

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAY KAFES ÇATI SİSTEMLERİNDE FOTOVOLTAİK
PANELLERDEN GENETİK ALGORİTMA İLE MAKSİMUM
ELEKTRİK ENERJİSİ ELDE EDİLMESİ**

Berkay KİRİŞ

**Danışman
Doç. Dr. Okan BİNGÖL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2016**



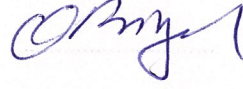
©2016 [Berkay KİRİŞ]

TEZ ONAYI

Berkay KİRİŞ tarafından hazırlanan " **Uzay Kafes Çatı Sistemlerinde Fotovoltaik Panellerden Genetik Algoritma ile Maksimum Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

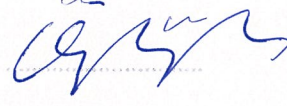
Danışman

Doç. Dr. Okan BİNGÖL
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ömer DEPERLIOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Ramazan ŞENOL
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Yasin TUNCER

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Berkay KİRİŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
3. GÜNEŞ IŞINIMI.....	8
3.1.Güneş Işınımının Analizi	9
3.2.Güneş Açıları	10
3.3. Güneş Radyasyonu Hesaplama Yöntemleri ve Kullanılan Modeller	14
3.4. Türkiye'de Güneş Enerjisi.....	17
4. GÜNEŞ PİLLERİ.....	21
4.1. Fotovoltaik Etki	22
4.2. Güneş Pilinin P-N Ekleme	22
4.3. Güneş Pilinin Yapıları ve Çalışma Prensipleri	24
4.4. Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler.....	26
4.4.1. Tek kristal silisyum (m-Si)	26
4.4.2. Çok kristalli silisyum(p-Si).....	26
4.4.3. Amorf silisyum(a-Si).....	27
4.4.4. Kadmiyum tellür (CdTe)	27
4.4.5. Galyum arsenit (GaAs)	27
4.4.6. Bakır indiyum diselenid (CuInSe ₂ veya CIS).....	28
4.5. Fotovoltaik Hücre, Modül ve Örgülerin Yapısı	28
4.6. PV Panel Verimi	29
4.7. PV Hücre Elektriksel Modeli.....	30
4.8. Fotovoltaik Diyot Karakteristiği.....	33
4.9. Güneş Pilinin Matematiksel Modeli	35
4.10. Güneş Pilinin Çalışmasını Etkileyen Faktörler.....	38
4.10.1. Güneş ışınımının etkisi.....	38
4.10.2. Sıcaklığın etkisi.....	40
4.10.3. Açının etkisi.....	41

4.10.4. Gölgeleme etkisi.....	45
4.10.5. Seri-Paralel bağlantı etkisi.....	48
4.10.6. İnverter etkisi	50
5. PV PANELLERİN BİNALARDA KULLANIMI VE UZAY KAFES SİSTEMLERİ..	52
5.1. Binalarda PV Panel Kullanım Olanakları	52
5.1.1. Mimaride PV panel tasarımı	53
5.1.2. Çatı sistemlerinde PV kullanım olanakları.....	55
5.1.2.1. PV'lerin düz çatıda kullanımı.....	56
5.1.2.2. PV'lerin eğimli çatıda kullanımı	57
5.1.2.3. PV'lerin eğrisel çatıda kullanımı	58
5.1.2.4. PV'lerin testere dişli çatıda kullanımı	59
5.1.2.5. PV'lerin atriumda kullanımı.....	59
5.1.3. Çatı taşıyıcı sistemi.....	60
5.1.3.1. Çatı taşıyıcı sistem çeşitleri.....	61
5.2. Uzay Kafes Sistemler	62
5.2.1. Uzay kafes sistemlerin boyutlandırılmasındaki özellikler.....	64
5.2.2. Uzay kafes sistemlerinin geometrik olarak sınıflandırılması	65
5.2.2.1. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler.....	67
5.2.2.2. Eğri yüzeyli uzay kafes sistemler	67
5.2.2.3. Tonoz biçimli uzay kafes sistemler	67
5.2.3. Sistemin ağırlığını etkileyen geometrik faktörler	68
5.2.4. Uzay kafes sistemlerin geometrik açıdan incelenmesi.....	68
6. GENETİK ALGORİTMALAR.....	70
6.1. Genetik Algoritmanın Tanımı.....	72
6.2. Genetik Algoritmaların Çalışma Prensipleri	73
6.2.1. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması	74
6.2.2. Uygunluk fonksiyonunun hesaplanması.....	75
6.2.3. Doğal seçim ve genetik operatörler	76
6.2.3.1. Doğal seçim	76
6.2.3.2. Elitizm(Seçkincilik)	76
6.2.3.3. Genetik operatörler.....	76
6.2.3.4. Çaprazlama operatörü	77
6.2.3.5 Mutasyon operatörü	78
6.2.4. Döngünün sonlandırılması.....	79
7. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	80
7.1. Yazılım Tasarımı.....	80

7.1.1. Veri tabanı tasarımı.....	80
7.1.2. Programlama dili.....	81
7.1.3. Uygulamanın bileşenleri	81
7.1.4. Yazılım arayüzü	88
7.1.4.1. Başlangıç formu	88
7.1.4.2. Ana uygulama formu	88
7.1.4.3. Meteorolojik veri görme formu	96
7.1.4.4. PV modül formu.....	97
7.2. Simülasyonun Gerçekleştirilmesi	98
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	100
8.1. Genetik Algoritma Sürecinin ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi	100
8.2. İnvertör Seçimine Göre PV Örgülerdeki Bağlantı Şekillerinin Değerlendirilmesi.....	101
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ.....	107

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UZAY KAFES ÇATI SİSTEMLERİNDE FOTOVOLTAİK PANELLERDEN GENETİK ALGORİTMA İLE MAKSİMUM ELEKTRİK ENERJİSİ ELDE EDİLMESİ

Berkay KİRİŞ

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Okan BİNGÖL

Güneş pilleri güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirebilen fotovoltaik (PV) aygıtlardır. Güneş pillerinin bir araya getirilmesiyle oluşan yapıya güneş paneli denir. Güç talebine bağlı olarak paneller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak binaların enerji ihtiyacını karşılayabilecek sistem oluşturulur.

Güneş panellerinin uygulanabilmesi için en uygun bina yüzeyi, güneşi sürekli ve gölgesiz, engelsiz olarak görmesi nedeniyle, çatılardır. Çatı sistemleri düşünüldüğünde günümüz yapı teknolojilerinde hafif, hızlı ve endüstrileşmiş çözümler arayışı eğimli uzay kafes sistemlerin doğmasına sebep olmuştur.

Güneş panellerinin çalışmasını etkileyen faktörler arasında; ışıınım, sıcaklık, gölgelenme, yüzey açısı ve seri-paralel bağlantı etkisi yer almaktadır. Çatı sistemleri üzerinde güneş paneli uygulaması yapılmadan önce, tüm bu faktörler göz önünde bulundurularak güneş panelinden elde edilecek verim öncesinde analiz edilip hesaplanmalıdır.

Güneş paneli uygulaması genellikle çalışmalarda teras çatı, eğik çatı, cephe üzerine yapılmıştır. Eğimli uzay kafes sistemlerinde güneş ışıınım açısının farklı olması, güneş panelleri üzerinde oluşan gerilim ve akım miktarını, toplam sistem verimini daha fazla etkilemektedir. Bu çalışmada; Isparta ilinin meteorolojik bilgileri, çeşitli güneş panellerinin teknik verileri, yıl içi rastlantısal gölge etkisi hesapları kullanılarak en uygun güneş paneli diziliminin bulunabilmesi için genetik algoritma tekniği uygulanmış bilgisayar ortamında simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak, eğimli uzay kafes çatı sistemlerine PV panel uygulaması yapılırsa en yüksek verim elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler:Fotovoltaik paneller(PV), solar dizi, uzay kafes sistemleri

2016, 102 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

OBTAINING MAXIMUM ELECTRIC ENERGY BY USING THE GENETIC ALGORITHM FROM PHOTOVOLTAIC PANELS OF SPACE FRAME ROOF STRUCTURE

Berkay KİRİŞ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electronic Computer Education**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Okan BİNGÖL

Solar cells are photovoltaic(PV) devices that converts energy of sun directly into electric energy. Solar panel occur multiple solar cells that combining together. Depending on the power demand solar panels connected to each other in series or parallel thus building energy systems are created to meet the needs.

Roofs are most suitable building surfaces for solar panel application, because of solar is seen as a continuous and unobstructed shadowless. When considered roof system lightweight,fast and industrialized quest for solutions on today's construction technology has led to emergence of curved space frame system.

Affecting the operation of solar panels factors are include that radiation, temperature, shading, surface impact angle and a series-parallel connection. Before the solar panels application on the roof systems, considering all these factors will be obtained from the solar panel efficiency should be analyzed and calculated.

Solar panel application are usually made on flat roof, pitched roof and facades studies.The angle of solar radiation is different on curved space frame system, so voltage and current amount of the solar panels more effects on overall system efficiency. In this study; genetic algorithm technology applied computerized simulation process was performed in order to find the optimal solar panel combination with using the meteorological information of Isparta, technical data of various solar panels, intra-year random shadow effect calculations. Depending on these results, if PV panels application is made on the curved space frame roof system would be the highest efficiency was obtained.

Keywords: Photovoltaic Panels(PV), solar array, space frame roof

2016, 102 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Okan BİNGÖL'e teşekkürlerimi sunarım. Literatür araştırmalarımda yardımcı olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ramazan ŞENOL'a teşekkür ederim. Tüm eğitim ve öğretim sürem boyunca, beni eğitime sevk eden, maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Berkay KİRİŞ
İSPARTA, 2016.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Atmosfere gelen ve yerkabuğuna değişik şekillerde ulaşan güneş ışıması	8
Şekil 3.2. Tepe güneş saati.....	10
Şekil 3.3. Yılın farklı zamanlarındaki dünyanın yörüngesi ve deklinasyonu.....	13
Şekil 3.4. Yazın ve kışın öğle saatinde θ_z , δ ve θ açısı arasındaki ilişki (a, b)	13
Şekil 3.5. Güneşle ilgili açılar	14
Şekil 3.6. Güneş ışınının atmosferi geçerken aldığı yolun ışının geliş doğrultusuna göre değişimi	16
Şekil 3.7. Türkiye güneşlenme haritası	18
Şekil 3.8. Isparta global radyasyon değerleri ($\text{kW/m}^2\text{-gün}$).....	20
Şekil 3.9. Isparta güneşlenme süreleri (Saat)	20
Şekil 4.1. PV panellerin kullanımı.....	21
Şekil 4.2. Silikon yapıli güneş pillerinin çalışması noktası	22
Şekil 4.3. Güneş pilinin P-N eklemi	23
Şekil 4.4. Bir yarı iletken malzemede elektron-boşluk çifti oluşumu	24
Şekil 4.5. Işınlm altındaki P-N eklem	25
Şekil 4.6. Güneş pilinin çalışması.....	25
Şekil 4.7. Hücre, modül ve örgüler	29
Şekil 4.8. Güneş pilinin yapıldığı yarı iletken malzemenin band aralığına bağıli olarak teorik verimin değişimi	30
Şekil 4.9. PV diyot eşdeğer devresi	31
Şekil 4.10. Kısa devre akımı.....	33
Şekil 4.11. Açık devre voltajı	34
Şekil 4.12. Tipik bir PV diyotun I-V ve P-V eğrisi	34
Şekil 4.13. Güneş pillerinin seri ve paralel bağlanması ile güneş panelinin elde edilmesi.....	36
Şekil 4.14. Işık şiddetindeki değişimin tek kristal silisyum bir modülün akımgerilim eğrisi üzerindeki etkisi ($T_C = 25^\circ\text{C}$)	39
Şekil 4.15. Farklı ışınlm değerlerinde I-V eğrisi	39
Şekil 4.16. Tek kristal silisyum bir modülün akım-gerilim eğrisinin güneş pili veya modül sıcaklığı ile değişimi.....	40
Şekil 4.17. Saatlik-ortalama, aylık-ortalama ve yıllık-ortalama değerler doğrultusunda hesaplanan optimum eğim açılı (α saat , α ay ve α yıl) yüzeyler üzerine gelen günlük toplam ışınlm miktarının aylara göre değişimi	43
Şekil 4.18. Bir güneş paneli yüzeyindeki güneşlenme miktarına güneş açısının etkisi (Kosinüs kanunu).....	43
Şekil 4.19. Gelen güneş açısı	44
Şekil 4.20. Gelen güneş açısının akıma etkisi.....	45
Şekil 4.21. Farklı PV modüllerin paralel bağlantıdaki gerilim eşdeğeri	49
Şekil 4.22. Farklı PV modüllerin seri bağlantıdaki akım eşdeğeri	49
Şekil 4.23. PV panel sistemi inverter bağlantısı.....	51
Şekil 5.1. Almanya’da gerçekleştirilen ilk yapı elemanları ile bütünleştirilmiş fotovoltaiik çatı ve cephe uygulamaları:a,b,c,d.....	52
Şekil 5.2. Muğla Üniversitesi’nde gerçekleştirilen fotovoltaiik entegre edilmiş çatı ve cephe uygulamaları	56

Şekil 5.3. Düz çatı sistemi uygulaması	57
Şekil 5.4. Eğimli çatı sistemi	57
Şekil 5.5. İtalya çocuk müzesi.....	58
Şekil 5.6. Eğimli çatı entegrasyonu	59
Şekil 5.7. Testere dişli çatı detayı	59
Şekil 5.8. Hollanda ECN Binası Atrium Uygulaması	60
Şekil 5.9. Kirişli taşıyıcı sistemlerde kullanılan yüzeysel ve çubuk taşıyıcı elemanlar ve bu sistemlerle kurulabilen çatı formları.....	61
Şekil 5.10. Uzak kafes sistemi	62
Şekil 5.11. Adıyaman üniversitesi yüzme havuzu	63
Şekil 5.12. Alibeyköy cep otogarı.....	63
Şekil 5.13. Strüktür geometrisi açısından uzak kafes giriş örnekleri.....	66
Şekil 5.14. Doğuray ve doğrultman yönleri, L' açıklığı ve 'H' yüksekliği.....	66
Şekil 5.15. Parabol üzerindeki nokta ile yüzey arasındaki eğim	69
Şekil 6.1. Genetik algoritma akış diyagramı	74
Şekil 6.2. Tek noktalı çaprazlama işlemi	77
Şekil 6.3. İki noktalı çaprazlama işlemi.....	78
Şekil 6.4. Tek nokta mutasyon işlemi	78
Şekil 7.1. Veritabanı diyagramı GA bölümü.....	80
Şekil 7.2. Veritabanı diyagramı proje bölümü.....	81
Şekil 7.3. PVModule sınıfının UML diyagramı	82
Şekil 7.4. RadiationAngle sınıfı UML diyagramı.....	83
Şekil 7.5. Genetik Algoritma sınıflarının UML diyagramları	84
Şekil 7.6. Giriş formu	88
Şekil 7.7. Create project sekmesi	89
Şekil 7.8. Roof and Location sekmesi.....	90
Şekil 7.9. Select PV Module sekmesi.....	90
Şekil 7.10. İnverter seçim ekranı	91
Şekil 7.11. Shade Design sekmesi.....	91
Şekil 7.12. Run Simulation sekmesi.....	92
Şekil 7.13. Show First Gen sekmesi	93
Şekil 7.14. FirstGenIV formu	93
Şekil 7.15. Population sekmesi.....	94
Şekil 7.16. PV Design View formu	94
Şekil 7.17. PV Locations & Details formu	95
Şekil 7.18. Best Individual Solution sekmesi	95
Şekil 7.19. Improvement Result sekmesi	96
Şekil 7.20. Meteorolojik veri görme formu.....	96
Şekil 7.21. PV Modül Formu modül listesi	97
Şekil 7.22. PV Modül Formu modül grafikleri.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Isparta ili günlük meteoroloji istasyonu verileri.....	17
Çizelge 3.2. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	18
Çizelge 3.3. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	19
Çizelge 4.1. Güneş pillerinde rapor edilmiş en yüksek verimlilikler	28
Çizelge 4.2. Bazı yarıiletken enerji bant aralığının sıcaklıkla değişimi.....	41
Çizelge 4.3. İnverter özellikleri.....	51
Çizelge 8.1. Genetik algorithmadaki bireylerin nesiller boyu gelişim oranı	100
Çizelge 8.2. Bağlantı şekilleri ve buna bağlı güç değerleri.....	101



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
G_{ref}	STC deki ışıınım şiddeti
I_{0ref}	Referans değeriindeki akım
I_D	Diyot akımı
I_{MPP}	Maksimum güç noktasındaki akım
I_{ph}	Fotovoltaik akım
I_{SC}	Kısa devre akımı
I_{sh}	Kaçak akım
P_{max}	Maksimum güç noktasındaki güç
R_s	Seri direnç
R_{sh}	Paralel direnç
T_c	Etkin sıcaklık
T_{cref}	STC deki sıcaklık
V_D	Diyodun uçları arasındaki potansiyel fark
V_{MPP}	Maksimum güç noktasındaki gerilim
V_{OC}	Açık devre gerilimi
w_s	Saat açısı
G	Etkin ışıınım şiddeti
I	Akım
K	Kelvin
k	Boltzman sabitini
kWh	Kilowattsaat
MPP	Maksimum güç noktası
$\emptyset$	Enlem açısı
P	Güç
q	Elektron yükü
T	Mutlak sıcaklık
V	Gerilim
W	Watt
W_p	Panelin güç değeri
α	Güneş yükseklik açısı
β	Eğim açısı
γ	Yüzey azimut açısı
δ	Deklinasyon açısı
θ	Güneş geliş açısı
θ_z	Zenit açısı

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	Amerik Birleşik Devletleri
AM	Hava Kütlesi
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
FF	Dolum Faktörü
GA	Genetik Algoritma
PV	Fotovoltaik
STC	Standart Test Koşulları

1. GİRİŞ

Enerji, teknoloji çağının en fazla ihtiyaç duyduğu konu olmuştur. Tüm teknolojik gelişmelerde bilginin kullanılmasının yanı sıra işleyiş ve çalıştırılması için muhakkak enerjiye gereksinim vardır. Dünya nüfusunun hızla artması, gelişen teknolojiyle beraber enerji tüketimini artırmıştır.

Günlük yaşamda her aşamada kullanım alanı bulan enerji; kimyasal, nükleer, mekanik, termal, jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgar, elektrik enerjisi gibi değişik şekillerde bulunabilmektedir. Enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır. Yenilenemez enerji kaynakları, tükenebileceği öngörülen enerji kaynaklarıdır (Koç ve Şenel, 2013). Enerji üretim kaynaklarının hızla tükenme eğilimi içine girmesi, çevreye ve insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkileri nedeniyle son yıllarda yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yapılan çalışmaları artırmıştır. Şüphesiz ki güneş; diğer enerji kaynaklarına göre çevreye en fazla duyarlı ve herkesin ulaşabilip kullanma şansı olan bir enerji kaynağıdır (Kılıç, 2007).

Güneş pilleri güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirebilen fotovoltaiik (PV-Photovoltaic) aygıtlardır. Fotovoltaiik terimi, ışık enerjisinden gerilim üretilmesi anlamına gelir ve genellikle “PV” ile gösterilir. PV sistemlerin yaygınlaşmasının önündeki en önemli engellerden biri kWh başına düşen maliyetin yüksek olmasıdır. Özellikle son yıllarda artan araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda ve ülkelerin temiz ve çevre dostu enerjileri kullanmaya yönelik özendirici ve destekleyici politikaları ile fotovoltaiik çevrim oranı yükselmiş, üretim kapasiteleri artmış ve birim maliyetler geçmişe oranla oldukça düşmüştür (Eke, 2007). PV sistemler çevre dostu olmalarının yanı sıra aynı zamanda modülerdir. Bu da ihtiyacın artması durumunda, sisteme yeni PV modüllerin kısa zamanda kolaylıkla ilave edilebilmesini sağlar. Başka enerji üretim sistemlerinde ise bu durum geçerli değildir. Bu modüllerin eklenmesi ve tasarımı sırasında oluşacak yüksek maliyet, yüzey eğim açısı, düzensizlik ve dizi boyutu gibi tasarım parametreleri optimizasyon çalışmalarını gerektirmektedir.

PV sistemlerin en küçük yapı birimi olan bir güneş gözesinden elde edilebilecek akım ve gerilim değerleri oldukça düşük değerlidir. PV sistemlerinin kullanılabilirliği için çok sayıda güneş gözesinin elektriksel olarak seri veya paralel bağlanıp bir araya getirilmesiyle PV modül veya PV panel oluşturulur. Her modül, birbirleriyle paralel veya seri bağlanabilmesine olanak verecek şekilde tasarlanır. Bu modüller birbirlerine seri bağlanarak gerilim aralığı arttırılabilirken, paralel bağlanarak akım kapasitesi arttırılabilmektedir. PV modüller de kendi aralarında seri veya paralel bağlanarak PV örgüyü, bir diğer deyişle “güneş(solar) dizisi” oluştururlar (Abdulazeez, 2011).

PV sistemlerin uygulanabilmesi için en uygun bina yüzeyi, güneşi sürekli ve gölgesiz, engelsiz olarak görmesi nedeniyle, çatılardır. Çatıları güneşin bölgesel konumuna göre tasarlamak oldukça kolaydır. Binaların tasarım sürecinin başından itibaren PV sistemlerin kullanılması kararı verilir; bina ve PV sistem buna göre planlanıp çalışmalar dikkate alınırsa sistemden maksimum verim alınıp, maliyet de düşürülmüş olur (Mutlu, 2010). Çatı sistemleri düşünüldüğünde günümüz yapı teknolojilerinde hafif, hızlı ve endüstrileşmiş çözümler arayışı uzay kafes sistemlerin doğmasına sebep olmuştur. Uzay kafes sistemleri işlevsel olarak çatı yapılarının daha esnek, hafif ve kullanışlı olmasını sağlamıştır. Sabit yüklerin azalması sadece çatıda değil, alt sistem öğeleri ile beraber temellerde kendini göstermekte, buna bağlı olarak maliyet önemli ölçüde düşmektedir. Özellikle endüstri ve geniş alan yapılarında bu sistemlerden daha fazla yararlanılarak, olumlu kitle ve mimari anlatımlar kazanılmaktadır.

Uzay kafes sistemleri üzerinde donatı yerleşiminde de yararlılıklar sağlayabilmektedir. Bu sistemlere gerekli tasarım ve mühendislik hesapları yapıldığında üzerinde her donatı taşınabilir ve yerleştirilebilir. Güneş paneli, elektrik, sıhhi tesisat, havalandırma kanalları, klima gibi donatılar, bu sistemlerin yapısından dolayı oluşan boşluklarda kendilerine kolaylıkla yerleşim alanı bulabilmektedir. Günümüzde Türkiye’de özellikle büyük ve yüzeyi geniş sanayi yapılarının örtülmeleri konusunda tonoz biçimli uzay kafes sistemleri oldukça fazla uygulama alanı bulmaktadır.

Tüm bu nedenlerden dolayı güneş pillerinin ve uzay kafes sistemi çatıların günlük hayatta kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle endüstri alanında ve geniş alanlarda kullanılan bu çatı sistemlerinde PV sistemlerin uygulanması maliyeti düşüreceği gibi çevreye de büyük katkılar sağlamaktadır.

Bu çalışmada, PV panellerin tonoz biçimli uzay kafes sistem çatılarına yerleştirilmesinde en yüksek gücün elde edilebileceği en uygun bağlantı tasarımı bulunup simülasyonu yapılmıştır. Bunun için öncelikle güneş ışınımı incelenip analizi yapılmış, ardından güneş pillerinin teknik özellikleriyle beraber çalışmasına etki eden faktörler araştırılarak matematiksel modeli ortaya çıkarılmıştır. Tezin diğer aşamasında PV panellerin bina yüzeylerinde ve çatılarda kullanımı incelenmiş, uzay kafes sistemlerin geometrik yapısı analiz edilmiştir.

Tonoz biçimli uzay kafes sistemli çatıların incelemesinde, her PV panelin yüzeyinde farklı farklı açılar oluşacağı saptanmıştır. Bu durum seri veya paralel bağlantıyla oluşturulacak PV örgüsünde PV paneller arasında farklı akım veya gerilim uyumsuzluğu nedeniyle sistemde güç ve verim kaybına sebep verecektir. Girişe uygulanan inverter tipine göre farklı seri ve paralel bağlantı şekilleri oluşacaktır. PV panellerin bağlantı sıralaması ile elde edilecek güç miktarı değişmektedir. Gücü en yüksek oranda tutmak için optimizasyon çalışması yapılması gerekmektedir. Optimizasyon tekniği olarak genetik algoritmalar kullanılarak en uygun PV örgü bağlantısını elde edecek uygulama geliştirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yeşilata ve Fıratoğlu (2003), PV sistemlerin optimum tasarım ve çalışma koşullarını araştırmışlardır. Bu çalışmada gereksinim duyulan gücü minimum sayıda PV panel kullanarak temin etmeyi amaçlamışlardır. Sabit enlem açısı altında radyasyon açısı faktörü ve tasarım koşulları tespit edilmiştir. Çalışma ile optimum panel yapılandırması belirlenebilir. Aynı yıl içerisindeki yaptıkları bir diğer çalışmada ise seçilen bölgenin PV sistemler açısından yılın her ayı ve günün her saatinde kullanılabilirliğini belirleyen bir yöntem ile yapılan optimizasyonun bölgesel verilerle test edilebilirliğini göstermişlerdir. Şanlıurfa ilini referans alarak, bu ilde yıllık kullanım için seçilecek bir fotovoltaiik sistemin 500 W/m^2 ve üzeri ışınlm şiddetleri dikkate alınarak tasarlanmasının, sistemin maksimum kullanılabilirliği için yeterli olduğunu belirtmişlerdir.

Aydın (2006), çalışmasında dinamik ve gerçek meteorolojik şartlar altında fotovoltaiik (PV) sistem güç karakteristikleri araştırmıştır. Sonuçları incelediğinde, PV sistemler üzerinde gerçek atmosferik koşullarda elde edilen güç değerlerinin, teorik beklentilerden farklı olduğunu gözlemlemiştir. Bu çalışma sonucunda sistem güç çıktısı üzerinde; elektriksel yük değeri, eğim açısı ve elektriksel bağlantı yapılandırması gibi parametrelerin etkisinin oldukça önemli olduğunu belirtmiştir.

Karatepe (2007), çalışmasında öncelikle farklı sıcaklık ve ışınlm koşulları için güneş pili tek diyot eşdeğer devre parametrelerinin değişimi incelemiş ve yapay sinir ağıları tabanlı yeni bir model geliştirmiştir. Daha sonra geliştirdiği güneş pili modelini kullanarak; PV örgülerin kısmi gölgelenme ve elektriksel uyumsuzluk koşullarına verdiği cevap, sistem verimi ve maksimum güç noktası takibi geriliminin değişim aralığını ayrıntılı olarak analizi gerçekleştirmiş ve birbirleriyle karşılaştırmıştır. Kısmi gölgelenmeden dolayı oluşan güç kayıplarını azaltmak için yeni bir kontrol sistemi geliştirmiştir.

Patel ve Agarwal (2008), farklı PV dizilerine sahip PV örgülerin parçalı gölgelenme durumunu incelemiştir. 36 PV hücrelerinden oluşan PV modülleri her

bir dizide 10 adet yer almıştır. Bu grupların içerisinde sırasıyla 40,38,22 adet ve farklı sayıda gölgelenen PV panel bulunmaktadır. MATLAB ortamında PV panelleri modelleyip, gölgelenme durumunu farklı senaryolar üzerinde simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Ramabadran (2009), çalışmasında gölgeleme altında kalan iki PV modülü seri ve paralel olarak bağlayıp sonuçlarını incelemiştir. Paralel bağlantıda verimin daha yüksek olduğunu, fakat yüksek akım üreten PV modüllerde problemin fazla olduğunu farkedip yeni bir bağlantı düzenine ihtiyaç duymuştur.

Mutlu (2010), mevcut binaların çatı sistemlerinin fotovoltaik çatı sistemi olarak yenilenmesinde ve yeni yapılacak binalarda fotovoltaik çatı sistemi tasarımında, çatı sistem ve çatı kaplama malzemesi üreticilerine ve yüklenicilere tüm alternatifleri bir arada değerlendirebilmelerine imkan verecek bir model önerisi geliştirmeyi amaçlamıştır. Sonuç olarak İstanbul ve Mersin illeri için tasarımlar geliştirip bunları değerlendirmiştir.

Wang ve Hsu (2010), parçalı gölge etkisindeki ve farklı yönlendirilmeli PV modüllerin analitik modellemesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında PV hücrelerinin, PV modüllerinin modelini oluşturmuşlardır. PV modüllerin farklı yönlendirildiği ve parçalı gölge etkisi altında kaldığı durumları ayrı ayrı inceleyerek formüle etmişlerdir.

Abdulazeez (2011), kısmi gölgelenmenin modülün performans üzerinde yarattığı zararlı etkilerini araştırarak ve farklı bağlantılara sahip güneş pillerinin verimlerini karşılaştırmıştır. Çalışmasında ilk olarak, modeli oluşturmak için akım-gerilim denklemini oluşturan tek diyot devre modelinin parametrelerini bulmuştur. Ardından farklı sıcaklık ve ışık şiddeti koşullarında elde edilen simülasyon sonuçlarını katalog verileriyle karşılaştırmıştır. Son olarak, fotovoltaik (PV) örgünün performansını tahmin edip çıkış gücünü optimize etmek için kısmi gölgelenme durumundaki güneş ışınımını farklı bağlantılı PV modüllerin üzerinde olan etkisini incelemiştir. Aynı zamanda değişik gölgelenme çalışma koşullarında maksimum çıkış gücü vermeyi sağlayan optimal düzeni

gerçekleştirmiştir.

