belediyesi bünyesinde mühendis olarak görev yapmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

- [1] Metin. B, Öztaş. M, “Orhaneli Gençlik Merkezi Projesi Elektrik Enerjisi İhtiyacının Karşılanması İçin Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem Tasarımı.” 6th International Congress On Engineering Sciences and Multidiciplanry Aproaches, Vol, 1, İstanbul, 02-03 Aralık 2023.