Cebeci ve Bayrak (2012), güneş pilinin eşdeğer devresinden yararlanarak Matlab Simulink ile güneş pili eşdeğeri elde edip, bu yapı kullanılarak 3.6 kW gücünde bir PV generatör tasarlanmışlardır. Ayrıca farklı sıcaklık ve güneş ışınlamı değerlerinde PV modülün performansı analiz etmişlerdir.

Eke ve Sarıoğlu (2012), çalışmasında 95W gücünde çok kristalli silisyum (mc-Si) bir PV modülün baypas diyot kullanıldığı ve kullanılmadığı durumda gölgelenme etkisi altındaki güç değişimi akım gerilim eğrilerinden yola çıkarak incelemiştir. Verim, dolum çarpanı, maksimum güç gibi bazı modül parametreleri her iki durum için de hesaplamıştır. Modül üzerinde %2,7'lik bir gölgelenme ile baypas diyot yokken %77,88 olarak hesaplanan güç kaybının baypas diyot kullanıldığında %45,35 değerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

Deline vd.(2013), sabit gölgeleme etkisi bulunan geniş PV örgüler için basitleştirilmiş bir analitik model sunmuşlardır. Seri ve paralel bağlantılar altındaki gölgeli PV panellerin, tüm PV paneller üzerindeki oranını göz önünde bulundurmuşlardır. Bu oranın değerine göre farklı formüller uygulayıp, genel performans azalmasını incelemiştir.

Seyedmahmoudian vd. (2013) çalışmalarında çok boyutlu PV örgüsü ile tek bir PV modülünden oluşan PV sistemlerinin farklı aralıklardaki davranışlarını simüle etmişlerdir. PV modüllerin matematiksel modelini kullanarak, farklı ışınlam altındaki davranışlarını incelemiştir. Parçalı gölge etkisi altında tek bir PV modülün ve PV modüllerden oluşan örgü sistemlerini ayrı ayrı by-pass diyot bulunduğu duruma göre farklı bağlantı şekillerine göre karşılaştırmışlardır. Son olarak farklı ışınlam şiddeti ve parçalı gölge etkisi altındaki PV örgü sistemlerini, değişik bağlantı yapılandırmaları kullanılabilecek bir model gerçekleştirmişlerdir.

Ramaprabha (2014), Parçacık Sürü Optimizasyonu tekniğini kullanarak parçalı gölge oluşumu altında en uygun bağlantı şeklini bulmaya çalışmıştır. Rasgele

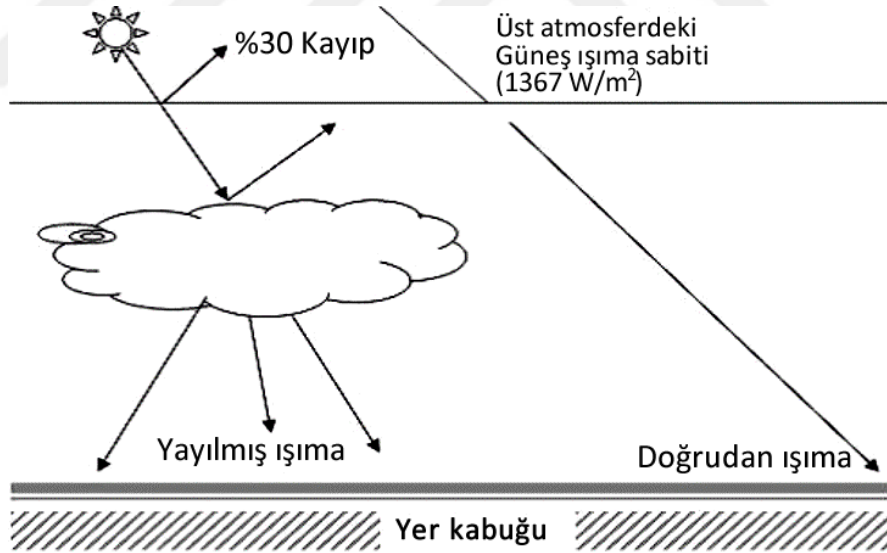
ürettiği farklı gölgeli koşullarda uygun bağlantı diziliminin değiştiğini gözlemlemiştir. Bu nedenle bağlantı şekli oluşturulurken gölgenin nerede oluşacağı tespitinin önemli olduğunu belirtmiştir.

Balato vd. (2015), yeniden yapılandırma algoritması ile PV örgülerdeki seri ve paralel bağlantı durumlarını incelemişlerdir. 24 adet PV panelden oluşan örgüyü Monte Carlo algoritması ile farklı bağlantılardaki uyumsuzluklarına çözüm getirmeye çalışmışlardır.



3. GÜNEŞ IŞINIMI

Güneş ortalama yüzey sıcaklığı 6000 °K olan sonsuz ve dünyanın en büyük enerji kaynağıdır. Güneş helyum ve hidrojenden ibarettir, kütle olarak yaklaşık % 80 hidrojen ve % 20 si ise helyumdur (Abdulazeez,2011). Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan hidrojen gazının helyuma dönüşmesine dayalı füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir (Zan, 2006). Dünyamıza gelen bu enerjiyi güneş ışıınımı olarak adlandırırız ve birimi W/m^2 olarak ifade edilir. Güneş ışıınım şiddeti dünya atmosferinin dış katmanı üzerinde sabit kabul edilip $1,367 W/m^2$ 'dir, ancak yeryüzünden fazla $1,060 W/m^2$ 'lik bir kısmı kullanılabilir. Güneş ışınları havaküreyi geçerken su buharı, oksijen, karbondioksit, ozon, azot, metan gibi gaz moleküllerinin yanında aerosol ve toz zerreciklerine saçılarak yeryüzüne ancak havaküre dışındaki enerjinin %70'i ulaşır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi %30 oranında atmosfer, bulutlar, çöller ve kar gibi nedenlerden dolayı kayıp oluşur (Zan, 2006).



Şekil 3.1. Atmosfere gelen ve yerkabuğuna değişik şekillerde ulaşan güneş ışıması

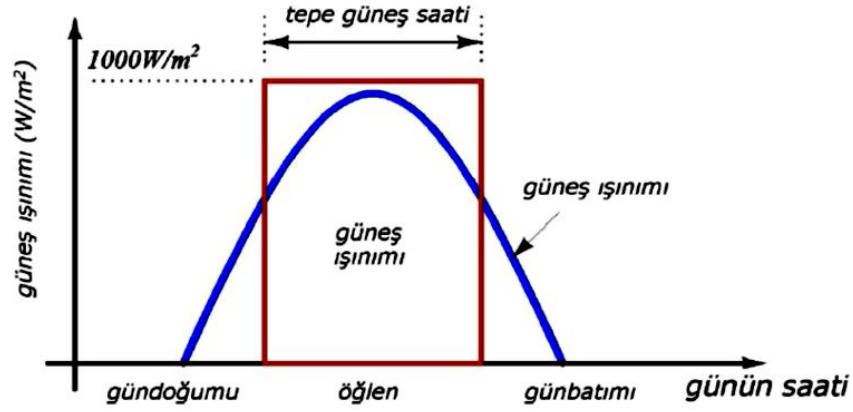
Yeryüzüne gelen toplam güneş ışıması doğrudan (direkt), yayılmış (diffuz) ve yansıtılmış ışıma olmak üzere 3 farklı şekilde oluşur. Doğrudan (direkt) ışıma; güneş ışıması atmosferden yerkabuğuna hiçbir engelle takılmadan direk ulaşması şeklinde olur. Toplam güneş ışımasının %80'ini oluşturup en büyük paya sahiptir. Yayılmış ışıma; atmosferin yoğunluğu, havadaki nem oranı, bulutlanma gibi

engellerle yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarıyla oluşur. Tam bulutlu havada direkt ışıma olmaz, güneş ışımaları yayılmış ışıma şeklide olur. Yansıtılmış ışıma da ise doğrudan ve yayılmış ışıma ile gelen ışınların parlak yüzeylerden yansması ile oluşur. Yansımanın olduğu yüzeyin şekli ve maddenin cinsi yansıyan ışımanın şiddetini ve dağılımını belirler. Yansıtan cisme reflektör ismi de verilebilir (Zan, 2006). Güneş enerjisi sistemlerinde verimi artırmak için reflektörler kullanılabilir. Yansıtılmış ışımanın katkısı genelde azdır ancak düşen kardan şiddetli yansımalar dolayısıyla önemli olabilir (Abdulazeez, 2011).

3.1.Güneş Işınımının Analizi

Yeryüzünün herhangi bir bölgesinde yüzeye düşen güneş ışımasını hesaplamak için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Güneş ışıması; soğurma ve saçılma gibi atmosferik etkiler, su buharı, bulut ve hava kirliliği gibi yerel atmosfer etkiler, bölgenin enlemi, mevsim yılın günü ve saati gibi etmenlerden dolayı değişiklik gösterir (Aydöner, 2010). Bu nedenle güneşlenme süresi, hava sıcaklığı, enlem, boylam, yağış, bağıl nem ve bulutluluk gibi, klimatolojik, meteorolojik ve coğrafi parametreler de global güneş ışımasını tahmin etmek için kullanılması gerekir.

Global güneş radyasyonunun tahmini için en çok kullanılan parametre güneşlenme süresi olup kolay ve güvenilir bir şekilde ölçülebilmektedir. Güneşli açık bir günde, global ışıyım şiddetini 1000 W/m^2 olarak kabul edilmektedir. Bu ışıyımın şiddeti, dünyanın güneşe uzaklığı ve güneş ile olan açısına göre değişmektedir. Bir gün boyunca, toplam 1000 W/m^2 'ye denk gelen güneşlenme süresine, tepe güneş saati denir. Örneğin, bir alanda ortalama 4000 W/m^2 ışıyım olmuş ise o bölgenin ortalama güneşlenme süresi 4 saat olarak kabul edilir.



Şekil 3.2. Tepe güneş saati

Gün doğumunda birim alana gelen güneş ışınımı 0 W/m^2 dir. Güneş yükseldikçe yüzeye gelen açıya bağlı olarak birim alana gelen ışınım artar. Öğle vaktinde gelen açı dikleştiği için bu değer maksimum seviyelerine ulaşır. Öğlenden sonra ise güneş batımı ile gelen açı azalarak günbatımında sıfır değerini alır. Işınım değerlerini frekansları ile birlikte tüm gün toplarsak Şekil 3.2'de gösterildiği gibi toplam enerji eldesi o bölge için hesaplanır. Bulunan bu değer 1000 W/m^2 ye bölünerek o bölgenin tepe güneş saati olarak da adlandırılan toplam güneşlenme zamanı bulunur (Aydöner, 2010).

3.2.Güneş Açıları

Güneşten yeryüzüne gelen ışınım şiddeti, gün içinde geliş açısına bağlı olarak değişir. Yüzeye gelen güneş ışımlarının değeri, düzlemin bulunduğu yerleşim yerinin coğrafik konumuyla, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimiyle değişiklik gösterir. Güneş panellerinin yüzeye eğimiyle birlikte üzerine düşen ışımaya miktarı için güneş açıları oldukça önemlidir. Bilinmesi gereken bazı güneş açıları şunlardır (Şenpınar, 2006):

a) Enlem açısı($\emptyset$) : Ekvatorun kuzeyinde ya da güneyinde, ekvator merkezine göre oluşan açı değeridir. Başka bir ifadeyle ekvator düzlemi ile yerden dünyanın merkezine olan radyal çizgi arasındaki açıdır. Ekvatorun kuzeyi pozitif, güneyi negatif kabul edilir. Enlem açısı, $-90^\circ \leq \emptyset \leq 90^\circ$ arasında değişir.

b) Deklinasyon açısı (δ) : Güneşin doğrultusu ile ekvator düzlemi arasındaki açı miktarıdır. Kuzey pozitif olmak üzere, deklinasyon açısı, $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ arasında değişir (Beckman, Duffie, 1991). Ekinoks tarihlerinde, yani gece ile gündüz zaman diliminin eşit olduğu zamanlarda (20 Mart ilkbahar ekinoksu, 23 Eylül sonbahar ekinoksu) deklinasyon açısının değeri, güneş ışığı ekvatora paralel olduğu için sıfırdır. Yaz gündönümünde (21 Haziran), deklinasyon açısının değeri $23,45^\circ$ ve kış gündönümünde (22 Aralık) ise $-23,45^\circ$ değerine sahiptir. Deklinasyon açısının değişimi Şekil 3.3’de gösterilmiştir (Messenger, Ventre, 2000)

Deklinasyon açısı, aşağıdaki denklemden (Cooper, 1969) hesaplanır:

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360(284+n)}{365} \right] \quad (3.1)$$

burada n, yılın gününü temsil eder ve 1 Ocak başlangıç olarak $n = 1$ kabul edilir.

c) Zenit açısı (θ_z):Güneşin doğrultusu ile dikey eksen arasındaki açı miktarıdır. Yatay düzlemde, güneşin doğuşu ve batışı sırasında zenit açısı 90° ve öğle saatinde (12:00) ise zenit açısı 0° ’dir. Güneş öğle saatinde havada en yüksek noktada bulunur. Enlem açısı, deklinasyon açısı ve zenit açısı arasındaki değişim Şekil 3.4’de görülmektedir(Messenger, Ventre, 2000). Zenit açısı aşağıdaki gibi hesaplanır (Beckman ve Duffie, 1991):

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \emptyset \cdot \cos w_s + \sin \delta \cdot \sin \emptyset \quad (3.2)$$

w_s saat açısıdır. Zenit açısı, güneş yükseklik açısını 90° ’ye tamamlar.

d) Güneş yükseklik açısı (α):Güneşin doğrultusu ile yatayın oluşturduğu açı miktarıdır. Zenit açısını 90° ’ye tamamladığı için, buradan güneş yükseklik açısı; $\alpha = 90^\circ - \theta_z$ olur.

e)Yüzey azimut açısı (γ): Yüzeyin dikeyinin, yerel boylama göre, sapmasını gösteren açıdır. -180° ile 180° arasında değişebilir. Güneye bakan yüzey için sıfır olur. Doğuya yönelen yüzeyde artı, batıya yönelen yüzeyde ise eksi değer alır.

f) Eğim açısı (β): Şekil 3.5'te görüldüğü gibi yatay ile verilen panel yüzey düzleminin oluşturduğu açı miktarıdır. Kuzey yarımkürede güneye eğimli düşünülür. Eğim açısı, $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ arasında değişmektedir. Açının değeri (Beckman ve Duffie, 1991):

$$\tan \beta = \tan \theta_z |\cos \gamma_s| \quad (3.3)$$

g) Saat açısı (w_s): Dünyanın merkezi ile güneş merkezini birleştiren çizgi ile dünya ekvator düzlemi arasında ölçülen açıdır. Zamanın açısal ölçüsüdür ve bir saat 15° boylama eşittir. Öğleden evvel açı eksi ve öğleden sonra artı değer alır. $w_s = 15(t - 12)$ ifadesi ile hesaplanabilir.

h) Güneş geliş açısı (θ): Bir yüzeye direkt gelen ışıqla o yüzeyin normali arasındaki açı miktarıdır. Güneşin geliş açısını temsil eder. Bu açı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cdot \cos \beta + \sin \theta_z \cdot \sin \beta \cdot \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (3.4)$$

Burada γ , yüzey azimut açısıdır.

Daha genel bir hesaplama yönteminde ise;

$$\cos \theta = (A - B) \sin \delta + [C \sin w + (D + E) \cos w] \cos \delta \quad (3.5)$$

$$A = \sin \theta \cos \beta \quad B = \cos \theta \sin \beta \cos \gamma \quad C = \sin \beta \sin \gamma \quad (3.5a)$$

$$D = \cos \theta \cos \beta \quad E = \sin \theta \sin \beta \cos \gamma \quad (3.5a)$$

Sabah erken ve akşam geç saatler için θ geliş açısı 90° 'yi aşabilir, yani $\cos \theta$ negatif olur. Bu durumda güneş ışığının yüzeyin arkasına düşeceği hatırlanmalıdır.

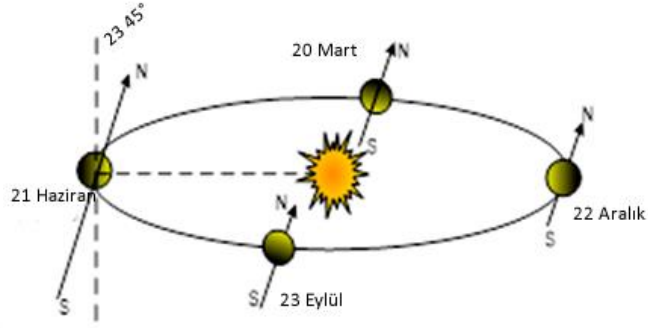
Bazı özel durumlarda;

Güneye yönlendirilmiş ($\gamma = 0$) düzlem ve eğimi de enleme ayarlanmış ($\beta = 0$) ise;

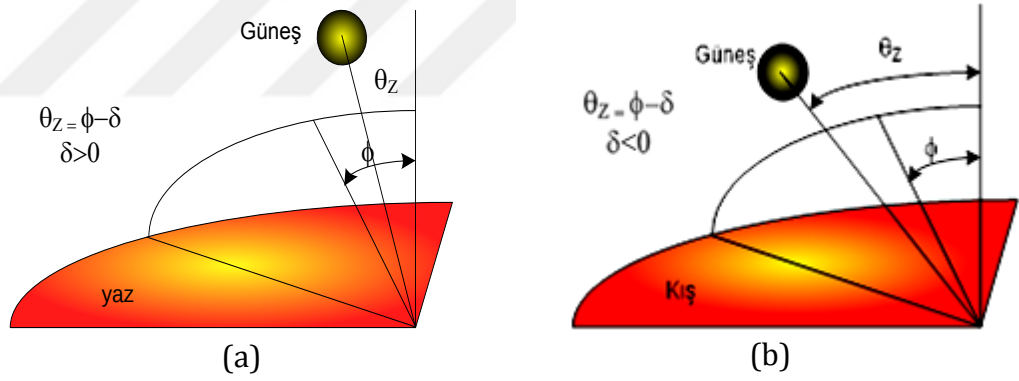
$$\cos \theta = \cos w \cos \delta \quad (3.6)$$

Güneye yönlendirilmiş ($\gamma=0$) yatay yüzey ($\beta = 0$) için ise formül şu hale gelmektedir.

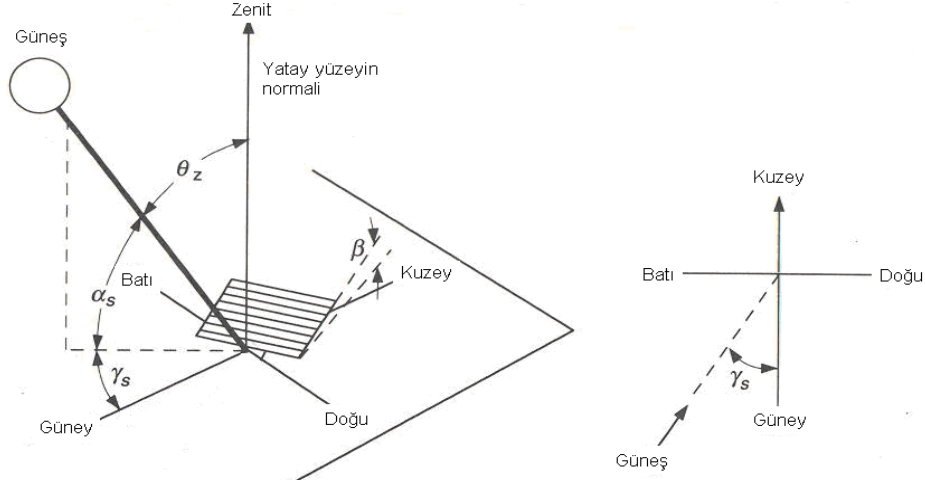
$$\cos\theta = \sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\omega\cos\delta \quad (3.7)$$



Şekil 3.3. Yılın farklı zamanlarındaki dünyanın yörüngesi ve deklinasyonu



Şekil 3.4. Yazın ve kışın öğle saatinde θ_z , δ ve ϕ açısı arasındaki ilişki (a, b)



Şekil 3.5. Güneşle ilgili açılar (Şenpınar, 2006)

3.3. Güneş Radyasyonu Hesaplama Yöntemleri ve Kullanılan Modeller

Günlük ortalama global güneş radyasyonunun belirlenmesi için kullanılan Lineer model veya Angstrom-Presscott-Page (Angstrom, 1924) modeli olarak adlandırılan model denklik 3.8 ile verilen denkliği ile ifade edilir.

$$H = H_0 + a + b \frac{S}{S_0} \quad (3.8)$$

H aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu, H_0 aylık ortalama günlük dünya dışı güneş radyasyonu, S gün uzunluğunu, S_0 maksimum mümkün güneşlenme süresini, a ve b katsayıları göstermektedir. Yatay bir yüzey üzerine gelen dünya dışı güneş ışıınımı denklik 3.9 ile hesaplanabilir.

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left[\cos \lambda \cos \delta w_s + \frac{\pi}{180} w_s \sin \lambda \sin \delta \right] \quad (3.9)$$

Burada, I_{gs} güneş sabiti (1367 W/m^2), f dünya yörüngesinin düzeltme katsayısı, λ enlem, δ güneş deklinasyon açısı ve w_s ay için ortalama gündeğümü saat açısını göstermektedir (Duffie ve Beckman, 1991). Düzeltme katsayısı, deklinasyon açısı ve gündeğümü saat açısı denklik 3.12 kullanılarak hesaplanabilir.

$$f = 1 + 0,033 \left(\cos \frac{360n}{365} \right) \quad (3.10)$$

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360(284+n)}{365} \right] \quad (3.11)$$

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan \lambda \tan \delta) \quad (3.12)$$

Burada, n, 1 Ocaktan başlayan gün sayısıdır. Belirli bir ay için, mümkün olan en yüksek güneşlenme süresi (S_0) denklik 3.13 kullanılarak hesaplanabilir (Duffie ve Beckman, 1991).

$$S_0 = \frac{2}{15} w_s \quad (3.13)$$

Bunun yanında başka bir model olan karekök modelindeki ikinci dereceden polinom kullanılarak denklik 3.14 ile hesaplama yapılabilir.

$$H = H_0 \left[a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) + c \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \right] \quad (3.14)$$

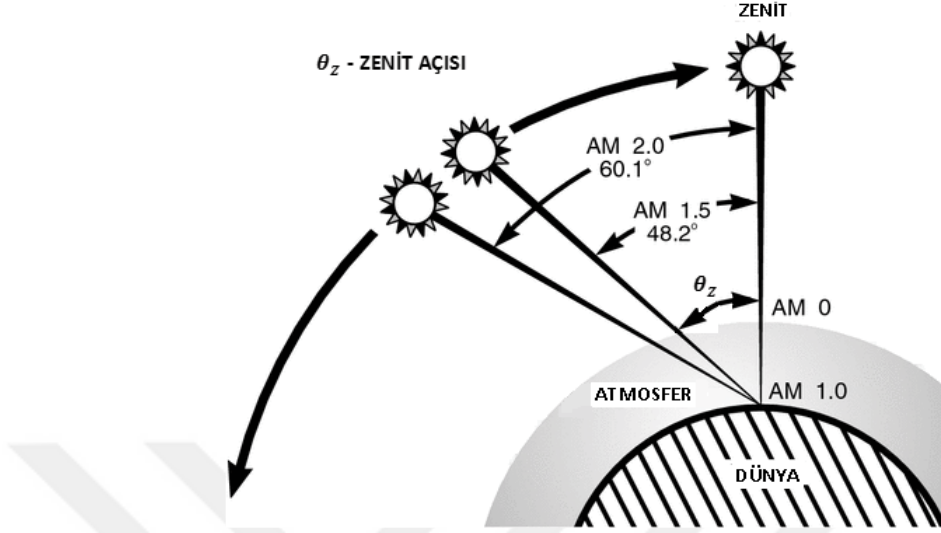
Küpkök modelde ise global güneş radyasyonunun, atmosfer öncesi radyasyona oranı; denklik 3.15 deki gibi güneşlenme süresi oranının üçüncü dereceden ifade edilen bir fonksiyonu ile tanımlanmıştır.

$$H = H_0 \left[a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) + c \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 + d \left(\frac{S}{S_0} \right)^3 \right] \quad (3.15)$$

Eşitliklerdeki a,b, c ve d korelasyon katsayılarıdır (Öztürk vd., 2012).

Bir başka modelde hava kütesine bağlı olarak radyasyon hesabı yapılmaktadır. Güneşli bir günde deniz seviyesinde ve normal basınç altında, güneşten gelen ışıının herhangi bir doğrultuda atmosfer boyunca aldığı yolun, güneşin zenitte bulunduğu konumda aldığı yola oranına hava kütesi (air mass) adı verilir. Şekil 3.6' da güneş ışıının güneşin izlediği yola göre durumu gösterilmiştir. Güneşin zenitte bulunduğu konumda hava kütesinin değeri birdir ($AM=1$) ve diğer zamanlarda hava kütesinin yeryüzündeki değeri 1'den büyüktür. Hava kütesi θ z zenit açısı olmak üzere denklik 3.16 ile hesaplanır (Eke, 2000).

$$AM = 1/\cos(\theta_z) \quad (3.16)$$



Şekil 3.6. Güneş ışınının atmosferi geçerken aldığı yolun ışının geliş doğrultusuna göre değişimi (Anonim, 1996).

Hava kütlesi atmosfer dışında AM0 ile ifade edilir. Güneşli bir günde standart koşullarda ($\theta_z=48^\circ$) hava kütlesi AM1.5 olarak alınır.

Yeryüzüne düşen ışık şiddeti hava kütlesine (air mass) bağlı olarak,

$$I = 1367 * (0.7)^{AM} \quad (3.17)$$

denklik 3.17 olarak ifade edilir (Messenger, 2005). Bu ifadeye göre atmosfer dışına gelen güneş ışıınımı miktarı (AM0) 1367W/m^2 olarak elde edilir. Güneşin zenitte bulunduğu konumda ($\theta_z = 0^\circ$) hava kütlesinin değeri bir olduğunda (AM1) yeryüzüne gelen güneş ışıınımı 957W/m^2 olur. Standart test koşullarında güneşli bir günde zenit açısı olduğu durumda yeryüzüne gelen güneş ışıınımı miktarı (AM1,5) 800W/m^2 $\theta_z=48^\circ$ olarak hesaplanır (Sarıoğlu, 2012).

Güneş radyasyonu bu hesaplama modelleriyle tahmini olarak hesaplanabilir. Meteoroloji istasyonlarında güneş ışıınımı değeri ölçölüp arşivlemektedir. Bu tez çalışmasında güneş ışıınımı bilgilerini Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait TÜMAŞ veri erişim merkezinden alınan veriler kullanılmıştır. Isparta iline ait bu

veriler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Veri toplayan bu istasyon 997 m denizden yükseklikte, 37,7848 Kuzey enleminde, 30,5679 Doğu boylamında yer almaktadır. Bir yıllık 2012 Mayıs-2013 Mayıs tarihleri arasında saatlik olarak ışıınım, sıcaklık ve güneşlenme süresi verileri bulunmaktadır.

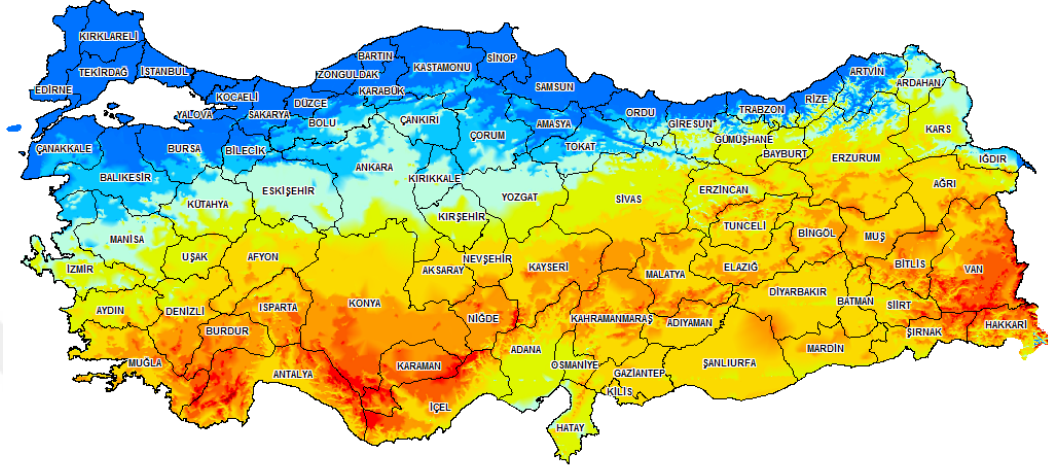
Çizelge 3.1. Isparta ili günlük meteoroloji istasyonu verileri

İstasyon	İl	İşınım (W/m ²)	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Tarih
17240	İSPARTA	3,198333	11,7	0	2012-05-02 00:00
17240	İSPARTA	2,995	10,3	0	2012-05-02 01:00
17240	İSPARTA	3,478333	9,9	0	2012-05-02 02:00
17240	İSPARTA	5,545	9,3	0	2012-05-02 03:00
17240	İSPARTA	45,95667	11	0	2012-05-02 04:00
17240	İSPARTA	112,9	13,1	0	2012-05-02 05:00
17240	İSPARTA	215,1567	14,3	0	2012-05-02 06:00
17240	İSPARTA	347,08	15,9	0	2012-05-02 07:00
17240	İSPARTA	440,6533	17,9	0	2012-05-02 08:00
17240	İSPARTA	574,4333	20,4	0,1	2012-05-02 09:00
17240	İSPARTA	721,5767	22,5	0,7	2012-05-02 10:00
17240	İSPARTA	624,8483	23,6	0,5	2012-05-02 11:00
17240	İSPARTA	668,0933	24,5	0,6	2012-05-02 12:00
17240	İSPARTA	467,74	24,1	0,3	2012-05-02 13:00
17240	İSPARTA	275,37	23,5	0,2	2012-05-02 14:00
17240	İSPARTA	111,9983	22,4	0	2012-05-02 15:00
17240	İSPARTA	54,83667	21,2	0	2012-05-02 16:00
17240	İSPARTA	3,893333	19,5	0	2012-05-02 17:00
17240	İSPARTA	2,603333	16,8	0	2012-05-02 18:00
17240	İSPARTA	3,51	15,3	0	2012-05-02 19:00
17240	İSPARTA	3,27	14,2	0	2012-05-02 20:00
17240	İSPARTA	3,863333	13,7	0	2012-05-02 21:00
17240	İSPARTA	3,906667	13,5	0	2012-05-02 22:00
17240	İSPARTA	3,695	13,3	0	2012-05-02 23:00

3.4. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Şekil 3.7’de güneşlenme haritası gösterilmiştir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMI) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE(Elektrik İşleri Etüt İdaresi) tarafından yapılan

çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıyım şiddeti 1311 kW/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kW/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Türkiye güneşlenme haritası (YEGM, 2014)

Çizelge 3.2. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (YEGM, 2014)

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(Kcal/cm ² -ay)	(kW/m ² -ay)	(Saat/ay)
OCAK	4,45	51,75	103
ŞUBAT	5,44	63,27	115
MART	8,31	96,65	165
NİSAN	10,51	122,23	197
MAYIS	13,23	153,86	273
HAZİRAN	14,51	168,75	325
TEMMUZ	15,08	175,38	365
AĞUSTOS	13,62	158,4	343
EYLÜL	10,6	123,28	280
EKİM	7,73	89,9	214
KASIM	5,23	60,82	157
ARALIK	4,03	46,87	103
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kW/m ² -gün	7,2 saat/gün

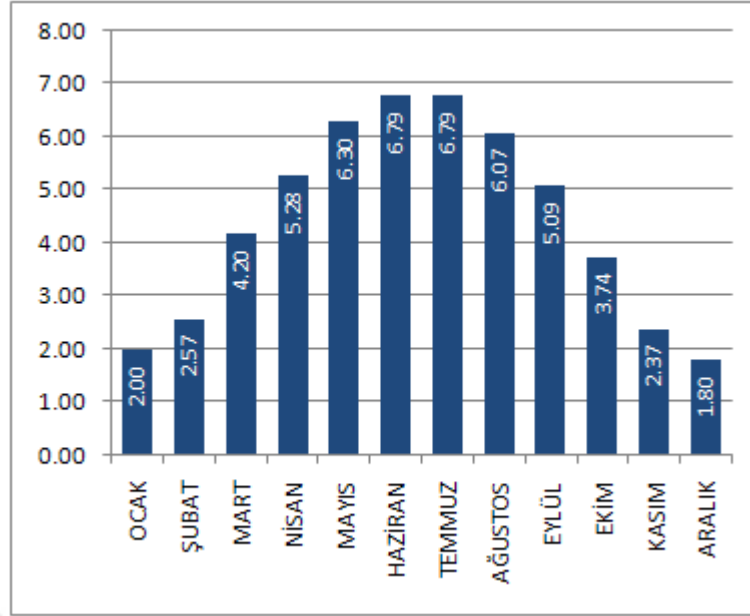
Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme

süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Çizelge 3.3'de verilmiştir. Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir. EİE'nin ölçü yaptığı 8 istasyondan alınan yeni ölçümler ve DMİ verileri yardımı ile 57 ile ait güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri değerleri hesaplanarak bir kitapçık halinde basılmıştır.

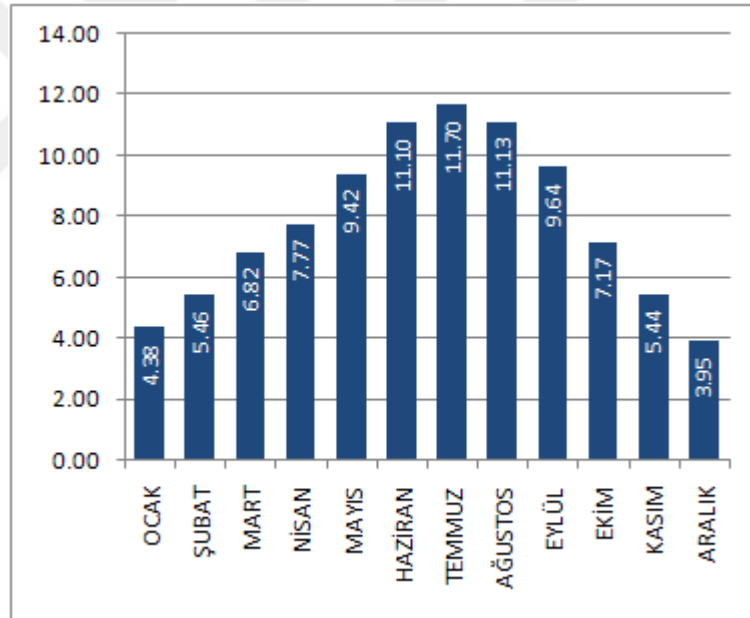
Çizelge 3.3. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (YEGM, 2014)

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
	(kW/m ² -yıl)	
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Bu tez çalışmasında kullandığım Isparta ilinin Şekil 3.8'de yıllık global radyasyon değerleri ve Şekil 3.9'da yıllık güneşlenme süresi gözükmektedir.



Şekil 3.8. Isparta global radyasyon değerleri (kW/m²-gün) (YEGM, 2014)



Şekil 3.9. Isparta güneşlenme süreleri (Saat-Ay) (YEGM, 2014)

4. GÜNEŞ PİLLERİ

Güneş pilleri güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren fotovoltaiik (PV-Photovoltaic) aygıtlardır. Güneş pillerinin çalışması esas olarak fotoelektrik etkiye dayanmaktadır.

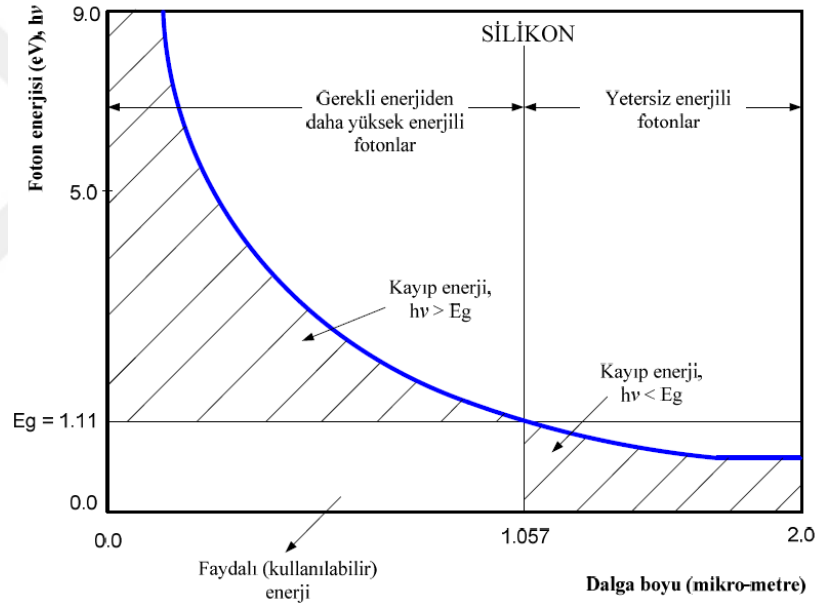
Fotovoltaiik malzemeler, ışık (foton) enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmeyi sağlarlar. Bu enerji dönüşümünü sağlamada yarı iletken malzemelerle ışık enerjisini alabilecek yüzeyden yararlanılır (Akyüz,2010). Temelde aldıkları enerjinin küçük bir kısmını elektrik enerjisine çevirebilirler. Birim alana gelen güneş enerjisinin hangi oranda elektrik enerjisine dönüştürülebileceğini belirleyen, güneş pillerinin verimidir (Eke,2007). Pillerden elde edilen verim henüz istenilen düzeye çıkarılmış değildir, ancak PV pillerinin geleceği parlak gözükmemektedir.Sonsuz sayılabilecek bir kaynaktan beslenmeleri, atık madde oluşturmamaları en önemli tercih sebeplerindendir (Özdemir, 2007). Tek başına olmasa bile,diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte gelecekte dünya elektrik üretiminin önemli bir bölümünü oluşturacakları tahmin edilmektedir. Şekil 4.1’de PV panellerin günlük hayatta kullanımıyla ilgili bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 4.1. PV panellerin kullanımı

4.1. Fotovoltaik Etki

Fotovoltaik etki birbirinden farklı iki malzemenin ortak temas bölgesinin foton radyasyonu ile aydınlatılması durumunda bu iki malzeme arasında oluşan elektriksel potansiyel olarak tanımlanabilir. Elektron enerjisi, foton enerjisi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Eğer foton enerjisi yarı iletken malzemenin boşluk band genişliğinden daha fazla ise elektronlar iletim bandına geçerlerve Şekil 4.2'deki gibi kullanılabilir foton enerjisi düzeyinde olurlar.Ancak yarı iletken malzemenin boşluk band genişliğinden daha az enerjiye sahip olan foton enerjiler fotovoltaik dönüşüme katkıları yoktur, ancak hücrenin ısınmasına neden olur(Abdulazeez, 2011).



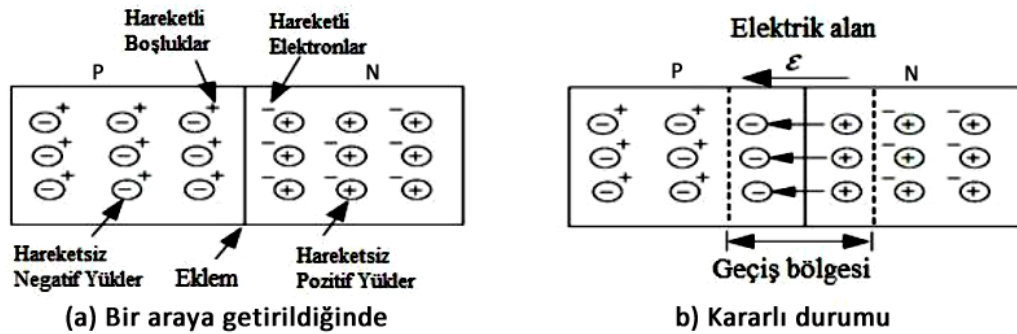
Şekil 4.2. Silikon yapıli güneş pillerinin çalışması noktası (Eke,2007)

4.2. Güneş Pilinin P-N Eklemleri

Diyot, transistor gibi elektronik gereçlerin yapımında kullanılan yarıiletken maddeler fotovoltaik güneş pilinin de esas malzemeleri olup genelde bu alanda kullanılan yarıiletkenler silisyum, germanyum, arsenik, kadmiyum, tellür gibi maddelerdir (Zan, 2006).

Fotoelektrik olay prensibine dayanarak pilden fotonlar tarafından kopartılan elektronlar eklemde harekete geçer ve bir elektrik akımı oluşturur. Yarı-iletken malzemelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için N ya da P tipi katkıları gereklidir. P ve N tipi yarı iletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani P tipinde negatif enerji seviyeleri ile boşluk sayıları eşit, N tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir (Abdulazeez, 2011). Son yörüngesindeki elektron sayısı 3 olan bir başka atom katkılanırsa "P" tipi yarıiletken, son yörüngesindeki elektron sayısı 5 olan bir başka atom katkılanırsa "N" tipi yarıiletken elde edilir (Zan, 2006).

Katkılanma, saf yarı-iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin N ya da P tipi olması katkı maddesine bağlıdır. P ya da N tipi ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarı-iletken eklemeler oluşturulur. PN eklem oluşturduğunda, N tipindeki elektronlar, P tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafla da yük dengesi oluşana kadar devam eder, Şekil 4.3'de gösterilmiştir (Abdulazeez, 2011). Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar.



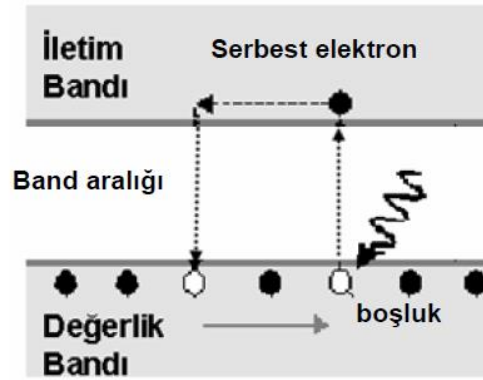
Şekil 4.3. Güneş pilinin P-N eklemi

PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafından negatif verici iyonlar, N bölgesi tarafından pozitif alıcı iyonlar birikir. Bu eklem

bölgesine geçiş bölgesi ya da yükten arındırılmış bölge denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan, yapısal elektrik alanı olarak tanımlanır. Yapımı ve çalışması açısından diyotlara benzeyen güneş pillerinin uyarılması ışıkla sağlanıp elektrik akımı ve dolayısıyla elektromotor kuvveti meydana gelir (Zan, 2006).

4.3. Güneş Pilinin Yapıları ve Çalışma Prensibi

Birbirinden farklı iki yarı iletken (P-N) maddenin ortak temas bölgesinin foton radyasyonu ile aydınlatılması durumunda bu iki malzeme arasında elektriksel bir potansiyel oluşmaktadır (Akyüz, 2010). Yarı iletken eklem güneş pili olarak çalışabilmesi için, eklem bölgesinde fotovoltaj dönüşümünün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-boşluk çiftleri oluşturulur. Bu olay, PN eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise, elektron-boşluk çiftleri buradaki elektrik alanı tarafından birbirlerinden ayrılır (Abdulazeez, 2011). Şekil 4.4'de band aralığı ve ayrılan elektronlar görülmektedir.



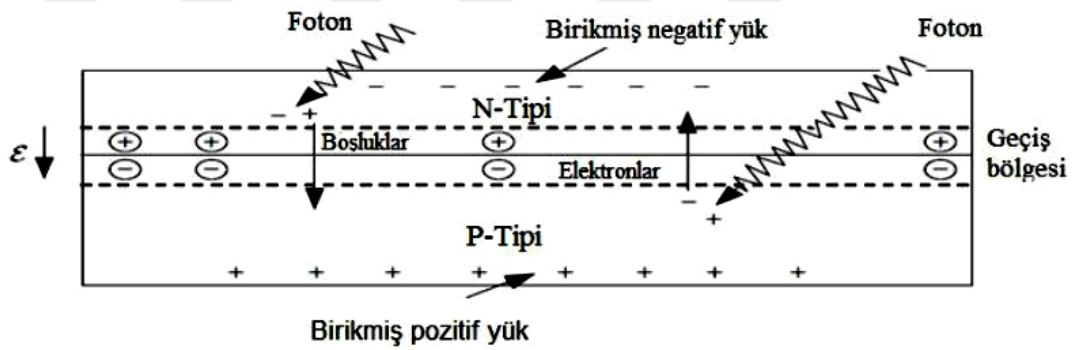
Şekil 4.4. Bir yarı iletken malzemede elektron-boşluk çifti oluşumu (Eke,2007)

Yeterli enerjiye sahip fotonlar yarı iletken malzemelerde boşluk-elektron çifti oluşturur. Boşluklar (+) yüklü, elektronlar (-) yüklüdür ve boşluk elektron hareketiyle dış devrede akım akıtılmaktadır. Ancak bu olay kendi kendine oluşmaz bunun için elektronların değerlik bandından iletim bandına taşınması için gerekli olan enerji fotonlar tarafından sağlanmalıdır. Fotonlar dalga boylarıyla, frekanslarıyla ve enerjileri ile karakterize edilebilirler. Dalga boyu λ ,

olan bir fotonun enerji h plank sabiti, c ışık hızı olmak üzere denklik 4.1 ile hesaplanabilir.

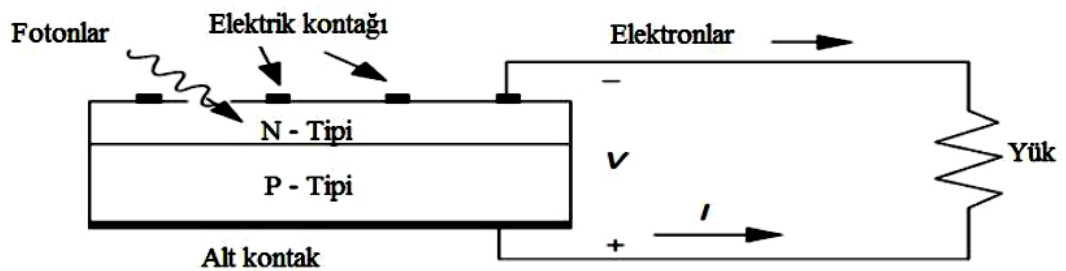
$$E = h \cdot f = h \frac{c}{\lambda} \quad (4.1)$$

Birbirlerinden ayrılan elektron-boşluk çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpması ile aynı şekilde devam eder. Yarı iletkenin iç kısımlarında da gelen fotonlar tarafından elektron-boşluk çiftleri oluşturulmaktadır. Şekil 4.5'de bu durum gösterilmektedir. Fakat gerekli elektrik alanı olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar(Abdulazeez, 2011).



Şekil 4.5. Işınım altındaki P-N eklem

Hücresinin üst ve alt kısmına elektrik kontak eklenirse, elektronlar N-tarafından yük üzerinden devam edip P-tarafına ulaşarak boşluk ile birleşip devreyi Şekil 4.6'daki gibi tamamlarlar(Abdulazeez, 2011).



Şekil 4.6. Güneş pilinin çalışması

4.4. Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır.

4.4.1. Tek kristal silisyum (m-Si)

Günümüze kadar üretilen güneş pillerinin çoğu tek kristal silisyum yapısındadır. Bu türde silisyum çok düzenli bir örgü yapısına sahip olup gerçekte kristal yapıda örgü kusurları ve safsızlıklar yoktur.

Silisyum, yarı iletken özellikleri gösteren ve güneş pili yapımında en çok kullanılan bir maddedir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan başka maddelerde olmakla birlikte, silisyum hem teknolojik üstünlüğü nedeniyle, hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir. Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar şekline getirilen tek kristal silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristal silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 seyrindedir (Abdulazeez, 2011).

4.4.2. Çok kristalli silisyum(p-Si)

Çok kristalli silisyum malzemede damarların kristal yapılarının birbirilerine göre yönelmeleri dışında elektriksel ve optiksel özellikleri özdeştir. Damarların büyüklükleri kristalin kalitesi ile doğru orantılıdır. Çok kristalli malzemenin elektriksel özelliklerinin küçülen damar büyüklüğü ile orantılı olarak bozulması, elde edilebilecek verimliliğin tek kristalle karşılaştırıldığında küçük olmasına neden olur. Ancak çok kristalli silisyum üretim teknolojileri daha az enerji yoğun ve daha kolaydır, sonuç olarak çok kristalli silisyumun maliyeti önemli ölçüde düşüktür (Eke, 2007).

4.4.3. Amorf silisyum(a-Si)

Soğurma katsayısı görünür bölgede c-Si'ye göre çok büyük olan a-Si, 250°C dolayındaki sıcaklıklarda geniş yüzeylere düzgün şekilde kaplanabilmektedir. Yarı iletken malzeme içerisindeki yapı taşlarının bu gelişigüzel dizilişi a-Si'nin elektriksel iletim kalitesini düşürse de, uygun yaklaşımlara yarı iletken içerisine %5-10 oranında hidrojen katılarak elektriksel özellikler fotovoltaiik çevirime uygun olan düzeyde tutulabilirler (Eke, 2007).

Kristal yapı özelliği göstermeyen silisyum pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesinde (Abdulazeez, 2011). Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılır. Amorf silisyum güneş pili binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilir.

4.4.4. Kadmiyum tellür (CdTe)

İki yarı iletkenin Kadmiyum ve Telleryumun birleştirilmesi ile oluşturulmuş ince film güneş pili malzemesidir (Eke, 2007). CdTe güneş pillerinin avantajlarından biri daha basit ve pahalı olmayan elektrokaplama yöntemi ile elde edilebilmesidir.

Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin daha da azalacağı tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir (Abdulazeez, 2011).

4.4.5. Galyum arsenit (GaAs)

Yüksek ışık emiş katsayısına sahip yüksek sıcaklıklarda daha verimli çalışan bu malzemeyle laboratuvar şartlarında % 25 civarında verim elde edilmektedir. Diğer yarı iletkenlerle birlikte katkılama ile elde edilen GaAs pillerde % 30 verim elde edilebilmektedir (Akyüz, 2010). GaAs malzemesi uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.

4.4.6. Bakır indiyum diselenid (CuInSe₂ veya CIS)

Laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir (Abdulazeez, 2011). Soğurma özelliği oldukça yüksektir. Öyle ki CIS üzerindeki ısımanın %99'u daha malzemenin ilk mikrometrelerinde soğrulur (Zan, 2006).

Güneş pili çeşitlerine göre elde edilmiş en yüksek verimlilik değerleri Çizelge 4.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Güneş pillerinde rapor edilmiş en yüksek verimlilikler (Karamanav, 2007)

Fotovoltaik Pilin Cinsi	Alan(cm ²)	Verimlilik(%)	Üretilen Birim
Tek Kristalli Silisyum	4,00	24	UNSW, Sydney Avustralya
Çok kristalli Silisyum	21,2	17,4	ISE, Freiburg, Almanya
Amorf Silisyum	1	14,7	United Solar
(Cu/In, Ga)Se ₂	0,4	17,7	NREL, USA
CdTe/CdS		15,8	USA
GaAS Tek kristal	1	23,9	K.Univ, Nijmegen Hollanda

4.5. Fotovoltaik Hücre, Modül ve Örgülerin Yapısı

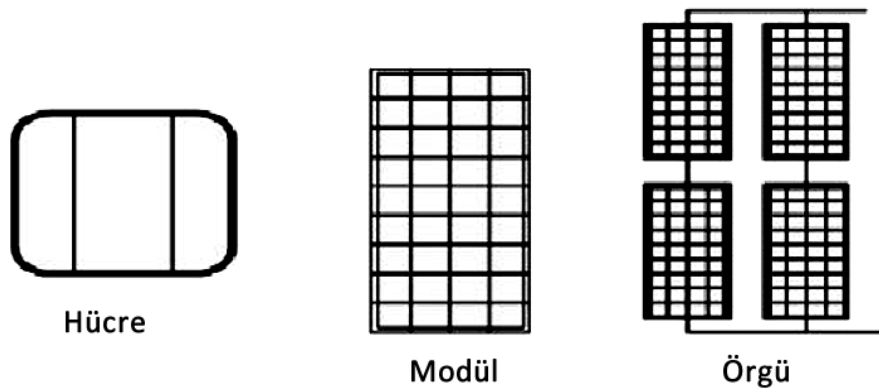
Standart test koşullarında bir güneş pilinin maksimum çıkış gücü 1-1,5W arasında değişmektedir (Sarıoğlu, 2012). Bir güneş pilinden elde edilebilecek akım ve gerilim değerleri oldukça düşüktür. Bu nedenle güneş pilleri çıkış gerilimini artırmak için birbirine seri bağlanırlar. Aynı şekilde çıkış akımını artırmak için de birbirine paralel bağlanırlar.

PV uygulamalarında kullanılan temel yapıysa güneş modülleridir. Paketlenmiş güneş pillerinden oluşan diziye modül ve panel denir. Modüller genel olarak 36 gözenin seri bağlanması ile elde edilir. Seri bağlı 36 gözenin açık devre gerilimi 18-21V ve kısa devre akımı gözeler seri bağlandığı için 2-2,5A değerindedir. Modüller halinde paketlenmiş güneş pilleri genellikle 12V'luk veya 24V'luk bir

bataryayı şarj edebilecek çıkış gerilimine sahip olacak şekilde tasarlanırlar.

Modüllerin verebilecekleri akım ise yüzeye düşen ışığın şiddetiyle değişmekle birlikte modül içerisindeki paralel bağlı her bir güneş pilinin kapladığı alanla da ilgilidir (Eke, 2007).

Modülleri seri bağlayarak gerilimi artırırız veya paralel bağlayarak akımı artırmış oluruz. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç watttan megawatlara kadar sistem oluşturulur, bu kombinasyona örgü denilmektedir. PV sistem tasarımında önemli olan unsuruya, ihtiyacımızdaki enerjiyi elde etmek için modüllerin kaçını seri kaçını da paralel bağlamamız gerektiğidir. Panel veya örgüden üretilecek elektriği kullanılabilecek hale getiren düzenleyici elektronik yardımcı sistemleri (DA/DA çevirici veya inverterler) de içeren gruba sistem denir. Şekil 4.7’de hücre, modül(panel) ve örgüler arasındaki ilişki gösterilmektedir (Abdulazeez, 2011).



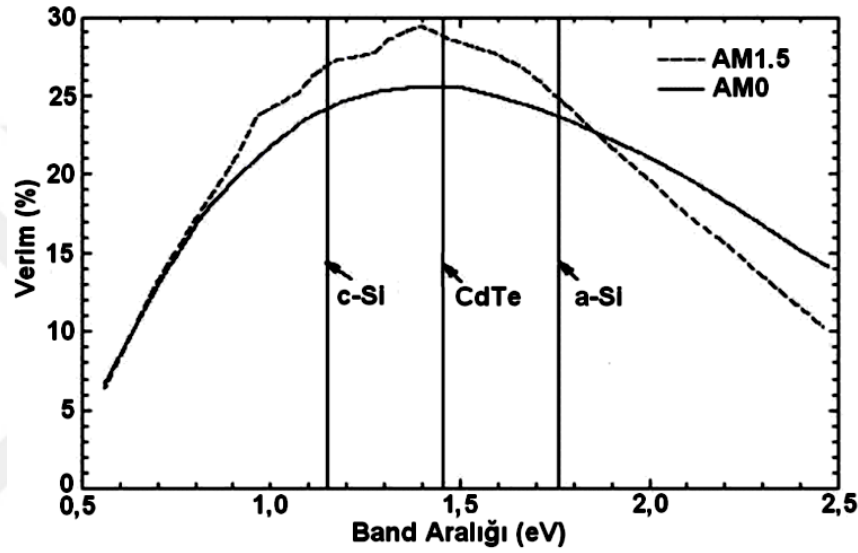
Şekil 4.7. Hücre, modül ve örgüler (Abdulazeez, 2011)

4.6. PV Panel Verimi

PV hücreler güneşten aldıkları enerjinin hepsini elektrik enerjisine dönüştüremezler. Birim alanda üretilen elektrik enerjisinin ışıyım yolu ile gelen enerjiye oranı verimi vermektedir. Maksimum güç değeri P_{max} 'ın, PV diyot üzerine gelen ışının gücü P_{in} 'e, olan oranı verimlilik olarak tanımlanır. Çeşitli üretim tekniklerinde ve değişik maddelerle üretilen PV panellerin verimleri her

geçen gün daha da artarak günümüzde %21 değerine kadar ulaşmıştır (Akyüz, 2010).

Güneş pilinin yapıldığı yarı iletken malzemenin band aralığı, sıcaklık ve ışınlam etkisini anlayabilmek için çok önemli bir parametredir. Yarı iletken malzemenin band aralığı teorik maksimum verimi doğrudan belirlemektedir (Eke, 2007). Şekil 4.8’de farklı yarı iletken maddelerinden yapılan güneş pillerinin band aralığına bağlı verim değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Güneş pilinin yapıldığı yarı iletken malzemenin band aralığına bağlı olarak teorik verimin değişimi (Eke, 2007)

4.7. PV Hücre Elektriksel Modeli

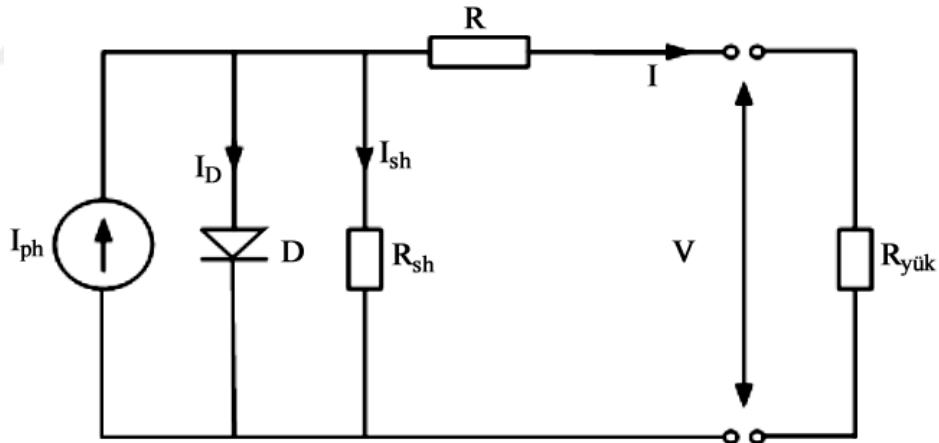
Güneş pilleri P-N yarı iletkenlerinin ince bir katman haline getirilerek birleştirilmesinden oluşur. Karanlıkta PV hücre çıkış I-V karakteristiği diyot karakteristiğine çok benzer. Işıktaki fotonlar etkisiyle elektron hareketi ile akım sağlanır. PV panel kısa devre olduğunda bu akım harici yük üzerinden, açık devre halinde bırakıldığında ise bu akım karakteristik P-N bileşimli diyot üzerinden devresini tamamlar (Özdemir, 2007).

PV diyotların davranışlarını anlamak ve karakteristiklerini incelemek için elektriksel özellikleri iyi bilinen elemanlardan oluşan bir eşdeğer devresine gerek

duyulmaktadır. PV diyotlar ideal elemanlar olmayıp yapısı itibariyle kayıplı elamanlardır. Bu nedenle kayıplar direnç ile temsil edilmektedir (Kılıç, 2007).

PV diyotlar için yaygın olarak kullanılan eşdeğer devre modeli Şekil 4.9'da görülmektedir. Şekil 4.9'da akım kaynağı I_{ph} fotonlar tarafından üretilen akımı göstermektedir ve sabit ışınlım ve sıcaklık altında değeri sabittir. Paralel R_{sh} direnci sızıntı akımını temsil etmek için, seri R_s direnci ise çıkıştaki gerilim düşümünü temsil etmek için kullanılmaktadır. Fotovoltaik dönüşümün verimliliği, R_s 'deki küçük değişimlere duyarlıdır(Kılıç, 2007). Ancak R_{sh} 'deki değişimlere duyarlı değildir. R_s 'deki küçük bir artış, fotovoltaik modül çıkışını önemli ölçüde azaltır.

Güneş pilleri Şekil 4.9'daki gibi bir akım kaynağı, akım kaynağına paralel bağlı direnç ve diyot, oluşan yapıya seri bağlı bir direnç ile ifade edilirler (Özdemir, 2007).



Şekil 4.9. PV diyot eşdeğer devresi (Kılıç, 2007)

Şekil 4.9'daki devreye Kirşof'un akımlar kanunu uygulanırsa,

$$I_{ph} = I_D + I_{sh} \quad (4.2)$$

Diyot akımı, P-N ekleminden geçen toplam akım olup matematiksel olarak fotonlar tarafından harekete geçirilen elektronlar ve boşluklar tarafından

oluşturulan akımların toplamıdır. İletim bandındaki elektron durumlarının ve valans bandındaki boşluk akımlarının Boltzman dağılımı ile net elektron akımı,

$$I_e = I_{e0}(\exp\left(\frac{qV_D}{k_b T}\right) - 1) \quad (4.3)$$

Boşluk akımı ise;

$$I_h = I_{h0}(\exp\left(\frac{qV_D}{k_b T}\right) - 1) \quad (4.4)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda diyot akımı net elektron ve boşluk akımlarının toplamı;

$$I_D = I_e + I_h = I_0(\exp\left(\frac{qV_D}{mkT}\right) - 1) \quad (4.5)$$

olarak ifade edilebilir. Diyot akımı I_D , diyodun mutlak sıcaklığı, gerilim ve yük tarafından çekilen akımın bir fonksiyonu olarak değişir. Denklik 4.5’de q elektron yükünü ($1.602 \times 10^{-19} \text{C}$), V_D diyodun uçları arasındaki potansiyel farkını, m idealite faktörünü (ideal diyotlarda $m = 1$), k Boltzman sabitini ($1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$) ve T Kelvin ($0^\circ \text{K} = -273.15^\circ \text{C}$) cinsinden mutlak sıcaklığı temsil etmektedir. $I_0 = I_{e0} + I_{h0}$ karanlık doyma akımı (dark saturation current) veya ters doyum akımı (reverse saturation current) olarak tanımlanmaktadır. Bu akım değeri sıcaklıktan oldukça etkilenmektedir. Şekil 4.9’da verilen PV diyot eşdeğer devresinden Kirşof’un gerilimler kanunu uygulanarak denklik 4.4’de kaynak akımının ifadesi elde edilir.

$$I_D = I_e + I_h = I_0(\exp\left(\frac{qV_D}{mkT}\right) - 1) = I_0(\exp^{q\left(\frac{V_{pv} + I.R_s}{mkT}\right)} - 1) \quad (4.6)$$

$$I_{sh} = \frac{V_D}{R_{sh}} = \frac{V_{pv} + I.R_s}{R_{sh}} \quad (4.7)$$

$$I_{ph} = I_0 \left(\exp^{q\left(\frac{V_{pv} + I.R_s}{mkT}\right)} - 1 \right) + \frac{V_{pv} + I.R_s}{R_{sh}} \quad (4.8)$$

Denklik 4.8 kullanılarak PV diyot uçlarındaki akımı ve gerilimi matematiksel olarak elde etmek oldukça zordur. Bu amaçla sayısal yöntemler (Newton-Raphson vb. yöntemler) uygulanmalıdır. Sayısal çözümlemeyi basitleştirmek amacıyla yaygın olarak basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli kullanılmaktadır. $R_{sh} \gg R_s$ gerçeği dikkate alınarak sızıntı akımı ihmal edilmiştir. Böylece çıkış akımı;

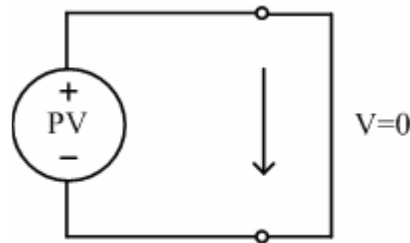
$$I = I_{ph} - I_o \left(\exp \left(\frac{qV_D}{mV_T} \right) - 1 \right) \quad (4.9)$$

Denklik 4.9'da $V_T = \frac{k.T}{q}$; V_T termal voltaj değeri olup 25°C'deki değeri $V_T = 25.7\text{mV}$ tur (Kılıç, 2007).

4.8. Fotovoltaik Diyot Karakteristiği

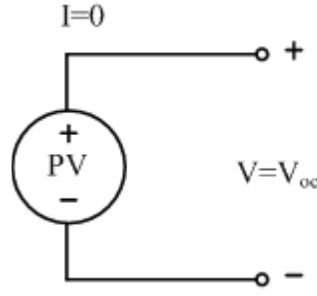
PV diyotların karakteristiklerini tanımlayan beş temel parametre vardır. Bunlar; kısa devre akımı, açık devre gerilimi, maksimum güç noktası, dolum faktörü ve verimdir (Kılıç, 2007).

Kısa devre akımı; Şekil 4.10' daki gibi ışık altında herhangi bir besleme olmaksızın ve ideal durumda devreden geçen toplam akım değeridir ve I_{SC} ile gösterilir (Eke, 2007). İdeal bir diyotta kısa devre akımı diyot üzerine ışık düştüğü zaman oluşan akım değerine eşittir ($I_{ph} = I_{SC}$) (Kılıç, 2007).



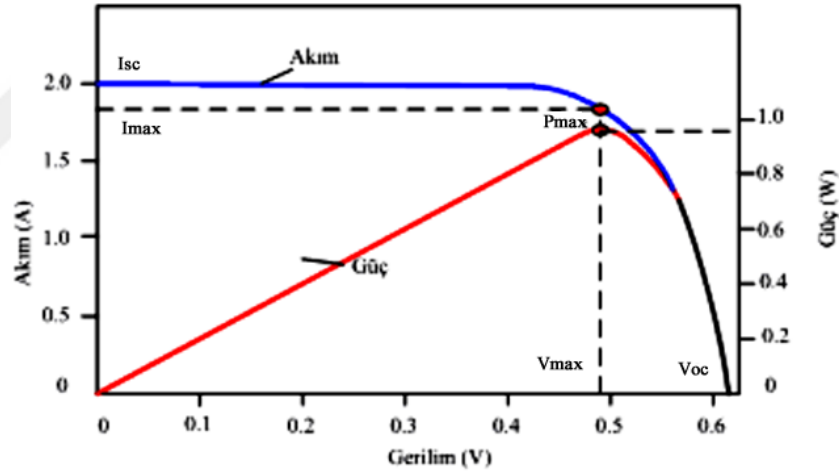
Şekil 4.10. Kısa devre akımı

Açık devre gerilimi; Şekil 4.11'de görüldüğü gibi akımın olmadığı durumda ($I = 0$) diyot uçlarından ölçülen gerilim değeridir ve V_{OC} ile ifade edilir.



Şekil 4.11. Açık devre voltajı

Maksimum güç noktası; bir PV diyottan elde edilebilecek güç değeri, akım ve gerilim değerlerinin çarpımına eşittir. Maksimum güç P_{max} $I \times V$ değerinin en büyük olduğu durumda elde edilir (Kılıç, 2007). V_{OC} ve I_{SC} değerlerinde akım veya gerilim değeri yüksüz olacağından sistemden herhangi bir güç elde edilemez. Şekil 4.12’de tipik bir PV diyotun akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) eğrisi görülmektedir.



Şekil 4.12. Tipik bir PV diyotun I-V ve P-V eğrisi

Dolum Faktörü (FF); Performansın belirlenmesinde önemli olan bir diğer parametre maksimum güç noktasındaki alan ile I_{SC} ve V_{OC} çarpımından oluşacak alanın birbirine oranı olarak ifade edilen FF (Fill Factor), dolum faktörüdür (Eke, 2007). Denklik 4.10’da dolum faktörünün matematiksel hesaplanması görülmektedir (Kılıç, 2007).

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc}I_{sc}} = \frac{V_{max}I_{max}}{V_{oc}I_{sc}} \quad (4.10)$$

Bu değer 1,00'dan kktr ve verim düzeyi yeterli olarak kabul edilebilir güneş pili için 0,70-0,85 aralığında değerler almaktadır (Kılıç, 2007).

Bir güneş pilinin en önemli özelliği gvrim verimidir ve η ile gösterilir. Verimlilik; maksimum g değeri P_{max} 'ın, PV diyot üzerine gelen ışının gücü P_{in} 'e, olan oranı olarak tanımlanır (Patel, 1998).

Bir güneş pilinin en önemli özelliği gvrim verimidir ve η ile gösterilir. Maksimum g noktasındaki gücün (PMPP) güneş pili üzerine düşen güneş ışının gücüne(P_{in}) oranı olarak ifade edilen verim, dolum çarpanın bir fonksiyonu olarak da yazılabilir (Kılıç, 2007).

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{max}I_{max}}{A.G} \quad (4.11)$$

Burada P_{in} güneş pili üzerine düşen ışının spektrumunun özelliği tarafından belirlenmektedir. Denklik 4.11'de G etkin ışınım şiddeti ve A ise PV diyotun alanıdır.

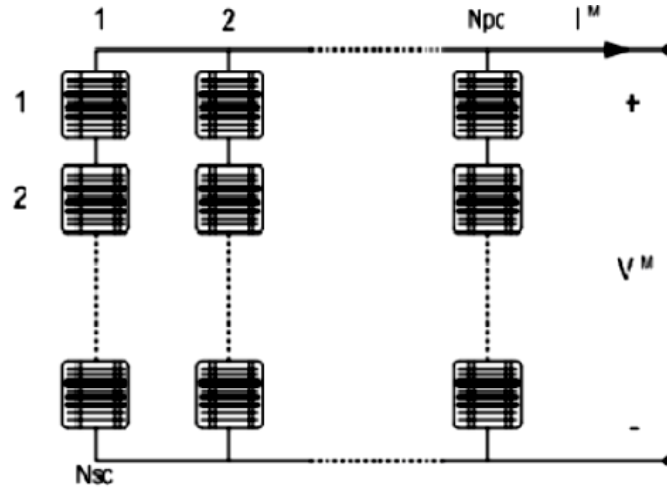
4.9. Güneş Pilinin Matematiksel Modeli

Güneş pillerinin akım gerilim karakteristiğini matematiksel olarak modellemek ve elektriksel davranışlarını yansıtacak farklı güneş pili modelleri geliştirmekle birlikte, simülasyon çalışmalarında elektriksel eşdeğer devresi sıklıkla kullanılan uygun bir yöntemdir (Abdulazeez, 2011).

Güneş pilleri, verimlerine bağlı olarak, güneş ışınımı altında 1-1.5W arasında elektrik enerjisi üretmektedir. Tek bir diyottan elde edilebilecek akım değeri, 2-2.5A, gerilim değeri ise 0.5-0.6V arasında olduğundan, çok sayıda güneş pili birbirine seri bağlanarak, 30-340W arasında güce sahip modüller elde edilir.

Güneş panelleri, şekil 4.13'de görüldüğü gibi, Npc sayıda paralel kollardan olusur. Her bir Npc kol, Nsc sayıda güneş pili ile seri olarak birbirlerine bağlanmıştır. Bu seri ve paralel bağlı güneş pili sayıları, PV modülleri üreten firma katalog

bilgilerinden elde edilebilir.



Şekil 4.13. Güneş pillerinin seri ve paralel bağlanması ile güneş panelinin elde edilmesi

Birbirlerine seri bağlı güneş pillerinin toplam gerilim değeri, aynı akım değeri için her bir güneş pili gerilim değerinin birbirine eklenmesiyle bulunur. Birbirlerine paralel bağlı güneş pillerinin toplam akım değeri, aynı gerilim değerleri için üretilen akım değerlerinin toplanmasıyla bulunur. Her bir modüldeki akım değeri I_{new} , gerilim değeri V_{new} ile ifade edilirse ve modül uçlarına uygulanan gerilim V^M ve modül akımı I^M olmak üzere;

$$V^M = N_{sc} \cdot V_{new} \quad (4.12)$$

$$I^M = N_{pc} \cdot I_{new} \quad (4.13)$$

Güneş panelinin çıkış gücü, ışınım şiddetinin ve çevre sıcaklığının birer fonksiyonudur. I_D akımı güneş pilini oluşturan yarı iletken malzemenin, P-N noktasından akan bir iç akımı olup, diyotun mutlak sıcaklığı, gerilim ve yük tarafından çekilen akımın bir fonksiyonu olarak değişir. Sıcaklığın etkisine bağlı olarak bir PV modülün karanlıktaki doyma akımı;

$$I_0 = I_{0ref} \left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n k_b} \right) \left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (4.14)$$

denkliği ile verilmektedir. Denklikdeki;

I_{0ref} :Referans değerindeki akım,

E_g :PV diyot yapımında kullanılan malzemenin bant genişliğidir. Işınım şiddetine bağlı olarak PV modülün foton akımı;

$$I_{ph} = [I_{sc} + \alpha(T_c - 25)] \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) \quad (4.15)$$

denkliği ile ifade edilir. Bu denklikde G ve G_{ref} W/m^2 olarak, T_c ve T_{cref} ise Kelvin olarak, etkin ve referans ışıınım şiddeti ile modül sıcaklığı değerlerini göstermektedir. α değeri ise mA/K olarak modülün kısa devre akımının sıcaklık katsayısıdır.

Genel olarak güneş panelinde, I-V değerlerini bulmak için çeşitli matematiksel hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden birisi de aşağıdaki denklikler ile ifade edilen yöntemdir. Bu denkliklerde V_{ref} ve I_{ref} değerleri, I-V eğrisindeki referans olarak alınan değerlerdir. Sitemdeki kısa devre akımı ve açık devre gerilimi, akım ve gerilimin sıcaklık katsayıları üretici firma katalog bilgilerinde yer almaktadır. Güneş panelinin akım değerini hesaplamak için α ve β değerleri akım ve gerilimin sıcaklık katsayıları olmak üzere yeni akım ve gerilim değerleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$I_{new} = I_{ref} + \left[\alpha \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) (T_c - T_{cref}) + \left(\frac{G}{G_{ref}} - 1 \right) I_{sc} \right] \quad (4.16)$$

$$\Delta I = \left[\alpha \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) (T_c - T_{cref}) + \left(\frac{G}{G_{ref}} - 1 \right) I_{sc} \right] \quad (4.17)$$

$$V_{new} = -\beta(T_c - T_{cref}) - R_s \Delta I + V_{ref} \quad (4.18)$$

Denklik 4.18 de yer alan R_s direnci çok küçük bir dirençtir. R_{sh} direnci ise büyük değerdedir. Bu direnç değerlerini en yüksek güç noktası (MPP) için hesaplamak mümkündür. Bu işlemi yapabilmek için modül eşdeğer devresinden yararlanılır. Üretici firmadan alınan bilgi yaprakları değerleri modül eşdeğer devresinde

kullanılarak yapı değişkenleri bulunur (Özdemir, 2007).

Eşdeğer devreden hareketle R_{sh} ve R_s değerleri denklik 4.19 ve denklik 4.20 yardımı ile bulunabilir.

$$R_s = \frac{V_{oc} - V_{sc}}{I_{MPP}} \quad (4.19)$$

$$R_{sh} = \frac{V_{oc}}{I_{sc} - I_{MPP}} \quad (4.20)$$

Güneş panelinin gücü de akım ve gerilim değerinin çarpımı olarak ifade edildiği için, güç de yukarıda sözü edilen parametrelere bağlıdır (Bayrak ve Cebeci, 2014).

4.10. Güneş Pilinin Çalışmasını Etkileyen Faktörler

4.10.1. Güneş ışıının etkisi

Güneş ışıını, güneş yoğunluğu (sun intensity) veya güneş radyasyonu (solar radiation/solar irradiance) olarak da ifade edilir ve birimi W/m^2 dir. Gelen ışıık miktarı, yük taşıyıcıların oluşumunu doğrudan etkiler ve neticede modülün ürettiği akımı da etkilenir (Abdulazeez, 2011). Foto-akım (PV kısa devre akımı) genliği güneş yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişir. Örneğin %90 güneş yoğunluğu ($900W/m^2$) altındaki kısa devre akımı, %45 güneş yoğunluğu ($450W/m^2$) altındaki kısa devre akımının iki katıdır.

I_{sc} , STC'de ölçülen kısa devre akımını ve G_{ref} de STC'deki ışıık şiddetini göstermek üzere, G güneş pili yüzeyine gelen etkin ışıık şiddetindeki kısa devre akımı aşağıdaki gibi ifade edilir (Eke, 2007).

$$I_{(Gw/m^2)} = \frac{I_{sc}}{G_{ref}} G \quad (4.21)$$

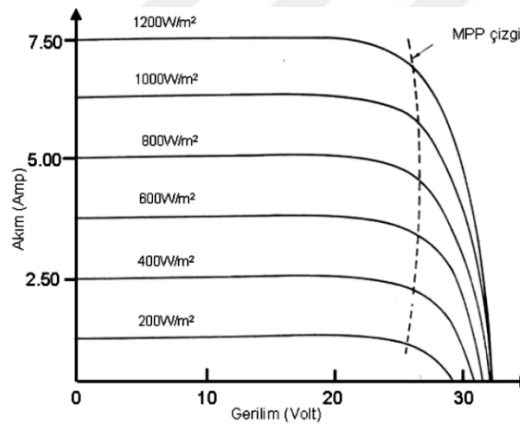
Açık devre gerilimi güneş pilinin veya modülün kısa devre ve diyot karanlık doyma akımına logaritmik olarak bağlı olduğundan, artan ışıık şiddetiyle açık devre geriliminin de değeri akımdaki değişime göre daha yavaş bir şekilde

artmaktadır (Eke, 2007). κ bir katsayı, G yüzeye gelen ışık enerjisini göstermek üzere kısa devre akımı ve açık devre gerilimin ışık şiddetiyle olan değişimi;

$$I_{SC} \cong I_L = \kappa G \quad (4.22)$$

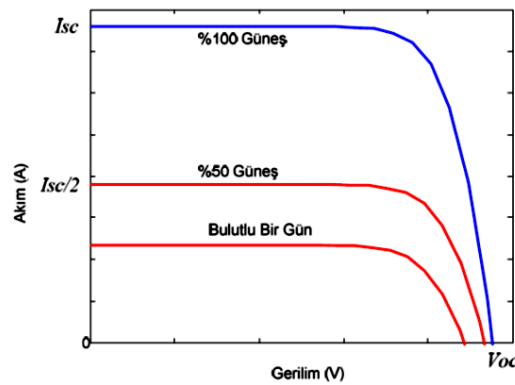
$$V_{OC} = \frac{nk_B T_C}{q} \ln \left(\frac{\kappa G}{I_0} \right) = a \ln \left(\frac{\kappa G}{I_0} \right) \quad (4.23)$$

denkliğiyle ifade edilebilir. Işık şiddetindeki değişimin, 25°C çalışma sıcaklığındaki tek kristal silisyum güneş pillerinden oluşan bir modülün akım-gerilim eğrisi üzerindeki etkisi Şekil 4.14’de gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Işık şiddetindeki değişimin tek kristal silisyum bir modülün akım-gerilim eğrisi üzerindeki etkisi ($T_C = 25^\circ\text{C}$) (Eke, 2007)

Bu açıklamalar eşliğinde ise farklı ışıınım değerlerinde I-V eğrisi de Şekil 4.15’deki gibi oluşur.

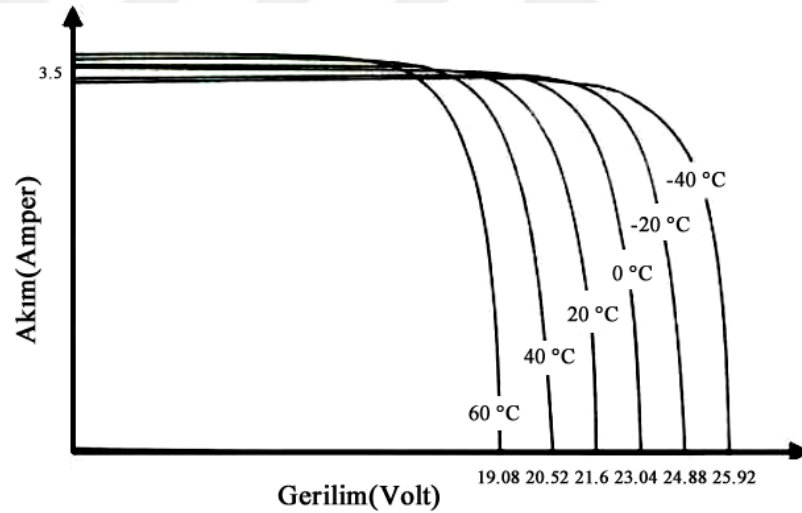


Şekil 4.15. Farklı ışıınım değerlerinde I-V eğrisi

Güneş ışınlamı kısa devre akımını(I_{SC}) ve açık devre gerilimini de artırttığı için(V_{oc}) PV sistemden elde edilen güçte artar. PV sistemlerinde panelleri güneş ışınlamı en fazla alacak şekilde yerleştirmek elde edebileceğimiz gücü yükseltecektir.

4.10.2. Sıcaklığın etkisi

PV'lerin çalışmasında sıcaklığın etkisi oldukça önemlidir. PV'lerin kısa devre akımı sıcaklığın düzgün artışıyla yükselme eğilimi gösterir (Karamanav, 2007). Fakat açık devre voltajı ve dolum faktörü logaritmik olarak azalma gösterir. Sonuçta üretilen güç daha düşük değerlerde olmaktadır. Yani PV sıcaklığı arttıkça PV den elde edilen güç düşmektedir. PV nin çalışma sıcaklığının değişmesi ile modülün I_{SC} , V_{oc} ve FF değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.16'da gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Tek kristal silisyum bir modülün akım-gerilim eğrisinin güneş pili veya modül sıcaklığı ile değişimi

PV paneller genellikle güneş enerjisinin %5-25'ini elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu nedenle güneş enerjisinin fazlası modüllerde ısınmaya sebep olur (Turhan ve Çetiner, 2012). Yapılan deneylerde görülmüştür ki 25°C modül sıcaklığında modüllerde oluşan her 10°C sıcaklık artışında PV panelin enerjisi %0,4-0,5 düşmektedir. Bu sorunun panelin arka yüzeyinin havalandırılması ile de çözülebileceği önerilmektedir. PV arka yüzey havalandırması yetersiz kalırsa, arka yüzeyde oluşacak sıcaklık nedeniyle performans düşer (Sayın ve Koç, 2011).

PV lerin yapımında kullanılan malzemeler sıcaklığa farklı oranda tepki verirler. Kristal silisyum hücreler bu sıcaklıktan amorf silisyum hücrelere oranla daha fazla etkilenirler. Bu nedenle daha fazla performans düşüklüğü gösterirler. Sıcaklığın fazla olduğu bölgelerde PV panel seçilirken kullanılan malzemenin önemi de yüksektir (Turhan ve Çetiner, 2012). Çizelge 4.2’de kullanılan malzemeye göre sıcaklık değişim oranı gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Bazı yarıiletken enerji bant aralığının sıcaklıkla değişimi
(Karamanav, 2007)

Malzeme	T= 300°K	T=0°K
Si	1.12 eV	1.17 eV
Ge	0.67 eV	0.75 eV
PbS	0.37 eV	0.29 eV
PbTe	0.29 eV	0.19 eV
InSb	0.16 eV	0.23 eV
GaSb	0.69 eV	0.79 eV

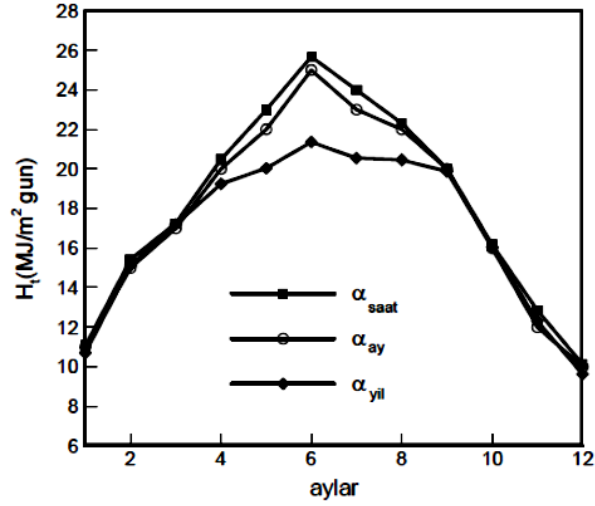
Sıcaklığın etkisi tüm modül üreticileri tarafından tanıtım kataloglarında(datasheet) verilir. Bu bilgilerle farklı sıcaklık durumlarındaki sistem güç çıkışı hesaplanabilir.

4.10.3. Açının etkisi

PV uygulamalarında, sistem performansını ve elde edilecek güç miktarını belirleyen en önemli parametrelerden bir tanesi panelin yatay yüzeyle yaptığı açıdır. PV sistemlerde panel eğiminin ve yerleşim şeklinin değişimi ile panel yüzeyine gelen ışınlam şiddeti ve üretilen güçte önemli değişiklikler meydana gelmektedir (Aydın ve Yeşilata, 2004). Aynı zamanda PV uygulamasının gerçekleştirildiği enlem, PV panelin yönü de oldukça önemlidir. Panellerin uygulanması gereken yön güneydir. Her zaman bu şart sağlanamayacağı için performans düşüklüğü de göz önüne alınarak Güney-Doğu ve Güney-Batı yönlerinde de uygulama yapılabilir (Turhan ve Çetiner, 2012).

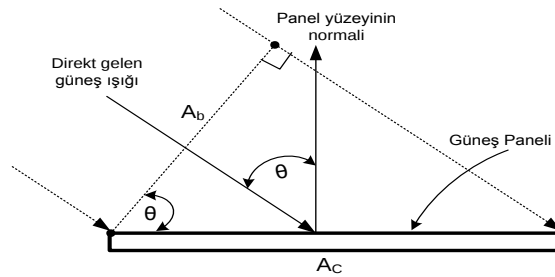
Günlük olarak, panel yüzeyine maksimum miktarda ışınlam şiddetini toplamanın en iyi yolu, güneşi izleyen PV panel sistem tasarımlarıdır. Fakat bu sistemlerde ek

maliyet ve enerji tüketimi gerektireceği için verimli sayılmaz. Bunun yerine güneş ışınlamından daha fazla yararlanabilmek PV panellerden daha yüksek verim elde edebilmek için, panelleri yıl içerisinde sabit eğim açısı ile değil, uygulama yeri için uzun süreli ışınlam verilerine göre belirlenen optimum eğim açılarında yerleştirilmeleri gereklidir. Optimum panel eğim açısının belirlenebilmesi için uygulanan yöntem, bölgenin coğrafi konumu, yerel meteorolojik şartları ve kullanım periyotlarına göre panel eğim açısının belirlenmesi şeklindedir (Aydın ve Yeşilata, 2004). Güneş paneli sisteminin eğim açısı, en iyi ortalama yaz performansı için $(\emptyset-15)^{\circ}$ ve en iyi kış performansı için de $(\emptyset+15)^{\circ}$ olmalıdır. Optimum ilkbahar veya sonbahar veya yıllık performans için, güneş panelinin yaklaşık olarak $(0,9.\emptyset)$ açısında monte edilmesi gerekmektedir (Şenpınar, 2006). Türkiye’de de PV panellerin yaz ve kış ortalamasına göre optimum yerleştirme açısı bölgenin enlem açısı ile değişmekle beraber yaklaşık olarak 30° ’dir. Farklı yön ve açılarda yerleştirilen PV panellerdeki performans düşüşü, PV panel tipine göre farklılıklar gösterir. Türkiye şartlarında 10° ile 30° arasındaki yıllık performans farkı %15’i geçmeyecektir (Turhan ve Çetiner, 2012). Optimum eğim açısı saptanırken saatlik, aylık veya yıllık verilere göre hesaplanabilir. Şekil 4.20’den de görüldüğü üzere, panel yüzeyine gelen ışınlam, duyarlılığın fazla olması nedeniyle en fazla saatlik optimum eğim açısında yerleştirilme durumunda elde edilmektedir, fakat aylık optimum eğim açısına bağlı sonuçlar incelendiğinde aradaki farkın küçük olması ve uygulama kolaylığı açısından panellerin aylık optimum eğim açılarında yerleştirilmeleri daha uygundur (Aydın ve Yeşilata, 2004). Yıllık eğim açısında ise ışınlam miktarı en düşüktür. Panellerin optimum aylık eğim açılarında yerleştirilmesi en uygun çözüm olarak görülmektedir (Işıker vd. 2006). Saatlik, aylık ve yıllık ortalama optimum eğim açılarına göre güneş ışınlamı değerleri Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Saatlik-ortalama, aylık-ortalama ve yıllık-ortalama değerler doğrultusunda hesaplanan optimum eğim açılı (α saat, α ay ve α yıl) yüzeyler üzerine gelen günlük toplam ışınlam miktarının aylara göre değişimi (Şenpınar, 2006)

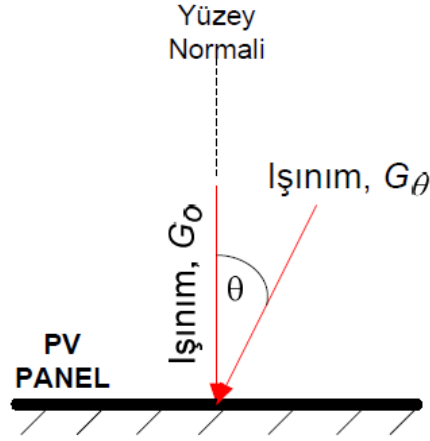
Uzay kafes çatı sistemlerinde ise optimum açıya göre PV panel yerleşimi mümkün değildir. Uzay kafes çatı tipini parabolik eğrisine göre PV panelin yüzey açısı hesaplanmalıdır. Güneşten gelen toplam direkt ışıma miktarı; güneş paneli düzleminin normali ile güneş ışığı arasındaki açının (güneş geliş açısı) kosinüsü ile orantılıdır. Bu durum Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Bir güneş paneli yüzeyindeki güneşlenme miktarına güneş açısının etkisi (Kosinüs kanunu)

PV panel üzerindeki ışıma miktarı I_b . $A_b = I_b \cdot A_c \cdot \cos\theta$ olur, burada I_b =direkt gelen ışığın yoğunluğudur. PV panelin, yeterli çıkışı verecek şekilde farklı eğim açısında sabitlenmesi gerekir. Seri veya paralel bağlantılı farklı eğim ve azimut açılarıyla kurulan güneş panelinin çıkış performansı simülasyon yoluyla hesaplanmalı ve maksimum çıkış sağlayacak şekilde üzerinde çalışılmalıdır (Şenpınar, 2006). PV panel çıkış akımı I_0 ise, güneş ışınlamının panel yüzeyine dik gelmesi durumunda

yani ışıının yüzey normali ile yapmış olduğı açının sıfır derece olduğı durumdaki akımdır. Şekil 4.19’da yüzey normali ve güneş açısı gösterilmiştir.

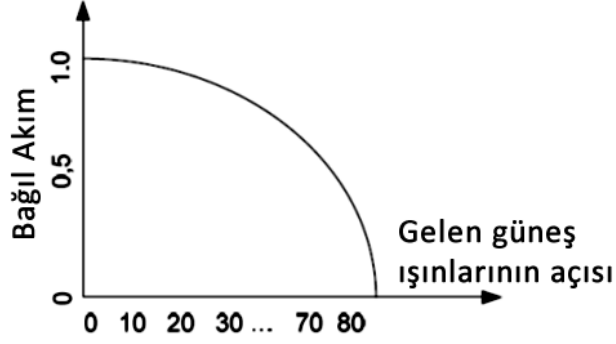


Şekil 4.19. Gelen güneş açısı

Işıının yüzey normali ile yapmış olduğı açının θ olması durumunda panelden alınabilecek çıkış akımı I_0 a bağılı olarak aşağıdaki eşitlik ile elde edilebilir.

$$I_{\theta} = I_0 \cdot \cos\theta \quad (4.24)$$

PV panel öğle saatinde (12:00) yatayla güneş paneli θ_z açısına sahip eğimde yerleştirilirse, güneş paneli üzerine gelen güneş ışığı panel yüzeyine tam dik olur (90°). Yani maksimum seviyede güneş ışığına dolayısıyla I_b akımı elde edilmiş olur. Çünkü öğle saatinde, güneşin havadaki konumu yataya göre en yüksek değere sahiptir. Güneş öğle saatinde, en düşük hava kütlesine karşılık ve atmosfer içinde minimum yola sahip olmaktadır (Şenpınar, 2006). Bölgesel yapılan çalışmalarda belirtilen optimum açiya paralel olarak PV panel yerleşimde kosinüs kanunu açının “0-50” derece arasında olması durumunda iyi sonuçlar verir. 50° nin üzerindeki θ değerlerinde elektriksel çıkış kosinüs kanuna göre olan çıkıştan önemli derece sapar. $\theta \geq 85$ derecede de hücre neredeyse hiç güç üretmez. Şekil 4.20’de güneş açısının akıma etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Gelen güneş açısının akıma etkisi

Yıllık olarak optimum açığı ayarlamak istediğimizde şu açılar da kullanılabilir;

Yıllık verim için düşünüldüğünde $\theta = \text{enlem} \times 0,9$

Yıllık optimum verim için; $\theta = \text{enlem} \times 0,9$

7 aylık kış mevsimi için; $\theta = \text{enlem} + 15^\circ$

Kış mevsiminde en soğuk üç ay için;

$\theta = \text{enlem} + 25^\circ$

Yaz mevsimi için; $\theta = \text{enlem} - 25^\circ$

İdeal konumdan 15° sapma halinde enerji kayıp oranı %6'dır. Mimari ve diğer etkenler nedeni ile ideal açı uygulanamazsa enerji kayıpları büyük olmayacaktır.

4.10.4. Gölgeleme etkisi

PV modüllerinin performansını etkileyen bir diğer unsur gölgelenmedir. Gölgeleme bir PV sisteminin verimini önemli ölçüde azaltır ve mümkün olduğunca önlenmesi gerekir. Gölgeleme geçici, konumdan, binadan ve sistemin kendisinden kaynaklanabilir.

Geçici gölgelenme kar, yapraklar, kuş pislikleri, tozlanma, bulutlanma gibi gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Kar dağlık bölgelerde, toz ve kirlenme endüstriyel bölgelerde, yapraklar da ormanlık alanlarda düşen önemli geçici gölgelenme etmenleridir. Güneş enerjisi solar PV modüllerin yatayla yaptığı 12° ve daha üzerindeki açılar bu etkilerin yağmur suları yardımıyla temizlenmesine olanak sağlamaktadır (Sarıoğlu, 2012).

Geçmişteki bazı çalışmalarda güç üretimindeki azalmanın gölgeli alana ve güneş ışınlamındaki azalmaya orantılı olduğunu varsayılmaktadır. Tek bir hücre için bu durum doğru sayılabilirken, modül ve dizi düzeyindeki güç azalımı gölgeli kısım ile doğrusal olmamaktadır (Abdulazeez, 2011).

Modül üzerine herhangi bir nedenle kısmi gölge oluşursa gölgeli hücre diğer hücreler tarafından ters beslenir. Bu durumda paralel(shunt) direnç azalır. Bir modüldeki hücreler birbirlerine seri bağlandıkları için, tüm hücreler aynı akımda çalışmaya zorlanırlar. Gölgelemeyen hücrelerse, gölgelenen hücrelerin ürettiği akımdan daha büyük bir akım akması için zorlarlar. Gölgelemeyen hücre, bu akım ile negatif geriliminin çarpımı kadar sistemden güç çekerek toplam gücü azaltır ve ısınır(Abdulazeez, 2011). Hücreler arasındaki bu uyumsuzluk sebebiyle küçük gölgelenmeler modülün çıkış gücünün ve verimliliğinin büyük oranda azalmasına neden olabilir.

Matematiksel olarak incelediğimizde; bütün hücrelerin güneşe maruz kaldığı durumda sistem çıkış gerilimi V ise, en alttaki $(n-1)$ hücrenin çıkış gerilimi,

$$V_{(n-1)} = \frac{n-1}{n} \cdot V \quad (4.25)$$

Gölgeleme etkisi altındaki V_g gerilimi, R_{sh} üzerindeki gerilim düşümünden dolayı,

$$V_g = V_{(n-1)} - (R_{sh} + R_s) \cdot I \quad (4.26)$$

Yukarıdaki denklikler birleştirilir ise,

$$V_g = \frac{n-1}{n} \cdot V - (R_{sh} + R_s) \cdot I \quad (4.27)$$

Buradan herhangi bir hücrenin gölgelenmesinden dolayı meydana gelen gerilim düşümü yazılırsa,

$$\Delta V = V - V_g = \frac{V}{n} + (R_{sh} + R_s) \cdot I \quad (4.28)$$

denkliği elde edilmiş olur.

$R_{sh} \gg R_s$ olduğundan R_s ihmal edilirse,

$$\Delta V \cong \frac{V}{n} + (R_{sh}).I \quad (4.29)$$

olarak gölgelenme etkisi denklik 4.29 ile bulunmuş olur.

Bu etkilerden korunmak ve PV modüllerin verimliliğini arttırmak için seri bağlı hücrelere paralel olarak bağlanmış olan bypass(köprüleme) diyotlar kullanılır. Bir hücre gölgelendiğinde ve aşırı akıma zorlandığında bağlı olduğu bypass diyotu ileri yönde kutuplanır ve ilettime geçer. Bunun yanında bypass diyot bağlı olduğu hücre grubunun gerilimini yaklaşık olarak -0.6 V ile -0.8 V arasındaki bir değerle sınırlandırır ve normalde elde edilebilecek çıkış gücünü önemli ölçüde düşürmüş olur (Abdulazeez, 2011). Bypass diyotlar ile gölgeli PV modülleri zarardan koruyup, verimi artırır. Fakat I-V karakteristiği, düzgün olmayan güneşlenme altında fazla miktarda tepe kontası oluşturur (Ramabadran, 2009). Bypass diyotlarının her hücreye paralel olarak yerleştirmek uygun bir yöntem değildir ayrıca maliyeti oldukça artırır. Bu nedenle bypass diyotları, bir modül içerisindeki bir grup hücreyle ortak olarak veya her bir modül için ayrı bir diyot ile birlikte kullanılabilir.

PV modül içerisindeki hücreler seri gruplanabilir ve birbiriyle paralel bağlantı yapılabilir. Aynı grupta yer alan bir hücrenin gölgelenme etkisi ile birden fazla hücrenin gölgelenme etkisi arasında bir fark yoktur. Fakat gölgeleme durumu farklı paralel gruplardaki hücrelerde oluşursa sistem verimi daha fazla düşer (Alonso-Garcia vd., 2006).

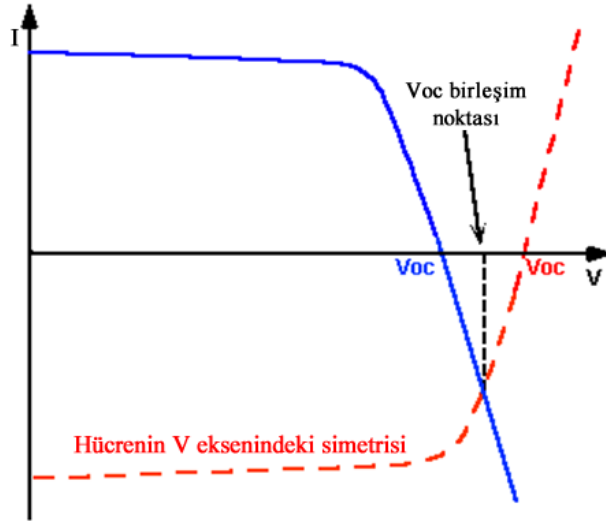
PV örgü sabit bir şekilde gölge etkisi altında kalıyorsa gölgeli PV modüllerin tüm PV modüllere oranı belirlenir. Bu oranın değerine göre sistemde oluşan performans düşümü bulunabilir (Deline, 2013).

Sonuç olarak PV örgülerin analizi yapılırken bypass diyotun hesaba katılması oldukça önemlidir. PV modülde bypass diyot kullanılıp kullanılmadığı, kullanıldıysa kaç adet yer aldığı sorularının cevaplarına göre analiz yapılabilir. Diğer önemli bir husus ise PV örgü performansının gölgelenmenin şekline ve şiddetine bağlı olmasıdır. Tüm bu nedenlerde dolayı PV örgülerin modül bazlı analizi yerine hücre bazında analizi daha da önemli olmaktadır.

4.10.5. Seri-Paralel bağlantı etkisi

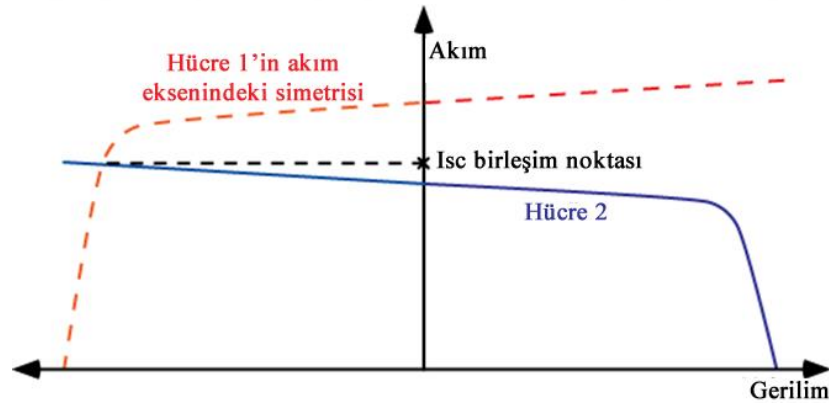
PV modüller birbirlerine seri veya paralel bağlanarak toplam akımı ve gerilimi artırılabilir. Özdeş PV modüller kullanılırken herbir modülde farklı miktarda gerilim veya akım üretimi söz konusu olmaz. Ancak PV modülün verimini etkileyen gölge, açısal durum gibi faktörler devreye girerse PV modülün üreteceği akım ve gerilim değeri farklı olacaktır. Özdeş olmayan iki PV panelin bağlanması ile akımı düşük olan PV modülün akımını düşürecektir ve özdeş olmayan iki PV panelin paralel bağlanmasında ise gerilimi düşük olan PV modülün gerilimini düşürecektir dolayısıyla modülün verimliliği ve çıkış gücü düşecektir (Sarioğlu, 2012).

PV modüller paralel bağlandığında çıkış akımı PV modüllerin her birinin ürettiği akımın toplamına eşittir. Bu durum altında akım yönünden bir kayıp olmaz. Fakat gerilim çıkışı düşünüldüğünde PV modüllerin gerilimleri eşit olmadığı için eşdeğer gerilimde kayıplar olacaktır. Bu tür durumda çıkışın nasıl olacağı deneysel yöntemlerle ölçülebilir. Ayrıca yapılan çalışmada bir PV panelin gerilim grafiği uzatılarak simetrik kesişim noktalarından eşdeğer gerilimin hesaplandığı görülmüştür (Photovoltaic Education Network, 2012). Şekil 4.21’de ve 4.22’de bu durum gösterilmiştir. Temel elektriksel kanunlar göz önünde bulundurulursa ve deney düzeneği kurulduğunda eşdeğer gerilimin öncelikle yüksek değerden başlayıp bir süre sonra parabolik olarak minimum değerde olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle farklı gerilim üreten PV modüllerin paralel bağlandığı durumda eşdeğer gerilimin düşük olan gerilim değerine eşit olacağı söylenebilir.



Şekil 4.21. Farklı PV modüllerin paralel bağlantıdaki gerilim eşdeğeri (Photovoltaic Education Network, 2012)

PV modüller arasında seri bağlantı kurulursa bu sefer toplam akımda kayıp söz konusu olacaktır. Eşdeğer gerilim bulunurken PV modüllerin ürettiği gerilimler toplanır. Fakat eşdeğer akım hesaplanırken eşdeğer akım PV modüller arasındaki en düşük akım değeri olacaktır.



Şekil 4.22. Farklı PV modüllerin seri bağlantıdaki akım eşdeğeri (Photovoltaic Education Network, 2012)

PVmodüller içerisinde kullanılan PV hücreler birbirlerine gruplanarak bağlanırsa bir hücrede oluşacak düzensizlik sadece o grubu etkileyerek verim kaybını düşürecektir. Bu yüzden grup sayısı panel içerisinde artırılmalıdır (Kaushika ve Rai,2007).

PV örgülerde PV modüller üzerinde oluşan gölgenin etkisi de bağlantı şekline göre de değişmektedir. Gölgenin oluşacağı yerin tespitine uygun bağlantı şekli oluşturulursa sistem üzerindeki güç kaybı azalacaktır (Ramaprabha, 2014). Optimizasyon işleminin temel gerekçesi aslında farklı değerde üretilen akım ve gerilim değerlerindeki kaybı minimuma indirmektir. Çalışmada bu yönde farklı bağlantı şekilleri üzerinden en fazla gücün üretileceği bağlantı tasarımı bulunmaya çalışılmıştır.

4.10.6. İnverter etkisi

DA / AA dönüştürücü, doğru akım kaynakların bulunduğu fakat alternatif akım kaynaklarının bulunmadığı koşullarda doğru akım kaynakların çıkışındaki gerilimi AA gerilime dönüştürmek için kullanılır (Ortaç, 2007). İnverter, doğru akımı (DA) alternatif akıma (AA) çeviren elektriksel bir güç çeviricisidir. İnvertörler bu işlevi sağlarken de istenilen gerilim, güç ve frekans değerlerinde AC akım elde edilmiş olur. Böylece AC enerji ihtiyacı olan tüm sistemlere ve elektronik cihazlara besleme sağlanabilir. İnverterler güçlerine, çıkış dalga çeşitlerine ve kullanılacakları yere göre çeşitli tiplerde üretilmektedir.

İnverterler AC motor hız kontrolü, kesintisiz güç kaynakları ve güneş paneli uygulamalarında üretilen DA gerilimin AA gerilime dönüştürülüp kullanıma sunulması gibi birçok değişik alanda kullanılmaktadır (Şerefoğlu, 2014). Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması ile beraber inverterlerin kullanım oranı da paralel olarak artmaya devam ediyor. Rüzgar ve güneş gibi kaynaklardan elde edilen enerjinin tüketiciye sunulması için de inverterler devreye girmektedir. Şekil 4.23'te inverter bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 4.23. PV panel sistemi inverter bağlantısı

Gelen voltaj ve frekansları tam sinüs dalga olarak ayarlayan inverter çeşitlerine tam sinüs inverter denir. Verimleri %89 ile %94 arasındadır. Küçük güçlerde hafif ve taşınabilir yapıya sahip olan inverterler her sisteme göre değişik gerilimlerde çalışma imkanına sahiptirler.

Çizelge 4.3. İnverter özellikleri

İnverter Adı	Verim	Giriş Bilgileri				Çıkış Bilgileri		
		Max DA (A)	Min DA(V)	Max DA(V)	Max DA (P)	Min AA (V)	Max AA (V)	Max AA (P)
SB 1700	93.5	12.6	139	320	1850	198	260	1700
SB 3800	95.6	20	200	400	4040	198	260	3800
SB 6000US -11 - 277VAC	97	25	250	480	6350	243.76	304.7	6100
SB 9000TLUS-10	98	31	300	480	9400	183	229	9000

PV sistem tasarımı yapılmadan önce inverter seçimi yapılmalıdır. İnverterin giriş akım, gerilim ve güç özelliklerine bağlantı kurulabilecek PV panel sayısı değişmektedir. İnverterin giriş akım değerine göre PV panel sistemindeki paralel bağlantıların sayısı, giriş gerilim değerine göre PV panel sistemindeki seri bağlantıların sayısı belirlenmelidir.

5. PV PANELLERİN BİNALARDA KULLANIMI VE UZAY KAFES SİSTEMLERİ

5.1. Binalarda PV Panel Kullanım Olanakları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının mimaride kullanımı sürdürülebilir bir çevre ve sürdürülebilir bir gelecek için önem taşımaktadır (Özkılıç Keleş, 2008). Binalarda fotovoltaik kullanımı ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Müstakil konutların yaygın olduğu ülkelerde fotovoltaik uygulamalarıyla daha çok ticaret ve endüstri binalarında karşılaşılmaktadır. Özellikle Almanya’da güneş ışınımının düşük olması ve arazi değerlerinin gün geçtikçe yükselmesi nedeniyle binalarda fotovoltaik kullanımı desteklenmiştir. Yapı elemanları ile bütünleştirilmiş ilk fotovoltaik uygulamaları Almanya’da gerçekleştirilmiştir. İlk fotovoltaik çatı sistemi uygulaması 1985’te Saarbrücken’de Şekil 5.1a’da görünen güneş evinde gerçekleştirilmiştir (Mutlu, 2010).



Şekil 5.1. Almanya’da gerçekleştirilen ilk yapı elemanları ile bütünleştirilmiş fotovoltaik çatı ve cephe uygulamaları:a,b,c,d (Mutlu, 2010)

Daha sonra binalarda özellikle çatılarda fotovoltaik uygulamaları Avrupa’da, Japonya’da ve ABD’de devletlerin ve çeşitli kuruluşların teşvikleri ile gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de ise güneş enerji potansiyelinin yüksek olmasına rağmen, sınırlı sayıda uygulama mevcuttur. Yaygın olarak fotovoltaiklerin binaların kullanımı sırasında teras çatı sistemlerinin üzerine yerleştirildikleri uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik entegre edilmiş bir çatı ve bir de cephe sistemi uygulaması, Muğla Üniversitesi Kampüsü’nde kafeterya binası çatısı ve rektörlük binası cephesinde gerçekleştirilmiştir. Yapı elemanlarıyla bütünleştirilmedikleri için binalarda fotovoltaik sistem uygulamalarında

kaplama malzemesinden tasarruf sağlanamamakta ve görsel olarak bina ile bütünleşmemiş uygulamalara rastlanmaktadır. Binalarda fotovoltaiik kullanımının binaların ilk tasarım süreçlerinden itibaren düşünülmesi uygulamaları daha nitelikli hale getirecektir (Mutlu, 2010). PV'ler tasarımın başında bina fonksiyonu ve bina enerji konseptinin ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmalıdır. PV'lerin bina elemanları ile entegrasyonu görünüş ve estetik açıdan risk içermektedir ve entegrasyonun başarılması zordur. PV'lerin halen pahalı bir teknoloji olusu optimal kullanımı gerektirir (Özkılıç Keleş, 2008). Uzak çatı sistemlerinde ise yüzeye düşen açının her bölgede farklı oluşundan dolayı öncelikle bilgisayar ortamında optimizasyonla simüle edilmesi uygulamalardan daha fazla verim alınmasını sağlayacaktır.

5.1.1. Mimaride PV panel tasarımı

PV sistemleri de binanın bir alt sistemi olarak ele alınmalıdır. PV sistemleri de binaya entegrasyon aşamasından sonra bu sistemlerden biri haline gelir. Çünkü herhangi bir aksaklık diğer sistemlere de yansır. PV panellerin çalışmasını etkileyen faktörleri göz önünde bulundurarak, tasarım aşamasında ilk olarak PV panellerden maksimum enerji üretimi yapacak şekilde tasarlanması konusu ele alınmalıdır. Ayrıca sistemin maliyeti, dayanıklılığı ve çatı tipinin özellikleri de dikkate alınmalıdır (Özkılıç Keleş, 2008).

PV tasarımında;

- İklimsel koşullar: Çatı yüzeyinde gelecek ışıyım miktarı, bölgenin sıcaklığı, rüzgar, nem gibi iklimsel özellikler PV panellerin üretecekleri güç miktarını belirler. Bölgenin iklimsel koşulları incelenip ona uygun şekilde tasarım yapılmalıdır.
- Coğrafi konum: Bölgenin dünya üzerindeki yerine bağılı olarak üzerine gelen güneş eğim açısı, güneşlenme süresi gibi özellikler PV panel sisteminin gücünü önemli ölçüde etkiler. Tasarım yapılacak binanın coğrafi konumu önceden iyi analiz edilmiş olması gerekmektedir.

- Yön ve yüzey eğim açısı : PV panel yüzeyinin eğim açısının elektrik üretimine önemli ölçüde etkisi vardır. Maksimum enerji üretebilmek için güneş ışınlarının bileşene dik gelmesi veya en iyi açıya gelmesi sağlanmalıdır.
- Gölgeleme: Yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde çevre yapıların, çevresinde ağaçlar olan bir arazide ağaçların düşürdükleri gölgeler dikkate alınmalı ve sistem gölgede kalmayacak şekilde konumlandırılmalıdır.
- PV panellerde oluşan sıcaklık: Yüksek sıcaklıklara ulaşan sistemlerde kullanılacak malzemelerin (kablo, vb.) kullanılıp kullanılmadığının kontrol edilmesi gerekir. Panel sıcaklığını düşük tutmak için sistemin arkasında havalandırma boşluğu bırakılması tercih edilmektedir.
- Kirlenme ve tozlanma: Gölgeleme etkisine paralel olarak fotovoltaiik hücrelerin güneş ışınımını alabilmesi açısından önemlidir. Tespit sistemlerinin çıkıntıları fotovoltaiik bileşen üzerinde yaprak veya herhangi bir maddenin birikmesine meydan vermemelidir, çıkıntısız tasarımlar idealdir. Bu tasarım parametresi düşünülürken sistemin kurulacağı bölgenin iklim koşulları da dikkate alınmalıdır. Sistemin yağmur suyu ve rüzgar ile kendi kendine temizlenmesi büyük bir avantajdır, aksi takdirde sistem yüzeyinin belirli aralıklarla temizlenmesi gereklidir.
- Onarım kolaylığı: Tasarım aşamasında fotovoltaiik sistemin dayanıklılığı ve sistemde meydana gelecek arızalarda düşünülmelidir. Herhangi bir onarım durumunda PV panel sistemi elemanlarının birbirlerinden bağımsız olarak sökülebilmeleri önemli bir avantajdır.
- Yönetmelik ve standartlar: Fotovoltaiik sistemin kurulacağı bölgeye özel yönetmelikler incelenerek; renk, malzeme, bina formu gibi konularda getirilmiş kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yönetmeliklere uygun bileşen seçimi ve sistem tasarımı yapılmalıdır.

gibi belirtilen maddeler göz önünde bulundurulması gereken faktörlerdir. Daha çok güneş ışığının eşit bir dağılım gösterdiği PV panellerin verimliliği daha yüksek olacaktır (Özkılıç Keleş, 2008).

5.1.2. Çatı sistemlerinde PV kullanım olanakları

Binalarda PV modüllerini yerleştirmek için en uygun yerlerden biri çatılardır. Çatı uygulamalarının cazip olmasının nedenleri şöyle sıralanabilir (Mutlu, 2010):

- fotovoltaiik üzerine gölge düşme ihtimali daha azdır,
- günün her anında çatı yüzeyinin tümüne güneş ışınımı gelebilir,
- istenilmeyen ısıнын havalandırması cepheye oranla daha kolaydır,
- kolay uygulanabilir olması ve estetik görüntüsü,
- uygulama esnasında gerekli olan strüktürler cepheden daha ucuzdur,
- çatı eğimi fotovoltaiik sistemin maksimum enerji üretmesi düşünülerek kararlaştırılabilir.

Çatı uygulamalarında PV paneller çatı kaplaması olarak veya kaplama üzerine ayrıca ek olarak kullanılabilirler. Çatı kaplaması olarak fotovoltaiik kullanılmasında çatı firmalarının geliştirdiği çeşitli sistemler mevcuttur.

Türkiye’de fotovoltaiik kaplanmış ilk çatı uygulaması, Muğla Üniversitesinin kafeterya binasının güneye bakan çatı yüzeyinde, çatının yenilenmesi ile 2003’te gerçekleştirilmiştir. Bu proje 214 adet çokkristal silisyum fotovoltaiik modülden oluşmakta (120 W) ve modüller 18° eğimli çatı yüzeyinde 215 m² alana Şekil 5.2’deki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 5.2. Muğla Üniversitesi'nde gerçekleştirilen fotovoltaik entegre edilmiş çatı ve cephe uygulamaları

Metal, plastik ve tekstil arka tabakalı fotovoltaik bileşenler, eğrisel çatı uygulamalarına imkân vermektedir. Çatı sistemlerinde fotovoltaik kullanımı planlama aşamasında; PV panelin çalışmasına etki eden faktörler dikkate alınıp fotovoltaik sistemin verimi ve kapasitesi arttırılabilir (Mutlu, 2010).

PV'lerin çatıda kullanımını genel olarak 5 kategoriye ayırabiliriz.

1. Düz çatıda kullanımı
2. Eğimli çatıda kullanımı
3. Eğrisel çatıda kullanımı
4. Testere disli çatıda kullanımı
5. Atriyumda kullanımı

5.1.2.1. PV'lerin düz çatıda kullanımı

Eğimi %5'ten az olan çatılara düz (teras) çatı denir. Düz çatılar derinliği fazla olan yapılarda dik eğimli çatılara kıyasla daha ucuza mal olurlar. Ayrıca düz çatılar, açık mekan olarak farklı amaçlarla kullanılabilirler (Mutlu,2010).

Düz çatı PV panel tasarımı, optimal pozisyonda, destek yapılarla istenilen eğim açısıyla ve istenilen yere uygulanabilir. Çatı strüktürüne mekanik olarak sabitlenmiş teçhizat, vida ve cıvata ile PV'lerin aplikasyonunu sağlar. 10°'den 60°'ye kadar modül ayarı yapılabilir ve 200km/h rüzgar yüküne dayanabilir.) Şekil 5.3'de düz çatı üzerinde uygulaması görülmektedir (Özkılıç Keleş, 2008).



Şekil 5.3. Düz çatı sistemi uygulaması

5.1.2.2. PV'lerin eğimli çatıda kullanımı

Çatı ile yatay düzlem arasında %5'ten fazla açı bulunan eğik düzlemli çatılara eğik çatı denir. Eğik düzlemler farklı şekillerde bir araya getirilerek farklı formlarda eğik çatılar kurulabilir. Şekil 5.3' de eğimli çatı uygulamasına gösterilmiştir.

Eğimli çatı konstrüksiyonları, genelde konut yapıları için özellikle de ekvatora yönelmişse PV'lerin kullanımı için çok uygundur. Eğimli çatılarda PV kullanımını 3'e ayırabiliriz;

- Kiremitle bütünleştirilmiş eğimli çatı örtüsü olarak
- Çatı örtüsü ile bütünleştirilmiş olarak
- Kiremit ve şingül olarak(Özkılıç Keleş, 2008).



Şekil 5.4. Eğimli çatı sistemi

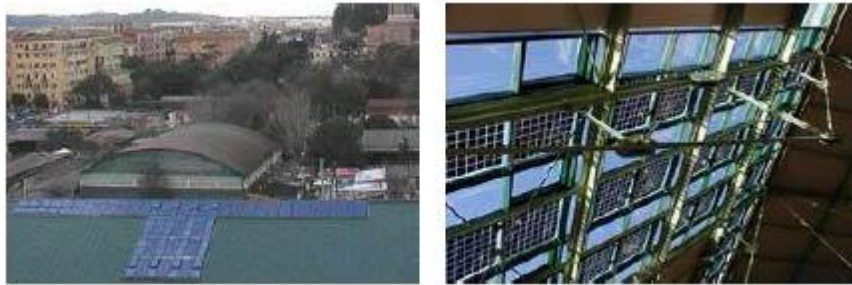
5.1.2.3.PV'lerin eğrisel çatıda kullanımı

Yüzey eğimleri 0-90° arasında değişen çatılara eğri çatı denir. Yüzey eğriliklerine göre tek ve çift eğrilikli çatılar olarak sınıflandırılabilirler (Mutlu, 2010).

- Tek eğrilikli eğri çatılar: bir yönde eğriliğin, diğer yönde ise doğruluğun olduğu eğrilikli çatı formlarıdır. Silindirik veya konisel formdadırlar.
- Çift eğrilikli eğri çatılar: eğrilikleri aynı yönde çift eğrilikli yüzeyler (kubbe); eğrilikleri aksi yönde çift eğrilikli (hiperbolid, hiperbolik paraboloid/eğer) yüzeyler; eğrilikleri aynı ve aksi yönde yüzeyler (konoid, torus) olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilirler (Mutlu, 2010).

PV'lerin kullanımını eğrisel çatılarda da olanaklıdır. Eğrisel çatılarda metal saç veya sentetik esnek malzemeye uygulanmış amorf silisyum, ince film, ya da eğrisel düzenlenmiş opak, yarı saydam PV panelleri kullanılmaktadır. Çatı kendi ağırlığını taşıyan alüminyum kafeslerden yapılır ve modüller kafes segmentlerinin ikisinin arasına yerleştirilip vidalanır.

İtalya'daki Çocuk Müzesinde tahmin edilen tüm enerji polikristal PV'ler tarafından (18.000 kWh/yıl) üretilecek. PV'lerin ürettiği enerjini %11.3'ü ısıtma, 52.8'i soğutma için kullanılacak. Şekil 5.5 PV'lerin eğrisel çatıda kullanımına örnekler verilmiştir(Özkılıç Keleş, 2008).



Şekil 5.5. İtalya çocuk müzesi

Hollanda 'da monokristal esaslı PV'lerin Office Building and Research Laboratuvarları'nda eğimli çatı entegrasyonu uygulaması Şekil 5.6'daki gibi

görülmektedir.



Şekil 5.6. Eğimli çatı entegrasyonu

5.1.2.4. PV'lerin testere dişli çatıda kullanımı

Testere dişli çatılar, yapı içine daha fazla gün ışığı almak amacıyla yapılan çatılardır. Kuzeye bakan ışıklıklarında yarı saydam, güneye bakan eğimli yüzeylerinde de opak PV kullanılması mümkündür. Şekil 5.7'de testere dişli çatıya örnek kullanım gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Testere dişli çatı detayı (Özkılıç Keleş, 2008)

5.1.2.5. PV'lerin atriumda kullanımı

PV'lerin atriyumda ve çatı aydınlatması olarak kullanılması mimariyi canlandırıcı ve en detaylı kullanım şeklidir. Cam ile kaplı bu alanlarda ısıtmanın istenmediği dönemlerde güneşten korunma gereklidir. Saydam PV modüller standart modüllerden 20-30 cent daha pahalıdır. Fakat entegrasyon olasılıkları, çoklu

kullanım özelliği (gün ışığını geçirme, gölgeleme, pasif soğutma) ve mekanik soğutma sistem giderlerini azaltma gibi özellikleri toplam bina maliyetini düşürür. Güneş hücreleri arasındaki mesafe 5-20mm'dir ve içeriye alınmak istenilen ısı değerine göre bu mesafe ayarlanır.

Atriyumdaki çatılarda, cam veya polikarbonat levha üzerine lamine kristal silisyum ya da amorf silisyum kullanılır. Şekil 5.8' de Hollanda Ecn binasında 42 adet sera bulunmaktadır ve bu seraların üzerine 43kWp'lik saydam lamine fotovoltaikler entegre edilmiştir. Böylece cam alanda %70 oranla aydınlatma ve güneş ışığı iletimi azalmıştır. Sera, güneş ışınlarının ısını engellerken gerekli olan doğal aydınlatmayı da sağlamıştır. Böylece mekanik sistemin yanında pasif bir soğutma yapılmıştır.



Şekil 5.8. Hollanda ECN Binası Atrium Uygulaması (Özkılıç Keleş, 2008)

5.1.3. Çatı taşıyıcı sistemi

Kullanıcının sosyal-psikolojik gereksinmelerinden olan güvenlik gereksinmesi, kullanıcının fiziksel zarar ve tehditlerden korunduğu ortamlarda karşılanabilir. Çatı sistemi açısından kullanıcı güvenliğinin sağlanması da, çatı sisteminin doğal çevre etmenlerinden yükler ve kuvvetlerin etkisi altında belirli bir açıklığı geçerken herhangi bir dönme, çökme ve deformasyona uğramadan, yükleri stabil ve dayanıklı bir şekilde bina taşıyıcı sistemine aktarabilmesine bağlıdır.

Çatı sisteminin belli bir açıklığı stabil ve dayanıklı bir şekilde geçebilmesini de çatı taşıyıcı sistemi sağlar. Çatı taşıyıcı sistemleri kirişli ve yüzeysel çatı taşıyıcı sistemleri olarak iki ayrı şekilde ele alınabilir.

5.1.3.1. Çatı taşıyıcı sistem çeşitleri

Çatı taşıyıcı sistemleri bileşenlerine göre kirişli (ızgara) ve yüzeysel çatı taşıyıcı sistemleri olarak sınıflandırılabilirler. Kirişli taşıyıcı sistem elemanları ve düzlemi oluşturan yardımcı elemanlarla kurulan sistemlere, kirişli taşıyıcı sistemler denir. Kenarlarından bina taşıyıcı sisteminin kirişlerine basan kirişlerle veya bunlara ek olarak çok sayıda, genellikle birbirine paralel konumlu ara kirişlerle oluşturulurlar. Şekil 5.9’da kirişli taşıyıcı sistemleri oluştururken kullanılan taşıyıcı çubuk elemanlar ve düzlemi oluşturan yüzeysel elemanlar ile bu elemanlarla oluşturulabilecek çatı formları verilmiştir.

YÜZEYSEL ELEMANLAR		+	ÇUBUK ELEMANLAR(KİRİŞLER)		->	ÇATI FORMLARI		
						DÜZ	EĞİK	EĞRİ
AHŞAP DÖŞEME TAHTASI AHŞAP PANEL AHŞAP GERMELİ PANELLER B.A. PLAK (YERİNDE DOKUM) B.A. PLAK (ÖNYAPIMLI) ÇELİK TRAPEZODIAL LEVHA ÜZERİNE BETON DOLGU GAZBETON PANEL ÇELİK TRAPEZODIAL LEVHA			AHŞAP KİRİŞ					
			AHŞAP LAMİNE KİRİŞLER					
			AHŞAP KUTU (SANDIK) KİRİŞ					
			ÇELİK I PROFİL					
			ÇELİK DOLU GÖVDELİ BİLEŞİK KİRİŞ					
			BETONARME KİRİŞ					
			ÜÇGEN KAFES KİRİŞ (ÇELİK / AHŞAP)					
			PARABOLİK KAFES KİRİŞ (ÇELİK / AHŞAP)					
			DÜZ KAFES KİRİŞ (ÇELİK / AHŞAP)					
			KEMER (ÇELİK / LAM. AHŞAP / B.A.)					
			UZAY KAFES					

Şekil 5.9. Kirişli taşıyıcı sistemlerde kullanılan yüzeysel ve çubuk taşıyıcı elemanlar ve bu sistemlerle kurulabilen çatı formları(Mutlu,2010)

Kirişli çatı taşıyıcı sistemlerinden farklı olarak, ara çubuk taşıyıcı elemanlar olmaksızın, sadece yüzeysel taşıyıcı elemanlarla kurulan çatı taşıyıcı sistemlerine yüzeysel çatı taşıyıcı sistemleri denir.

5.2. Uzay Kafes Sistemler

Uzay kafes sistemler, düz ya da eğrisel yüzeylerden oluşan ve çubuk elemanları ağısı düzende olan, üzerine gelen yükleri üç boyutta çubuk elemanlara dağıtan, yük taşıma mekanizması kendi bünyesinde olan ve kırıışli taşıyıcı elemanlardan oluşan genellikle hiperstatik yapı sistemleridir (Vardar Öz, 2012).Şekil 5.10’da görüldüğü gibi her düğüm noktasında üç boyut doğrultusundan gelen çubuklar birleşmektedir (Ülker, 2007).



Şekil 5.10. Uzay kafes sistemi

Uzay kafes sistemler son yarım yüzyılda dünya çapında ilgi gören yapıım sistemleri haline gelmiştir. Bu sistemler, ışıklandırma kolaylığı, ekonomik ve hızlı yapıım tekniklerinden dolayı tercih edilmektedir. Spor alanlarında(kapalı yüzme havuzları, spor salonları), sergi ve fuar alanlarında, konferans ve toplantı salonlarında, ulaşım terminallerinde, havalimanı hangarlarında, atölyelerde ve sanayi yapılarında geniş çaplı olarak kullanılmaktadır (Vardar Öz, 2012). Günümüzde Türkiye’de büyük açıklıklı sanayi yapılarının örtülmeleri konusunda oldukça fazla uygulama alanı bulmaktadır (Eşsizoglu, 2008). Şekil 5.11 ve 5.12’de kullanım alanları örnekler gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Adiyaman üniversitesi yüzme havuzu (Denge Çelik, 2004)



Şekil 5.12. İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı

Sistemin en önemli özelliği, gelen yükü tüm çubuk elemanlarına eşit biçimde dağıtabilmesidir. Her bir çerçeve, düzlemi içinde gelen yükleri bir diğerinden bağımsız olarak temele aktarmaktadır (Vardar Öz, 2012). Statik yararları açısından, bu sistemler diğer taşıyıcı sistemlere oranla daha hafiftir. Sabit yüklerin azlığı sadece çatıda değil, alt sistem öğeleri ile temellerde kendini göstermektedir (Eşsizoglu, 2008). Doğru olarak planlandığı takdirde uzay kafes sistemler, diğer sistemlere göre daha az malzeme gerektirmektedir. Böylece maliyet azalır sistem daha ekonomik olmaktadır. Ayrıca sistemi oluşturan parçaların defalarca sökülüp takılabilmesi, dolayısıyla onarımının kolay olması da bir diğer olumlu özelliğidir (Orbay ve Savaşır, 2004). Standart elemanlardan oluştuğu için, tasarım, imalat ve montaj süreleri çok kısa ve süratlidir (Ülker, 2007).

Uzay kafes sistemler oldukça geniş biçimsel olanaklar da sağlayabilmektedir. Düzlem yüzeyler ve bunun katları geliştirilebileceği gibi, ayrıca kubbe ve tonozsal biçimler ve bunların tekrarı şeklinde de kurulabilmektedir. Uzay kafes sistemler donatı yerleşiminde de yararlılıklar sağlayabilmektedirler. Elektrik, sıhhi tesisat, havalandırma kanalları klima, iklimlendirme sistemleri gibi donatılar, bu sistemlerin oluşum ilkesinden doğan boşluklarda kendilerine kolaylıkla yerleşim alanı bulabilmektedir. Bu donatılar her doğrultuda yer alabilmektedirler. Elektrik bağlantıları çubukların içinden geçirilerek de yapılabilirler (Eşsizoglu, 2008). Özellikle çatı sistemi yüzeyinde güneş panellerinin yerleşimi bu sistemlerin sağlamış olduğu boşluklardan kablolama, havalandırma işlemi rahatlıkla yapılabilir.

5.2.1. Uzay kafes sistemlerin boyutlandırılmasındaki özellikler

Uzay kafes sistemlerinin yapısal özelliğinden dolayı geniş bir esnekliği bulunmaktadır. Ancak yapı iyileştirmesi ve optimum çözümler elde edebilmek açısından aşağıdaki bazı kriterlerin göz önüne alınması yararlı olacaktır:

- Yapının Plan Geometrisi: Kare şekilde geometrik formlarda kenar uzunluklar seçilebilirse ekonomik açıdan daha uygun sonuçlar elde edilebilir.
- Optimum Kafes Sistem Yüksekliği: Kafes sistemi yüksekliği bir çok parametreye bağlıdır. Kafes giriş yüksekliği, seçilen modül boyuyla da ilgilidir. Yükseklik, modülün kendisinden fazla, yarısından az olmamalıdır. Bu sınırlama, çubukların birbirleriyle eşit ve uygun açılar yapmaları açısından oldukça önemlidir ve en uygun yükseklik denklik 5.1 deki gibi yazılabilir.

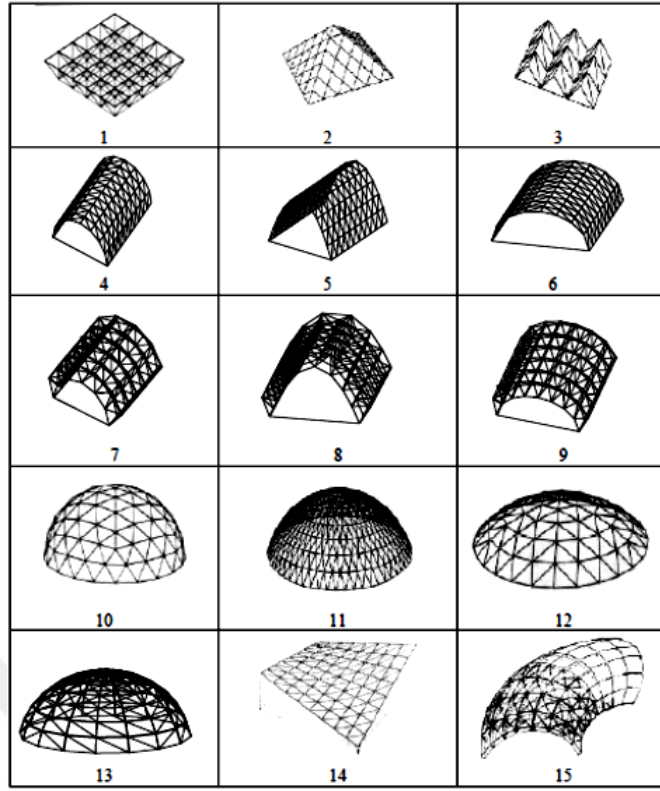
$$\text{Modülboyu}/2 \leq h \leq \text{modülboyu} \quad (5.1)$$

- Modül Boyutu: Uzay kafes sistemlerde modül boyutunun, geniş alanların kapatılmasında 2.5 m. ile 3.5 m. arasında seçilmesi uygun bir çözüm olarak

belirlenmiştir (Ülker, 2007). Çubuk ve küre sayısı modül boyutuna bağlı olarak değişir. Eğer modül boyu küçük seçilirse, çubuk ve küre sayısı artacak, bu da yapının maliyetini artıracaktır. Bunun yanında kafes sistem tasarımı estetik ve görünüm ön planda amaçlanırsa modüllerin daha küçük seçilmesi önerilmektedir.

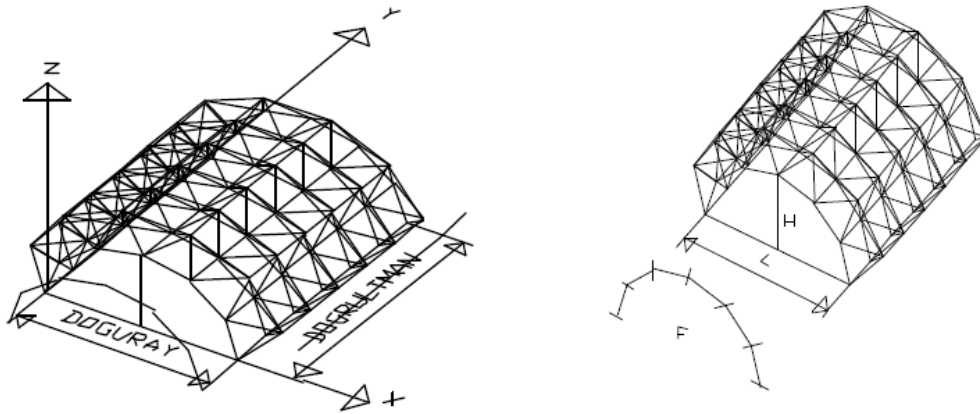
5.2.2. Uzay kafes sistemlerinin geometrik olarak sınıflandırılması

Uzay kafes sistemleri şekilsel olarak tasarlanırken sistem geometrisinin oluşturulması için iki farklı yöntem izlenir. İlk yöntemde; bir doğru veya bir eğrinin aynı düzlemde bulunan bir eksen etrafında döndürülmesiyle hacimsel bir yüzey oluşturulur. Diğer yöntem de ise bir doğru veya eğrinin bulunduğu düzleme dik yöndeki diğer bir düzlem içinde yer alan bir eğri veya bir doğru üzerinde ötelenmesiyle bulunur. Tüm bu yöntemlere göre bir çember parçasını ona dik düzlemde yer alan bir doğru parçası üzerinde ötelersek silindir yüzeyi, yine aynı çember parçasını ona dik düzlemde yer alan bir başka çember veya parabol yayı üzerinde ötelemekle de hiperbolik paraboloid veya eliptik paraboloid yüzey elde edilmiş olur. Şekil 5.13' te farklı geometrik biçimlerdeki uzay kafes örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Strüktür geometrisi açısından uzay kafes kiriş örnekleri

Ötelenen yay veya doğru parçasına 'doğuray', üzerinde doğurayın ötelendiği yay veya doğru parçasına da 'doğrultman' denir. Şekil 5.14'te doğrultman bir doğru parçası ve doğuray da bir çember yayıdır.



Şekil 5. 14. Doğuray ve doğrultman yönleri, L' açıklığı ve 'H' yüksekliği

Uzay kafes sistemleri, geometrik açıdan incelendiğinde; düzlem yüzeyli ve eğri yüzeyli olarak iki ana gruba ayrılabilir.

5.2.2.1. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler

Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler, doğurayı ve doğrultmanı düz çizgiden oluşan sistemlerdir. Yüzey geometrisini oluşturan her iki çizginin de düz olmasından dolayı herhangi bir eğriliği yoktur. Düz, eğik ve katlanmış yüzeyler olarak kullanılabilirler (Şekil 5.13'deki 1., 2. ve 3. şekiller).

5.2.2.2. Eğri yüzeyli uzay kafes sistemler

Eğri yüzeyli uzay kafes sistemleri elde etmek için doğuray ve doğrultmandan en az birinin eğri olması gerekir. Doğuray ve doğrultmandan yalnız bir tanesi eğri, diğeri doğru parçası ise bu tür sistemler 'tek eğrilikli sistemler', her ikisi de eğri ise 'çift eğrilikli sistemler' adını alır.

5.2.2.3. Tonoz biçimli uzay kafes sistemler

Geometrik şekli silindire benzediği için bu şekildeki uzay kafes sistemlere silindir yüzeyli veya tonoz biçimli uzay kafes sistemler denilmektedir. Tek eğrilikli sistemlere örnektir. Tonoz yüzeyli uzay kafes sistemlere eğriliğini veren doğuray yayıdır. Bu yay geometrik olarak çember yayı, parabol yayı ve elips yayı olmak üzere üç şekilde olabilir. Yayın aldığı isimlere göre de tonoz uzay kafes sistemleri; çember yaylı tonoz sistemler, parabol yaylı tonoz sistemler ve elips yaylı tonoz sistemler olarak üç grupta inceleyebiliriz.

Tonoz biçimli uzay kafesler ile düzlem uzay kafesler karşılaştırıldığında, tonoz şeklinin sisteme getirdiği üstünlük vardır. Düzlem uzay kafeslerde, sisteme etki eden dış yükler, etkidikleri yöne dik olan yönde iletilirler. Tonoz yüzeyli uzay kafes sistemlerde ise doğuray yönündeki çubuklar arasında kalan açılar 180° den küçüktür. Tonozun hiç bir bölgesinde bu açı 180° olmamaktadır. Bu da, statik ve stabilite açısından, tonoz biçimli uzay kafes sistemleri daha etkin kılmaktadır (Orbay ve Savaşır ,2004).

5.2.3. Sistemin ağırlığını etkileyen geometrik faktörler

Tonoz biçimli uzay kafes sistemlerde, sistemin geometrisini değiştiren tüm etmenler sistem ağırlığının da değişmesinde etkili olurlar. Geometrisini değiştiren başlıca etmenleri üç ana başlık altında toplamak olanaklıdır. Bu etmenler:

1. Sisteme eğriliğini veren yayın (doğuray) geçtiği açıklık (L),
2. Sistemin geometrik yüksekliği (H),
3. Sisteme eğriliğini veren yayın geometrisidir(Orbay ve Savaşır ,2004).

5.2.4. Uzay kafes sistemlerin geometrik açıdan incelenmesi

Uzay kafes sistemlere eğriliğini veren çember, parabol ve elips biçiminde olabilen doğuray yayıdır. Bina üzerinde daha çok parabol biçimli çatı tipi kullanılmaktadır.

Parabol biçimli yüzeylere tasarım yapılırken sistemin öncelikle geometrik ve matematiksel modelleri çıkarılmalıdır. Parabolün üzerindeki koordinatların bilinmesi için parabolün genel denklemi çıkarılması gerekir. Denkliğin çıkarılmasında kullanılacak H yüksekliği ve L açıklığı tasarım esnasında bilinmektedir. 'H' yüksekliğinden parabolün tepe noktası elde edilebilir. Tepe noktası T(r,k) olarak verilen parabolün denkliği;

$$y = a(x - r)^2 + k \quad (5.2)$$

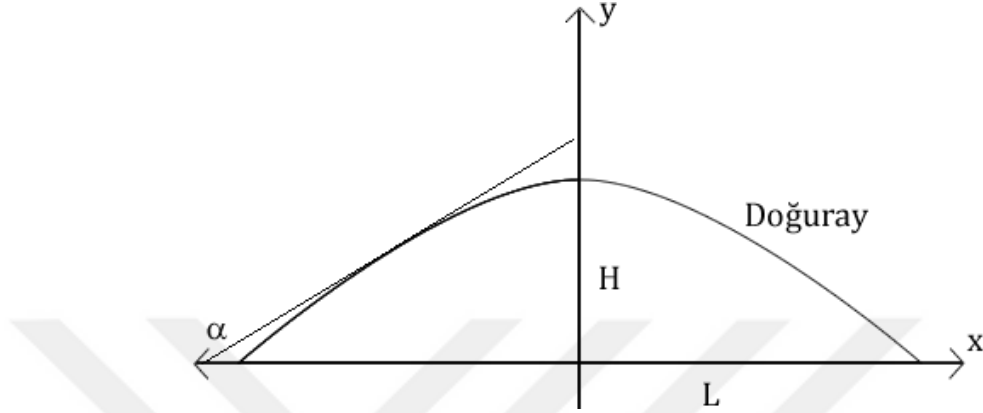
olarak yazılabilir. Bu denklikde r=0 ve k= H değerleri konulur. Denkliğin son hali;

$$y = a(x)^2 + H \quad (5.3)$$

Yüzeye yapılacak entegre sistemler veya PV modül gibi eklemeler içinse doğurayın yani parabolün uzunluğunun hesaplanması gerekir. Yay uzunluğu denkliği;

$$\text{Yay uzunluğu} = \frac{1}{2}\sqrt{L^2 + 16H^2} + \frac{L^2}{8H} \ln \left(\frac{4H + \sqrt{L^2 + 16H^2}}{L} \right) \quad (5.4)$$

olarak yazılabilir.



Şekil 5. 15. Parabol üzerindeki nokta ile yüzey arasındaki eğim

Şekil 5.15’de parabol üzerindeki bir nokta ile yüzey arasındaki eğim gösterilmiştir. Parabolün yüzeyine yerleştirilecek PV modülün yüzey yaptığı açının bulunması için bu açının bulunması gerekir. Açı bulunurken doğrudan bir dikme çıkılır. Dikme çıkılan doğrunun denkliği parabol üzerindeki nokta kullanılarak hesaplanabilir. Doğru x eksenini kesene kadar uzatıldığında arada kalan açı α açısına eşit olmuş olur. α açısı doğru denkliğinin eğimi bulunduğundan sonra, eğim değerinin arctanjantı alınarak hesaplanabilir.

6. GENETİK ALGORİTMALAR

Genetik algoritmaları açıklamadan önce genel olarak optimizasyon kavramının açıklanması gerekmektedir. Optimizasyon; bir gerçel fonksiyonu minimize ya da maksimize etmek amacı ile gerçek ya da tamsayı değerlerini tanımlı bir aralıkta seçip fonksiyona yerleştirerek sistematik olarak bir problemi incelemek ya da çözmek işlemlerini ifade eder. Kısaca, problemde belirli koşullar altında mümkün olan alternatifler içinden en iyisini seçmektir (Ortakçı, 2011).

Optimizasyon problemleri çözülmeye çalışılırken öncelikle uygunluk fonksiyonu seçilmelidir. Uygunluk fonksiyonu muhtemel çözümlerin kalitesini ve performansını belirler. Uygunluk fonksiyonunun sonucu kârı, zamanı, yerleşimi gibi bir özelliği ya da özellikler grubunu temsil eden sayısal bir ifade olabilir. Uygunluk fonksiyonu çözülecek problemle ilgili özelliklere sahip değişken adı verilen değerlere göre hesaplanır. Bu noktada amaç en uygun değişken değerlerini bulmaktır. Uygunluk fonksiyonları problem türüne göre bir maksimizasyon ya da minimizasyon fonksiyonu olabilir. Uygunluk fonksiyonlarının hesaplanması sırasında probleme göre bazı kısıtlara dikkat edilmesi gerekir. Uygunluk fonksiyonlarında çözüm uzayındaki bütün değişkenlerin değil problem kısıtlarına uyan değişkenler kullanılır (Ortakçı, 2011). Problemin zorluk derecesine veya türüne göre çözüm uzayı oldukça büyüyebilmektedir. Bu durumda en iyiye ulaşmak için çok uzun zaman gerekebilmektedir. Çözüm uzayındaki değişkenlerin her birinin denenmesi ile yapılan en iyilemeye Sayım (enumeration) tekniği denir. Fakat bu yöntem çok uzun zaman alır (Özsağlam, 2009) .

Bir optimizasyon problemi modellenirken değişkenlerin, kısıtların ve uygunluk fonksiyonlarının tanımlanması gerekir. Modeldeki değişkenlerin ve kısıtların sayılarının artması modelin karmaşık bir hal almasına ve genellikle çözümü için bilgisayar uygulamalarına ihtiyaç duyulmasına neden olur. Bütün optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılabilecek genel bir optimizasyon algoritması yoktur. Probleme dayalı olarak kullanılabilecek çeşitli optimizasyon algoritmaları vardır (Ortakçı, 2011). Probleme göre bu algoritmanın seçimi

problemi çözme konusunda önemli bir etkendir.

Doğrusal algoritmalar, uygunluk fonksiyonun doğrusal fonksiyonlardan oluştuğu ve çözüm kümesinin yalnızca doğrusal eşitlik veya eşitsizlikler ile ulaşılabilir olduğu optimizasyon algoritmalarıdır. Doğrusal olmayan algoritmalar ise uygunluk fonksiyonun, problemle ilgili kısıtların doğrusal olmayan fonksiyonların olduğu optimizasyon algoritmalarıdır (Ortakçı, 2011).

1950'li yıllarda birkaç bilgisayar bilimcisi, mühendislik problemlerinde en iyileme metodu olarak evrim mantığını kullanarak evrimsel sistemler üzerinde çalışmalar yapmışlardır. 1960'lı yıllarda ise John Holland tarafından genetik algoritmalar geliştirilmiş ve 1960'lı ve 1970'li yıllarda kendisi ve öğrencileri tarafından geliştirilmiştir. Holland'ın asıl amacı doğada bulunan adaptasyon sürecinin nasıl bir mekanizma ile bilgisayar sistemlerinde kullanılabileceği konusu olmuştur (Erkut, 2010).

Evrimsel Algoritmalar canlı popülasyonlarının çevrelerine adapte olmalarına izin veren biyolojik işlemlerden esinlenmiş sezgisel optimizasyon algoritmalarının geniş bir sınıfıdır. Evrimsel algoritmalar; evrimsel programlama, evrimsel strateji, genetik algoritmalar, genetik programlama ve benzerleri gibi alt bölümlere ayrılabilir. Genetik algoritmalar doğal evrimin teorisinden esinlenilerek biyolojik süreçleri modelleyen bir en iyileme tekniğidir (Kaya, 2012).

Genetik Algoritmalar doğal evrim süreçlerini modelleyerek olası çözüm uzayında en iyi çözüm arayan ve etkin çözümler sunan bir araştırma tekniğidir (Kaya, 2012). Genetik algoritma karar değişkeninin çok sayıda olması veya üzerinde çalışılan verinin çok büyük boyutta olması halinde istenen derecede iyi bir sonucu bulmak adına geliştirilmiş sezgisel bir algoritmadır (Şenol, 2013). Genetik algoritmayı diğer en iyileme algoritmalarından ayıran durum rastgele bir başlangıç çözümü oluşturduktan sonra bu çözüm üzerinden evrimsel yöntemlerle iyi bir sonuca ulaşmasıdır (Şenol, 2013). Genetik algoritma her zaman en iyi çözümü bulamayabilir, fakat en iyiye yakın bir çözümü üretebilir.

Genetik algoritmalar sistemin matematiksel model bilgisine gerek duymaz. Çözüm esnasında karmaşık matematiksel hesaplamalar yerine yalnızca giriş - çıkış bilgilerine ihtiyaç duyar (Tuğ, 2005). Bu avantajlardan dolayı karmaşık problemlerin en iyilemesi ve çözümü için tercih edilebilir bir yöntemdir.

6.1. Genetik Algoritmanın Tanımı

Genetik bilimi ile benzer terminolojiler kullanılmaktadır. Genetik algoritmada bireylerin oluşturduğu topluluk yer alır, bu topluluğa popülasyon adı verilir. Popülasyon içerisinde her bir bireyin kalıtsal özelliklerinin taşındığı kromozomlar bulunmaktadır (Goldberg, 1989). Her bir kromozom aynı zamanda bireydir (Michalewicz, 2004). Probleme ait her bir olası çözüm birey olarak temsil edilmiştir (Erkut, 2010). Bireyler ise sabit sayıdaki genlerin birleşiminden meydana gelmiştir. Genler bilgilerin tutulduğu karakterler veya özellikler olarak gösterilmektedir (Curtis, 1975), çözüm üretmek için kullanılan problem parçası olarak da tanımlanabilir (Kaya, 2012).

Genetik algoritmalar evrim esnasında, popülasyon içerisindeki bireyleri çaprazlama ve mutasyon gibi işlemlerle; daha iyi sonuç veren çözümler elde etmeye çalışmaktadır. Her bir işlem sırasında, bireyler üzerinde doğal seçim uygulanarak, hangi çözümün daha iyi durumda olduğu incelenerek bir sonraki popülasyona geçeceğine karar verilmektedir. İyi bireyler olası çözümün uygunluğu ile anlaşılmaktadır. Daha iyi uygunluk değerine sahip çözümler, kötü uygunluk değerine sahip çözümler yerine bir sonraki evrime geçmektedirler. Her bir çözümün sahip olduğu uygunluk değeri, genetik algoritmanın amacına yönelik belirlenen bir uygunluk fonksiyonu sonucu hesaplanmaktadır.

Genetik algoritmanın uygulamalarda kullandığı yöntemler ve özellikleri kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir (Şenol, 2013):

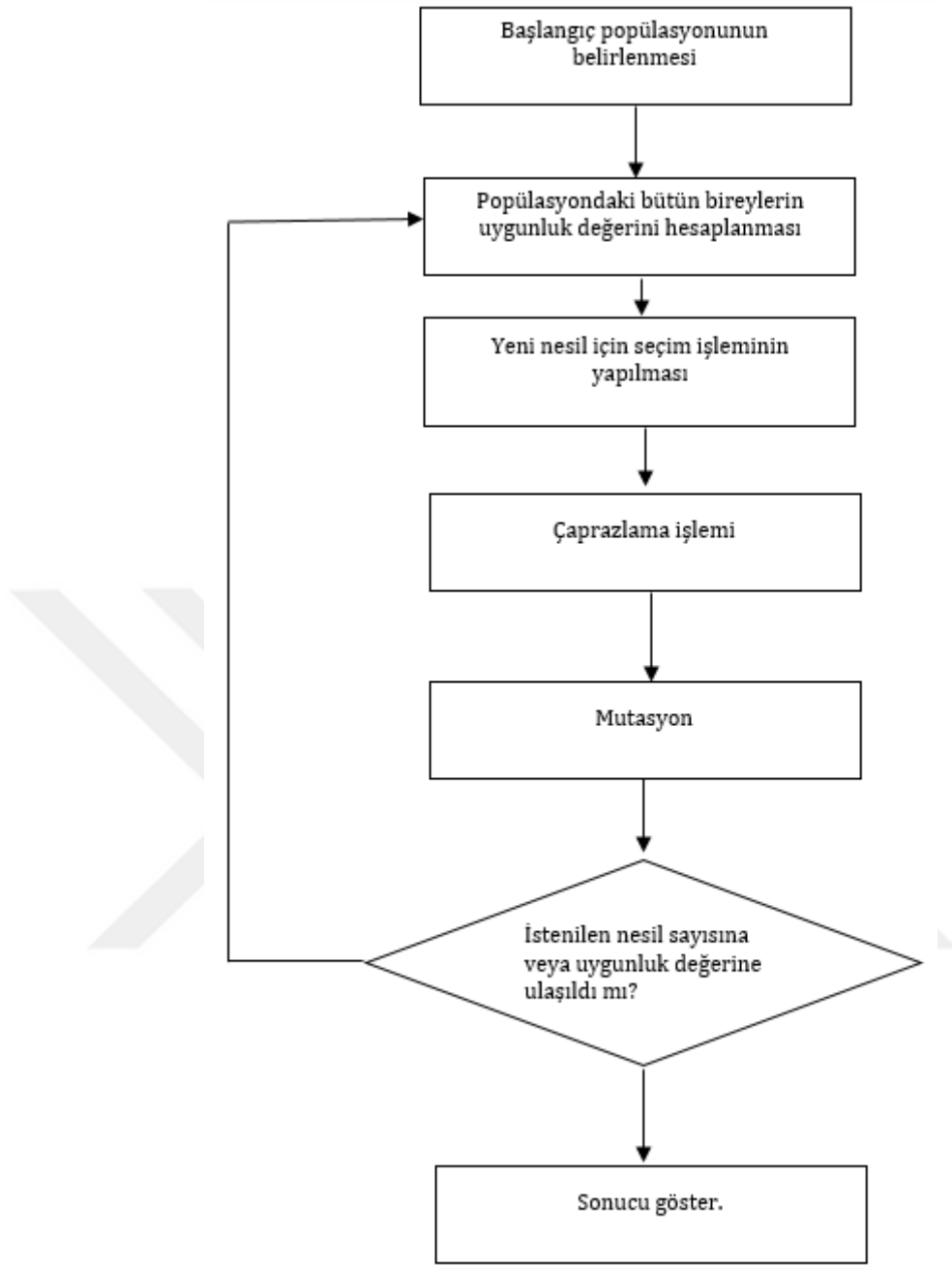
- Her bir birey çözümün tamamını ifade eder. Genellikle 100 ile 300 arasında bireyden oluşan popülasyona sahiptir.

- Popülasyondaki tüm bireylere ait özellikler üzerinde seçme, çaprazlama, mutasyon gibi operatörleri kullanarak yeni popülasyon oluşturur.
- Her yeni popülasyona mevcut popülasyondan belirli sayıdaki uygunluk fonksiyonu kullanılarak en iyi bireyler aktarılır.

Genetik algoritmalar rastlantısal olarak çalışan arama algoritmalarıdır. Bir popülasyona ait uygunluk değeri, en uygun birey ortaya çıkana kadar belirli süre boyunca sabit kalabilmektedir. Bu da genetik algoritmayı sona erdirmeye problemini doğurmaktadır. Bu problemi aşmak için, genetik algoritmayı önceden belirlenmiş süre kadar çalıştırmak ve en son nesil için yineleme gerçekleştirildikten sonra genetik algoritmayı sona erdirmektir (Erkut, 2010). Eğer istenilen düzeyde bir çözüm elde edilememiş ise genetik algoritma tekrardan başlatılmalıdır.

6.2. Genetik Algoritmaların Çalışma Prensipleri

Genetik algoritma sürecinin başlaması için öncelikle başlangıç popülasyonu oluşturulup buradaki bireylerin her birinin uygunluk değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Ardından seçim yöntemleri ile bu bireyler içinde yeni popülasyona aktarılacak olanlar seçilir. Seçilen popülasyon arasında evrimsel işlemler uygulanmaktadır. Önce çaprazlamaya (crossing-over) maruz kalan bireyler daha sonra mutasyon (mutation) geçirmektedirler. Oluşan yeni bireylerin uygunluk fonksiyonları yeniden hesaplanır. Uygunluk değerine göre bir sonraki popülasyona aktarılacak bireylerin belirlenmesi için tekrar seçim işlemi yapılmaktadır (Reeves ve Rowe, 2002). Bu işlem süreci problemin türüne göre en uygun sonuç elde edilinceye kadar sürer. Genetik algoritmanın akış diyagramı Şekil 6.1’de gösterilmiştir (Kaya, 2012).



Şekil 6.1. Genetik algoritma akış diyagramı

6.2.1. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

Genetik algoritmalar en iyileme için son derece uygun ve güçlü bir yöntemdir. Genetik algoritma en uygun sonucu bulmak için birden fazla noktadan aramaya başladığın için bu arama noktalarının başlangıç değerlerini düzgün oluşturmak önemlidir (Kaya, 2012). Başlangıç popülasyonu genellikle rastgele olarak oluşturulur. Problemin daha hızlı çözülmesi için başlangıç değerlerinin etkisi ve

performans artırıcı özelliği varsa buna uygun başlangıç noktaları seçilmesi gerekir.

Başlangıç popülasyonu; sabit sayıda (N) birey içeren bir kümenin oluşturulması işlemidir. Bunun için öncelikle problem değişkenleri kümesini içeren N adet birey oluşturulmalıdır. Başlangıç popülasyonu büyüklüğüne göre genetik algoritma işlemi farklı şekilde etkilenir (Erkut, 2010). Küme büyük tutulursa, farklı noktalarda çözüm çeşitliliği artmakta fakat arama süreci de uzamaktadır. Küçük olduğu durumda ise arama süresi hızlanmakta fakat çözüm çeşitliliği azalmaktadır.

6.2.2. Uygunluk fonksiyonunun hesaplanması

Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra, popülasyon içerisindeki her bir birey için uygunluk fonksiyonu hesaplanarak bir uygunluk değeri bulunmaktadır. Uygunluk değeri bireyin ne oranda çözüm olduğunu belirtir. Uygunluk fonksiyonu genetik algoritmaların en temel yapı taşıdır ve oluşturulan her nesilde, doğal seçim sürecinde hangi bireylerin bir sonraki nesil içerisinde bulunacağına karar verir. Genetik algoritmaların başarısı bu uygunluk fonksiyonunun tanımına ve hassasiyetine dayanmaktadır.

Uygunluk fonksiyonu çözülecek problemin yapısına ve tanımına göre değişiklik gösterir. Her problemin kendine özgü bir uygunluk fonksiyonu vardır. Uygunluk değeri büyük olan bireyler veya küçük olan bireyler bir sonraki nesil içerisine aktarılarak, daha iyi sonuç veren çözümler elde etme olasılığı artırılır (Erkut, 2010).

Bazı problemler de bireyin uygunluk değeri, bireyden elde edilen sonuç ile tahmin edilen sonuç arasındaki farktan bulunabilir, daha iyi bireylerde bu fark sifıra yakın olacaktır (Tuğ, 2005).

6.2.3. Doğal seçim ve genetik operatörler

6.2.3.1. Doğal seçim

Biyolojik evrimde olduğu gibi genetik algorithmada da bireyler gelecek nesil içerisinde yer alma mücadelesi verirler. Bireyler uygunluk değerlerine göre algoritma içinde yer alıp kalmaya devam ederler. Doğal seçim, popülasyon içerisindeki bireylerin uygunluk değerlerine göre bir sonraki nesil içerisinde yer alıp almayacaklarına karar veren süreçtir. Bu süreç sonucu yeni oluşturulacak popülasyon içerisinde daha iyi sonuç veren bireyler bulunacaktır. Doğal seçim, temel olarak uygunluk fonksiyonları sonucu uygunluk değerleri bulunan bireyler arasından, uygunluk değeri küçük olanların elenmesi ve yerlerine uygunluk değeri büyük olan bireylerin korunması şeklinde ilerleyen bir işlemdir.

Genetik algoritma süreci esnasında popülasyonun büyüklüğü sabit tutulup, popülasyonun ortalama uygunluk değerinin artırılması sağlanmalıdır. Bu probleme çözüm olarak bazı doğal seçim teknikleri geliştirilmiştir ve bunlardan en yaygın kullanılanları rulet çemberi seçimi, turnuva seçimi ve elitizmdir.

6.2.3.2. Elitizm(Seçkincilik)

Elitizm işlemi mevcut popülasyondaki uygunluk değeri yüksek iyi bireyleri koruma işlemidir. Bu nedenle belli sayıdaki iyi bireyler güçlü elit bireyler olarak yeni nesle aktarılır. Ayrıca bu yöntem seçim metodu yanına ek operatör gibi de kullanılabilir(Tuğ, 2005). Elitizm oranı genelde 0,01 civarında seçilir fakat bu oran problem türüne göre arttırılabilir veya azaltılabilir (Şenol, 2013).

6.2.3.3. Genetik operatörler

Genetik operatörler, doğal seçim sonucu eşlenen ebeveyn bireyleri kullanarak yavru bireyler üretmeye yarayan işlemlerdir. Böylelikle verilen probleme ait en uygun çözümü bulmak için birey çeşitliliği arttırılmış olmaktadır. Bu işlemler biyolojik evrimden bilinen genetik operasyonların yapay bir modelidir. Genetik

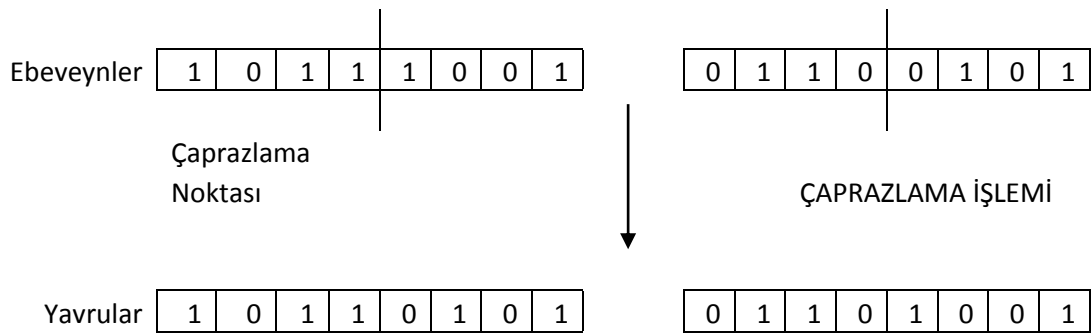
algoritmalar içerisinde kullanılan ana operatörler çaprazlama ve mutasyondur.

6.2.3.4. Çaprazlama operatörü

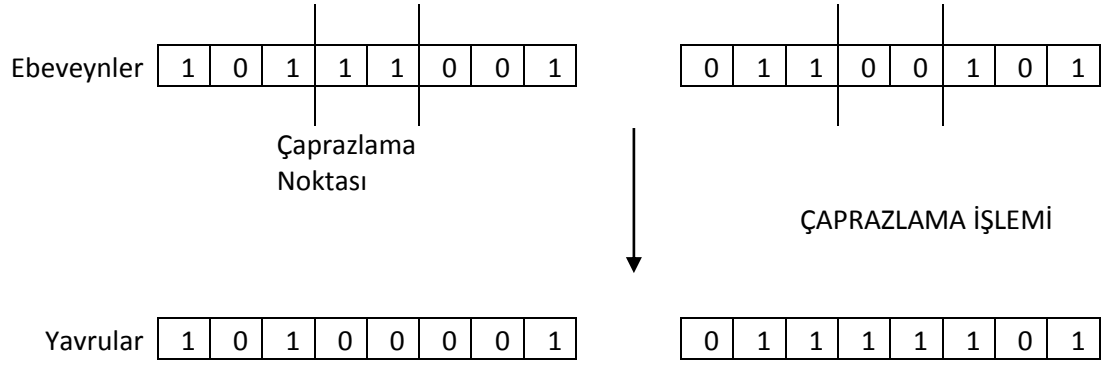
Çaprazlama, doğal seçim sonucu seçilen iki ebeveyn bireyin eşlenerek, iyi genlerinin birleştirilmesi sonucu yeni nesile aktarılacak daha iyi özelliklere sahip yavru bireyler üretmek için yapılan işlemdir. Ebeveyn bireylerin hangi genlerinin daha iyi olduğu konusunda fikir sahibi olunamadığından, bu birleştirme işlemi rastlantısal olarak gerçekleşmektedir.

Çaprazlama işlemi için ilk olarak, ebeveyn bireylerin üzerlerinde yavru bireylere aktarılacak parçaları belirlemek için bir çaprazlama noktası seçilmelidir. Çaprazlama noktası tüm bireylerde aynı olabileceği gibi her ikili birey içinde ayrı ayrı çaprazlama noktaları da belirlenebilir (Tuğ, 2005). Daha sonra iki ebeveyn bireyin çaprazlama noktasından kesilen parçalar birleştirilerek, iki adet yeni yavru birey elde edilmektedir.

Çaprazlama operatörü seçilen çaprazlama yöntemine göre yapılmalıdır. Bazen seçilen yöntem ile uygunluklar iyileştirmeyip daha kötü bireyler de elde edilebilir, bu yüzden probleme uygun çaprazlama yöntemi belirlenmelidir. Şekil 6.2 ve 6.3 bazı çaprazlama yöntemlerini göstermektedir.



Şekil 6.2. Tek noktalı çaprazlama işlemi

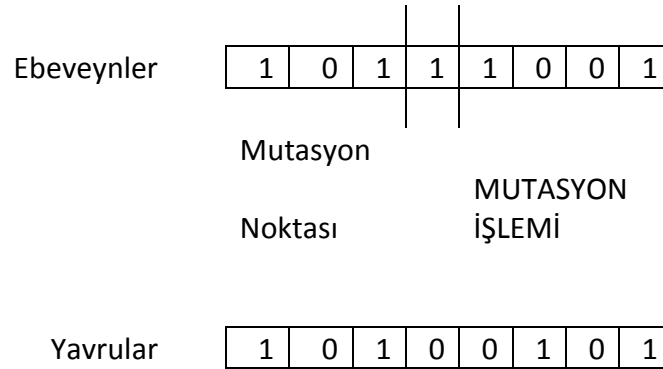


Şekil 6.3. İki noktalı çaprazlama işlemi

Bir genetik algoritma içerisinde uygulanacak çaprazlama işleminin oranı, çaprazlama olasılığı denilen bir değer ile belirlenmektedir. Yaygın olarak kullanılan ve iyi sonuçlar veren çaprazlama oranı değeri 0,7'dir (Erkut, 2010).

6.2.3.5 Mutasyon operatörü

Bir birey üzerinden rastgele seçilen bir gen değerinin değiştirilmesi işlemine mutasyon denir. Mutasyon gerçek evrimde çoğunlukla olumsuz sonuçlar meydana getirir. Genetik algoritmada da bireyin uygunluk değeri üzerinde bir gelişmeye olanak sağlasa da, genellikle daha olumsuz sonuçlar meydana getirmektedir. Bu yüzden genetik algoritmalar içerisinde mutasyon gerçekleşmesi sıklığını temsil eden mutasyon oranı, çaprazlama oranı kadar fazla değildir. Şekil 6.4' de mutasyon işleminin bir kromozom üzerinde uygulamasını göstermektedir. Mutasyon noktası da, çaprazlama noktası gibi rastgele belirlenir.



Şekil 6.4. Tek nokta mutasyon işlemi

Mutasyon operatörünün genetik algoritmalar içerisindeki asıl amacı, arama işleminin bir uygun çözüm üzerinde takılı kalmasını engellemektir (Erkut, 2010). Doğal seçim ve çaprazlama işlemleri, parçaları aynı türden olan çözüm kümeleri karşısında benzer sonuçlar üretilip uygunluk değerini geliştiremeyebilir. Bu noktadan sonra da arama işlemi sabit bir değerde takılı kalacak ve yeterince uygun çözümler elde edilemeyecektir. Mutasyon operatörü kullanılarak bireyler farklılaştırılmakta, bu da olası çözüm çeşitliliğini artırarak işlemin belli bir noktada takılmasını önlemektedir. Mutasyonun çok düşük olması yerel minimuma takılmaya, çok yüksek olduğunda ise başarı oranının çok yavaş yükselmesine veya yükselmemesine neden olabilir (Şenol, 2013). En yaygın kullanılan mutasyon oranı 0,001 ile 0,01 değerleri aralığındadır.

6.2.4. Döngünün sonlandırması

Doğal seçim, çaprazlama ve mutasyon sonucu üretilen yavru bireylerin oluşturduğu yeni popülasyon mevcut popülasyon ile değiştirilerek evrim devam ettirilmektedir. Belirtilen nesil sayısı kadar evrim gerçekleştiğinde veya istenen seviyede makul bir çözüm elde edildiğinde genetik algoritma sona ermekte ve en yüksek uygunluk değerine sahip birey en uygun çözüm olarak kabul edilerek işlem sonuçlandırılmaktadır (Erkut, 2010).

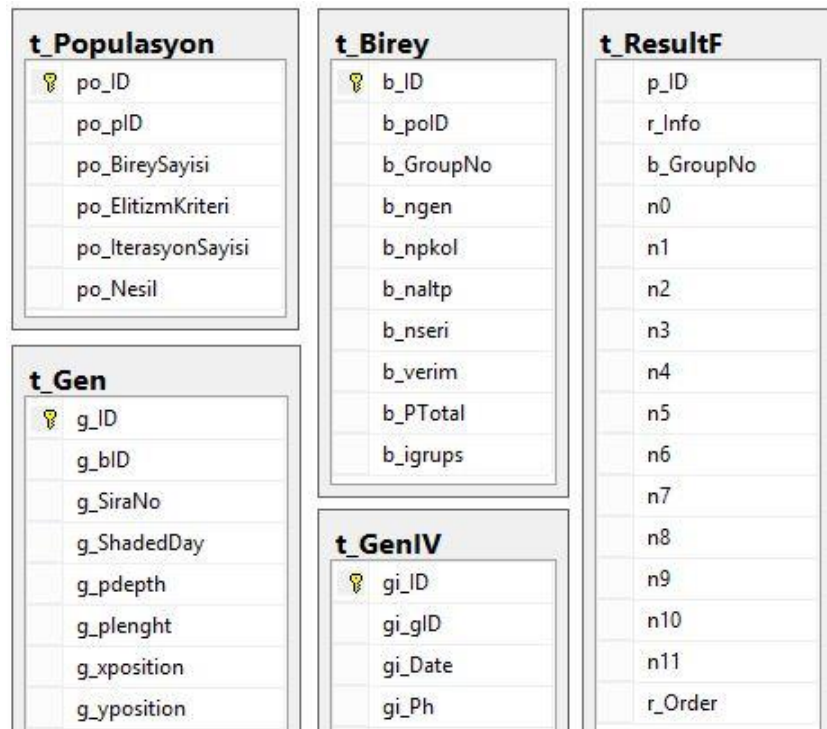
7. ARAŞTIRMA BULGULARI

7.1. Yazılım Tasarımı

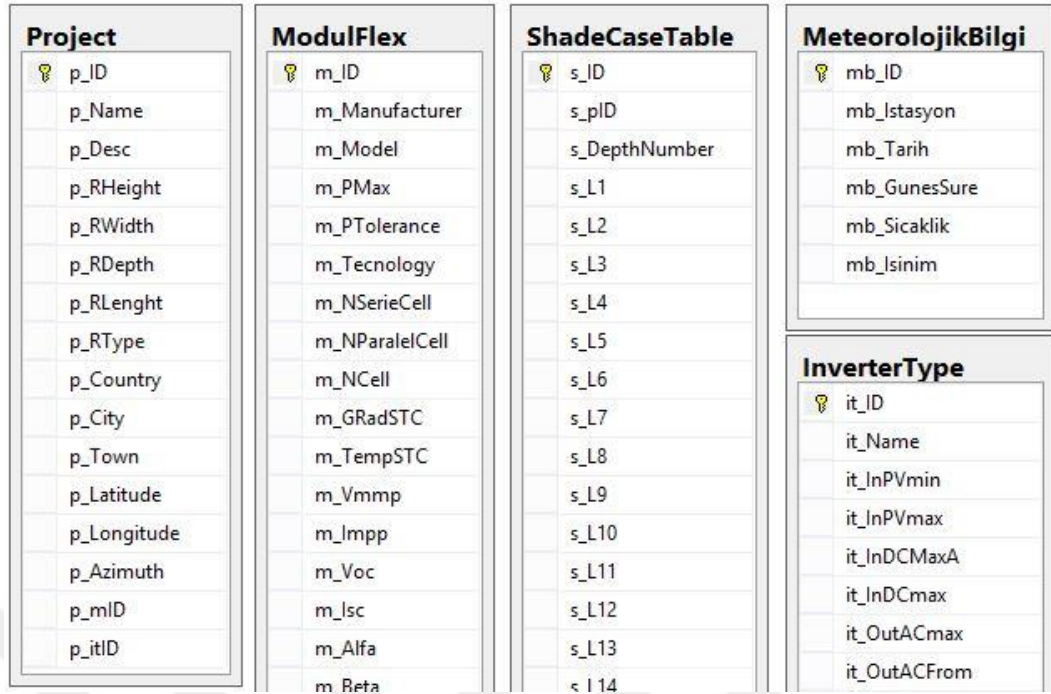
7.1.1. Veri tabanı tasarımı

Simülasyon işleminin yapılabilmesi için; PV modül, meteoroloji, çatı sistemi, bölgenin lokasyon bilgilerinin sistemden okunması ve kaydedilmesi gerekmektedir. Tüm bu bilgilerle işlem yapabilmek için yazılım içerisinde bir veritabanı kullanılmalıdır. Veritabanına bağlı uygulamalarda genel olarak veri ekleme, düzenleme, silme ve sorgulama işlemleri yapılmaktadır.

Tez çalışmasında kullanılacak veritabanı MSSQLSERVER programının 2012 versiyonu ile hazırlanmıştır. Bu veritabanı içerisinde proje, PV modül, meteoroloji, bölge verileri ayrı ayrı tutulmaktadır. Bir proje bir çatı tipinden tasarlanabileceği için çatı özellikleri proje bilgileri içerisine eklenmektedir. Şekil 7.1 ve 7.2 de veritabanının diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 7.1 Veritabanı diyagramı GA bölümü



Şekil 7.2 Veritabanı diyagramı proje bölümü

7.1.2. Programlama dili

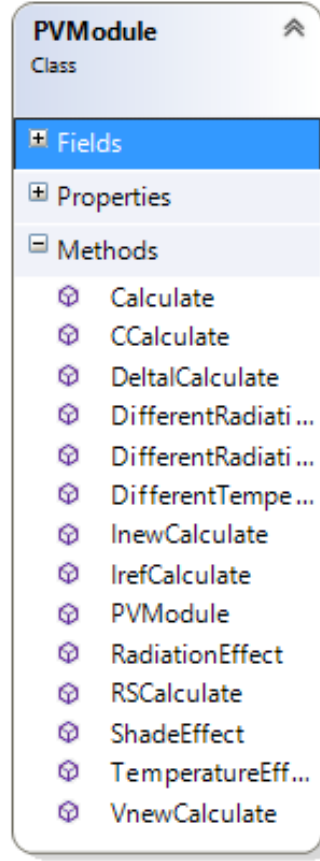
Bu çalışmada simülasyon işleminin gerçekleştirilmesi için programlama dili olarak C# 4.0 kullanılmıştır. Program görselleri, veritabanı ile iletişim, genetik algoritma ile optimizasyon çözümü, matematiksel fonksiyon işlemlerinin bu dille kolayca yapılabilmesi, projeye yardımcı olarak kullanılabilecek araçların ve kütüphanelerin fazla olması C# programlama dilinin seçiminde etkili olmuştur.

7.1.3. Uygulamanın bileşenleri

Geliştirilen uygulama ile tonoz biçimli uzay kafes sistemi yapısına sahip çatılara yıllık maksimum enerjiyi üretebilecek PV örgü tasarımı genetik algoritma ile simüle edilmiştir. Bu işlem için her bir PV modül gen olarak ele alınıp, bu genlerden çatı boyutuna ve özelliğine göre farklı farklı PV örgü tasarımları bireylere benzetilerek başlangıç popülasyonu elde edilmektedir. Ardından popülasyondan yeni bireyler oluşturulup yeni bir popülasyon kurulmaktadır. Bütün bu işlemleri gerçekleştiren uygulamanın yazılımsal bileşenleri bu bölümde detaylandırılmaktadır.

PVModule Sınıfı

PVModule sınıfının sınıf diyagramı(UML) şekilde gösterildiği gibidir. Bu sınıf, bir PV modülün sıcaklık ve ışıınım gibi meteorolojik veriler, PV modül eğimi, gölge gibi parametreler altında üreteceği değerleri hesaplar. Ayrıca PV modülün akım gerilim grafiği bu sınıf kullanılarak oluşturulur. Şekil 7.3’de bu sınıfın UML diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 7.3. PVModule sınıfının UML diyagramı

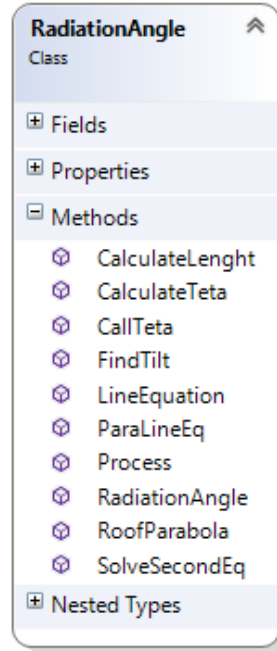
Sınıfta yer alan başlıca metodlar ve işlevleri aşağıdaki gibidir:

- Calculate: PV modülün tüm parametreler altındaki üreteceği akım ve gerilimi hesaplar. Bu sınıfın ana metodu diyebiliriz. PV modülün, genetik algorithmadaki her bir genin, temel özellikleri bu metod ile belirlenir.
- PVModule: Bu sınıfın yapıcı metodudur. Kullanıcı tarafından girilen değerler bu metoda parametre olarak gönderilir ve bu parametreler sınıfın global değişkenlerine aktarılır.

- DiffrentRadiation ve DiffrentTemperature: Sırasıyla farklı ışıınım ve sıcaklık değerlerinde PV modülün üreteceği akım ve gerilimi değerlerini dizi verileri olarak hazırlar. Çalışma içerisinde grafik çizdirirken kullanılır.
- ShadeEffect: PV modülde bypass diyot olması ve olmaması durumunda gölgeli hücreye maruz kaldığında üreteceği akım ve gerilimi hesaplar.

RadiationAngle Sınıfı

Tonoz biçimli uzay kafes sisteminin eğimi, çatının geometrik özellikleri, aynı zamanda bulunan bölgeye göre düşen güneş ışıının geliş açısı bu sınıfta hesaplanmaktadır. Şekil 7.4'te bu sınıf diyagramı(UML) verilmiştir.



Şekil 7.4. RadiationAngle sınıfı UML diyagramı

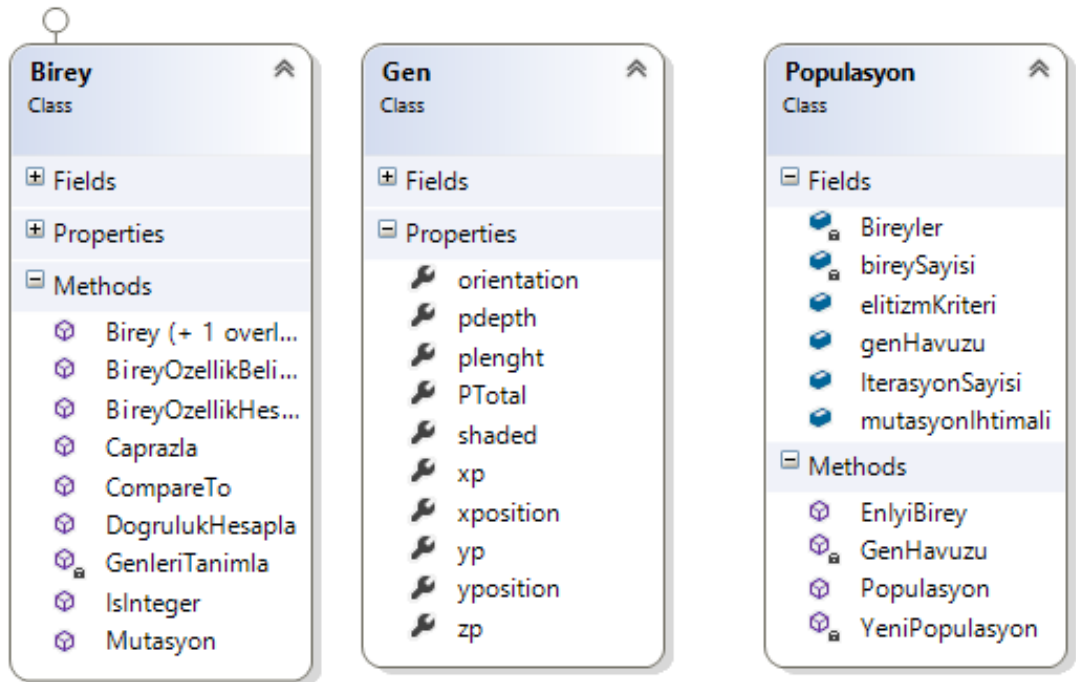
Sınıfta yer alan başlıca metodlar ve işlevleri aşağıdaki gibidir:

- RadiationAngle: Bu sınıfın yapıcı metodudur. Kullanıcı tarafından girilen değerle bu sınıfın üyelerine aktarılır.

- CalculateLenght: Doğuray uzunluğu bu metod ile hesaplanır.
- ParaLineEq: Doğuray üzerindeki bir noktanın koordinat bilgileriyle, yüzeye yağıdığı eğim açısı hesaplanır. PV modülün yüzeye yaptığı eğim açısı FindTilt metodunda işleyişiyle burada hesaplanır.
- CalculateTeta: Yıllık olarak gün ve saate bağlı güneşin konumuna yönelik yüzeye gelen güneş açısını hesaplar. Bir yılın tüm günlerini liste verisi olarak çağrıldığı yere veri olarak gönderir
- CallTeta: Herhangi bir anda PV modül ile güneş ışıınımı arasındaki güneş geliş açısını bu metod ile çağırılır.

Genetik Algoritma Sınıfları

Genetik algoritma ile optimizasyon işleminin gerçekleştirildiği sınıflardır. GeneticAlgorithm dosyası üzerinde bir araya getirilmiştir. Genetik algoritmanın bileşenleri, işleyişi burada tanımlanmıştır. Şekil 7.5'te bu sınıf diyagramı(UML) gösterilmiştir.



Şekil 7.5. Genetik algoritma sınıflarının UML diyagramları

Gen Sınıfı: Genetik algoritmanın en küçük yapıtaşı olan genler bu sınıfta tanımlanmıştır. Çalışmada genlerimiz PV modülden oluşmaktadır. Gen sınıfındaki özelliklere değerler atanarak istediğimiz şekilde PV modül oluşumu ve yerleşimi yaptırılabilir.

Sınıfın özellikleri aşağıdaki gibidir:

- pdepth ve plenght: Sırasıyla PV modülün en ve boy uzunluğunu saklar.
- xposition ve yposition: PV modülün yüzeyde matris yerleşimi gibi düşünüldüğündeki elde edeceği değerleri saklar.
- shaded: PV modülde oluşabilecek gölge durumu burada belirlenir.
- xp, yp ve zp: PV örgü tasarımından her bir PV modülün bağlantıdaki yeri belirlenir.

Birey Sınıfı: Genler bir araya gelerek bireyler oluşturulur. Bu sınıfta da PV modüllerinden oluşturulan PV örgü tasarımı birey olarak ele alınması sağlanmıştır.

Sınıfın üyeleri aşağıdaki gibidir:

- ngen: Bir bireyin kaç adet genden oluşturulduğunu belirler.
- PTotal: PV örgüdeki tüm PV modüllerin yıllık olarak üreteceği güç değeri burada saklanır. Bu değer maksimum olduğu birey en iyi bireyimizi temsil eder.

Sınıfın özellikleri aşağıdaki gibidir:

- npkol: PV örgü bağlantısı tasarımında yer alacak paralel ana kol sayısıdır.
- naltp: Ana paralel hat içerisindeki bir alt düzeydeki paralel kol sayısıdır.
- nseri: Alt paralel kolda yer alan seri bağlı PV modül sayısıdır.
- YeniBirey1 ve YeniBirey2: Genetik operatörlerle oluşturulacak yeni bireyleri saklar.

Sınıfta yer alan başlıca metodlar ve işlevleri ise aşağıdaki gibidir:

- Birey: Bu sınıfın yapıcı metodudur.
- GenleriTanımla: Genlerden oluşacak birey bu metod ile oluşturulur. PV örgü bağlantı tasarımında PV modüllerin yerleşim şekilleri burada belirlenir.
- DogrulukHesapla: Genetik algoritmanın uygunluk fonksiyonu olarak tasarlanmıştır. Yıllık zaman aralığı düşünüldüğü için yıl içerisindeki tüm saatlerde oluşturulan güç miktarı toplanarak maksimum değerin bulunması amaçlanmıştır. Burada PV örgü de yer alan PV modüllerin gerilim ve akım değerleri devre üzerindeki bağlantı şekline göre PV örgünün gücü hesaplanır.

$$PT = \sum_{t=0}^{t=365*24} V_{eqt} I_{eqt} \quad (7.1)$$

Denklik 7.1 de V_{eq} eşdeğer gerilimi, I_{eq} ise eşdeğer akımı temsil eder. $t=0$ saatinden $t=365*24$ saatine kadar olan tüm zamanlarda toplam güç hesaplanabilir. Çalışmadaki amacımızda en yüksek güç değerine sahip bağlantı şeklini bulmaktır.

- Caprazla: Popülasyondaki bireylerin rastgele seçilen noktasından birleştirilerek yeni bir birey oluşumu burada gerçekleştirilir. Bağlantı şeklinin özelliğinden dolayı PV örgü deki PV modüllerin yerleri değiştirilip yeni bir tasarım oluşturulmuştur.
- Mutasyon: Çaprazlama işleminden sonra bir diğer genetik operatör mutasyon işlemini bu metod uygular. Belirtilen oran sağlanırsa PV örgüdeki rastgele seçilen PV panelin yerini başka bir PV panel ile değiştirir.
- BireyOzellikBelirle: İlk popülasyondaki bireyler oluşturulurken genellikle rastgele genlerle seçilerek oluşturulur. İşlemi hızlandırması için sonucu erken verebilecek kural belliyse bireyler buna göre oluşturulabilir. PV örgüde paralel ve seri bağlı PV modüllerin sırasıyla gerilim ve akım değerleri eşit olmalıdır. Bu eşitliği sağlayacak PV örgü tasarım kuralı bu metod ile sağlanmıştır.

Populasyon Sınıfı: Genetik algoritmada bireylerin oluşturduğu popülasyon ve popülasyon ile ilgili işlemler bu sınıf içerisinde tanımlanmıştır. Optimizasyon işlemi başlangıcında PV örgü tasarımları burada tutulur.

Sınıfın üyeleri aşağıdaki gibidir:

- bireySayisi: Popülasyon içerisinde kaç adet birey olacağını belirler.
- IterasyonSayisi: Optimizasyon sürecinde en uygun çözüm bulunamazsa, nesil jenerasyonun kaç defa tekrarlayacağını belirler.
- elitizmKriteri: Yeni nesile geçilirken bir önceki nesilden kaç tane bireyin uygun çözüm olarak kullanılacağını belirler.
- mutasyonIhtimali: Mutasyon uygulanması için gereken yeterli oran burada belirlenir.

Sınıfta yer alan başlıca metodlar ve işlevleri ise aşağıdaki gibidir:

- Populasyon: Bu sınıfın yapıcı metodudur. Belirtilen birey sayısına göre ilk nesil burada oluşturulur.
- GenHavuzu: Bireyleri oluşturacak gen özellikleri burada belirlenir. PV örgü de kullanılacak tüm PV modüller burada oluşturulur. Veritabanına erişip, uzay kafes çatı özellikleriyle beraber her bir PV modülün özelliği hesaplanır.
- YeniPopulasyon: Çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra elitizm kriterine göre yeni bireyler elde edilir. Bu bireyler ile yeni nesil oluşturulmuş olur.
- EnYiBirey: İterasyon sınırına kadar oluşturulan bireylerden en uygun çözüm bu metod ile bulunur. Optimum çözüm, en uygun birey, en yüksek güç üreten PV örgü tasarımı elde edilmiş olur.

7.1.4. Yazılım arayüzü

7.1.4.1. Başlangıç formu

Başlangıç formu ile yeni bir simülasyon işleminin oluşturulması veya daha önceden oluşturulmuş simülasyonların gösterilmesi sağlanmıştır. Yazılım ilk olarak çalıştırıldığında başlangıç formu Şekil 7.6'da gösterildiği gibi ekranda görüntülenir. Listede gösterilen proje isimleri seçilerek simülasyon bilgileri görüntülenebilir veya yeni proje tasarımı oluşturulabilir.



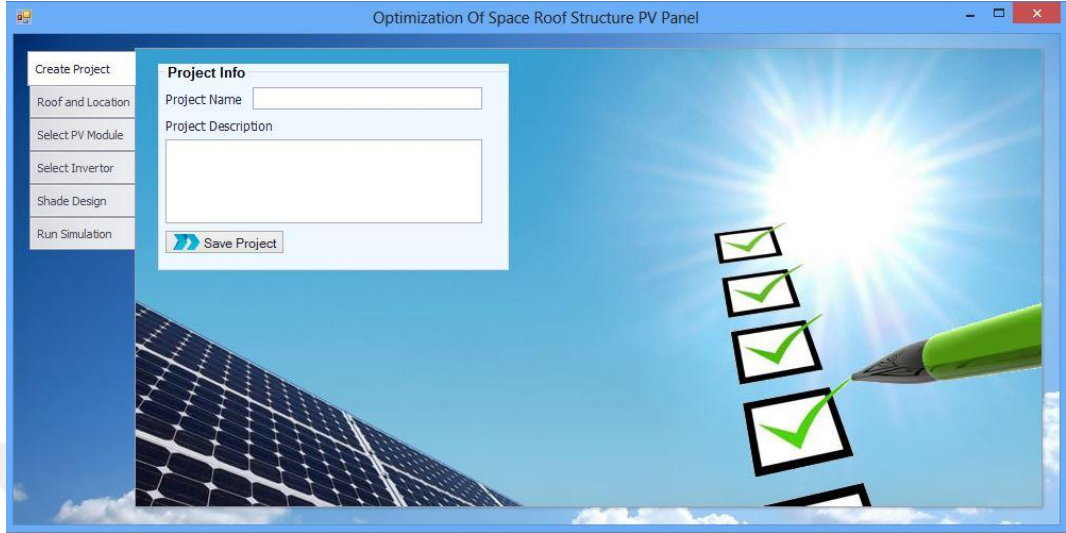
Şekil 7.6. Giriş formu

7.1.4.2. Ana uygulama formu

Simülasyon işlemi yapılmadan önce yazılım üzerinde çalışma ile ilgili bilgilerin sisteme eklenmesi, aynı zamanda sistem tarafından sunulan yardımcı verilerin uygulamada görülebilmesi gerekmektedir. Bu işlemler için ana uygulama formu tasarlanmıştır.

Ana form ile kullanıcının gerçekleştireceği her bir simülasyon işlemi farklı bir proje olarak kayıt edilebilir. Bunun için proje tanımlamasının yapılabildiği panel

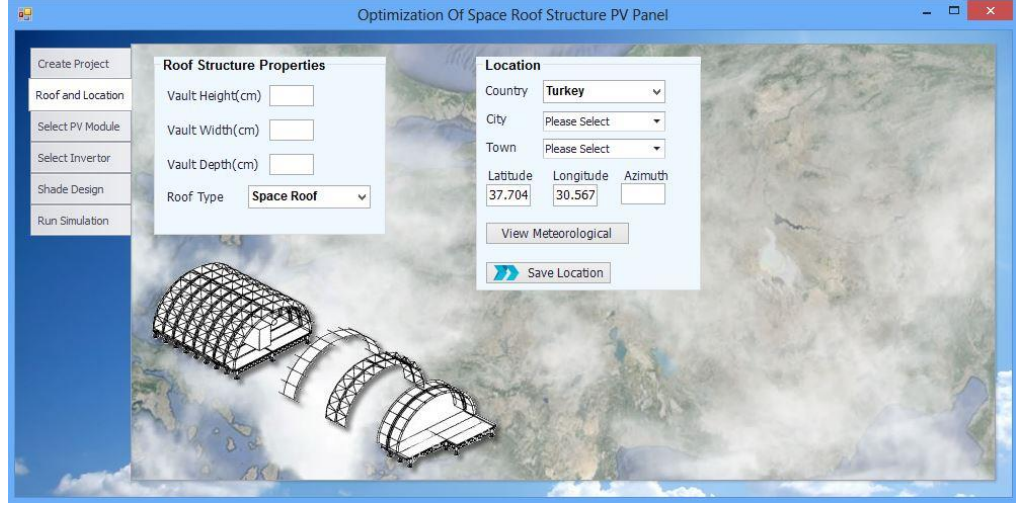
Şekil 7.7’de gösterildiği gibi Create Project sekmesi altında form üzerinde yer almaktadır.



Şekil 7.7. Create project sekmesi

Tonoz biçimli uzay kafes sistem yapılı çatının üzerinde çalışmanın modellenenbilmesi için yapının geometrik özelliklerinin projeye kaydedilmesi gerekir. Uygulama RadiationAngle sınıfı ile yapıyı matematiksel olarak modelleyebilmektedir. Form üzerindeki Roof and Location sekmesi üzerinde çatı özellikleri uygulamaya kaydedilebilir.

PV modüllerin performansı uygulandığı bölgenin iklimsel ve coğrafi özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Bu nedenle mutlaka simülasyonun yapılacağı yerin bilgisi Şekil 7.8’de gösterilen Roof and Location sekmesinden projeye eklenmelidir. Çalışmada gerçek ölçüme dayalı Isparta iline ait meteorolojik bilgiler kullanılmıştır. Bu nedenle varsayılan değer olarak bölge bilgisi Isparta olarak seçilmektedir. Diğer bölgeler bu tez çalışmasında yer alan güneş radyasyonu hesaplama yöntemleri ile tahmini olarak hesaplanıp simülasyon işlemi gerçekleştirilebilir. Fakat bu durumda bulut yoğunluğu, gölge etkisi birebir ölçüme dayalı verilerde olduğu gibi başarılı olmayacaktır. Çalışmada işlemler şu an için sadece Isparta iline göre yapılabilir.



Şekil 7.8. Roof and Location sekmesi

Simülasyon işleminde bir diğer aşama ise kullanılacak PV modülün seçimidir. PV modül seçimi Şekil 7.9’da gösterilen ana uygulama formu üzerindeki Select PV Module sekmesinden gerçekleştirilir. Bu sekme altında hızlıca PV modül seçimi yapılabilirdiği gibi, ayrıca PV modüllere ait detaylı bilgilerin gösterildiği PV modül formundan da seçim işlemi yapılabilir.



Şekil 7.9. Select PV Module sekmesi

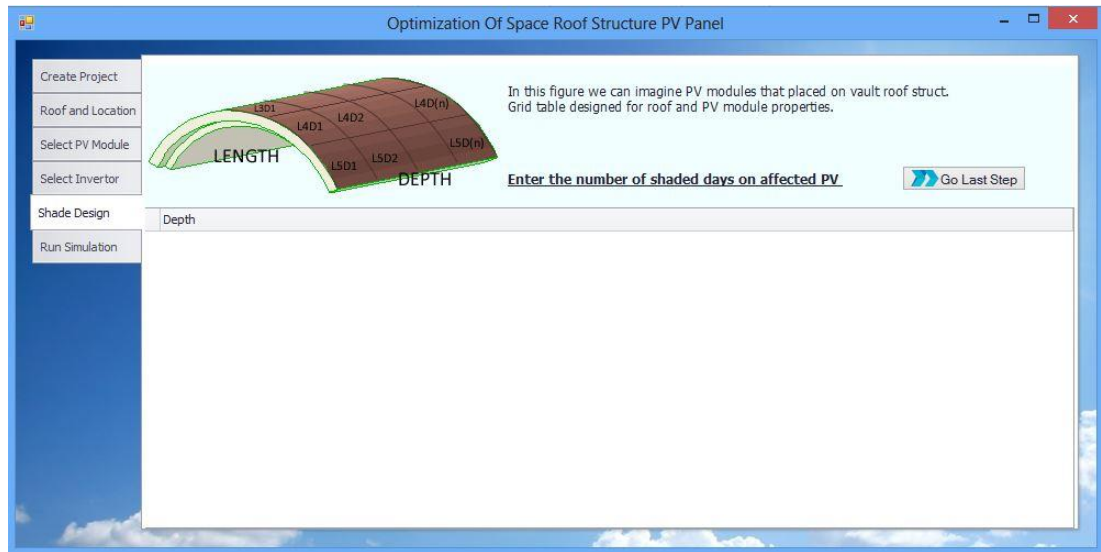
PV panel sisteminde birbiriyle seri ve paralel bağlanabilecek, sisteme dahil edilebilecek PV panel sayısını seçilen inverter modeli belirler. İnverterin giriş akım ve gerilim bilgilerine göre bu sayı değişmektedir. Sistem tasarlanabilmesi için mutlaka inverter tipinin belirtilmesi gerekmektedir. Şekil 7.10 da gösterilen

formdan inverter özelliklerine göre seçim yapılabilmektedir.

General Info			Input Data				Output Data		
Name	Efficiency	Efficiency E	Max DC (A)	Min DC (V)	Max DC (V)	Max DC (P)	Min AC (V)	Max AC (V)	Max AC (P)
convert 2700	96	95.2	11.5	125	600	2400	198	260	230
SB 10000TL...	98	97.2	35	300	480	10500	183	229	1000
SB 10000TL...	98.6	97.5	35	300	480	10500	183.04	228.8	1010
SB 10000TL...	98.7	98	30.2	345	480	10400	211.2	264	1010
SB 1100	93	91.6	10	139	320	1210	198	260	110
SB 11000TL...	98.7	98	33.3	345	480	11500	211.2	264	1110
SB 1100-IT	93	91.637	10	139	320	1210	180	262	110
SB 1100LV	92	90.4	62	21	48	1240	198	260	110
SB 1100U (...)	93	91.4	10	145	400	1210	213	262	110
SB 1200	92.1	90.7	12.6	100	320	1320	180	260	120
SB 1300TL-...	96	94.3	11	125	480	1400	180	260	130
SB 1300TL-...	96	94.3	12	100	480	1400	180	260	130
SB 1600TL-...	96	95	11	125	480	1700	180	260	160

Şekil 7.10 İnverter seçim ekranı

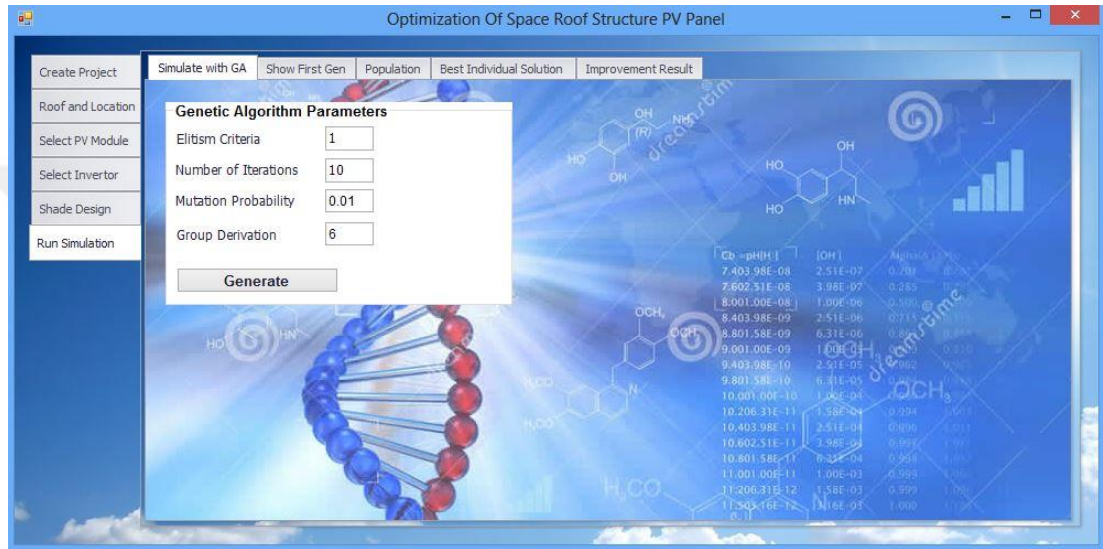
Simülasyon işlemindeki son aşama ise PV modüllerin gölgelendiği gün sayısının sisteme eklenmesidir. Şekil 7.11' de gösterilen Shade Design sekmesinde çatı boyutuna göre yerleşimi yapılacak PV modüller grid düzeninde düşünülmüştür. Çatının uzunluk ve derinliğine göre ilgili grid hücresiyle eşleşen PV modül üzerine ortalama olarak kaç gün gölge etkisinde kalacağı yazılmalıdır.



Şekil 7.11. Shade Design sekmesi

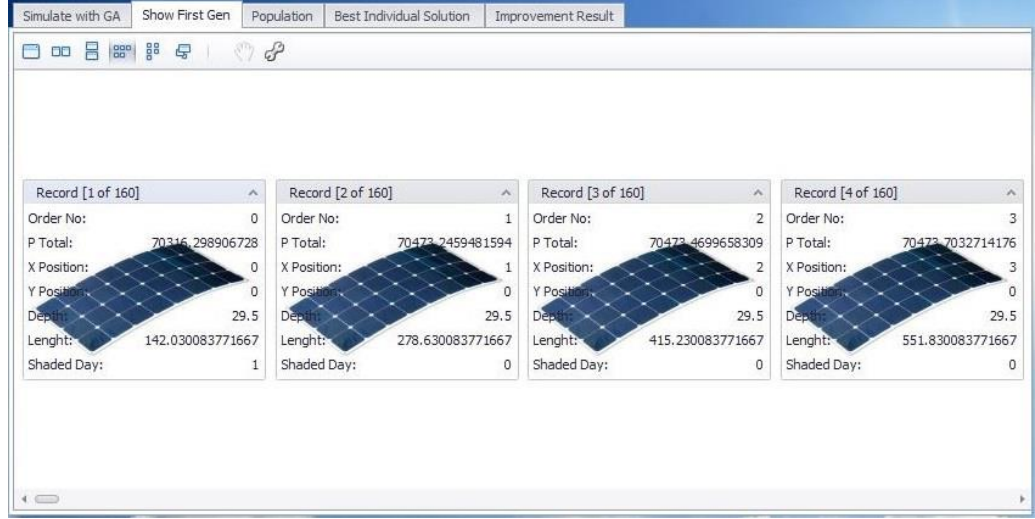
Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra optimizasyon işlemi Run Simulation sekmesi üzerinden başlatılabilir.

Run Simulation sekmesinde ise öncelikle genetik algoritma ile ilgili elitizm kriteri, itersayon sayısı, mutasyon ihtimali gibi değerlerin girilebileceği ekran tasarlanmıştır. Tüm bu değerler girildikten simülasyon Şekil 7.12 de gösterildiği gibi Generate düğmesi ile başlatılabilir.

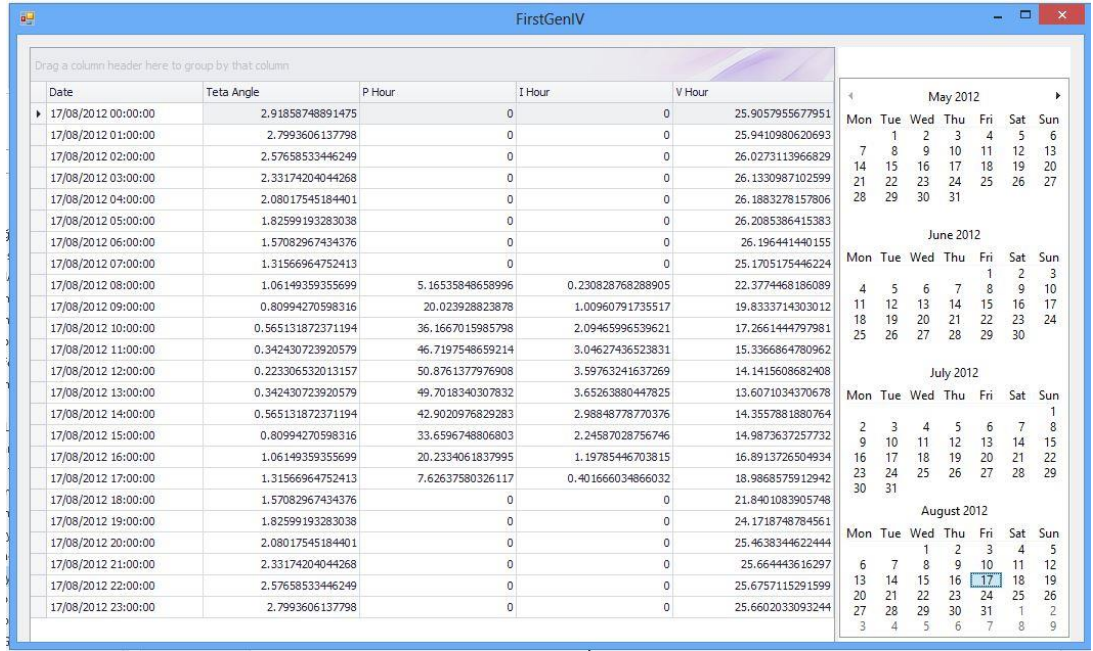


Şekil 7.12. Run Simulation sekmesi

Simülasyon işlemi bittikten sonra simülasyon sonucu, genetik algoritma sonuçları aynı bölümde yer alan diğer sekmelerden kontrol edilebilir. Show First Gen sekmesinde uzay kafes çatı üzerinde yer alan her bir PV modülün detaylı bilgileri görülebilir. PV modüllerin üzerine çift tıklanırsa FirstGenIV formu açılır ve form üzerinde yer alan takvim aracılığıyla PV modülün yılın herhangi bir zamanında üreteceği güç, yerleştiği açı görülebilir. Şekil 7.13 ve Şekil 7.14 de bu ekranlar gösterilmiştir.



Şekil 7.13. Show First Gen sekmesi



Şekil 7.14. FirstGenIV formu

Population sekmesinde simülayon işlemi sırasında oluşturulan tüm bireylerin bilgileri görülebilir. Şekil 7.15 de gösterildiği gibi sol panelde ki popülasyon detayından listenen kayıt seçildiğinde sağ panel üzerinde o popülasyonda yer alan bireyler listelenir. Bireyler çift tıklanarak PV örgü tasarımı PV Design View formundan devre şeması PV modül genel bilgileri ile beraber görülebilir. Bu form üzerinden istenirse grid listesi halinde de PV örgü tasarımı görülebilir, bunun için PV Locations & Details formu hazırlanmıştır. Şekil 7.16 ve Şekil 7.17 de bu ekranlar gösterilmiştir.

Simulate with GA

Show First Gen

Population

Best Individual Solution

Improvement Result

Generation Number	Eltizm	Individual Count
0	1	36
1	1	42
2	1	42
3	1	42
4	1	42
5	1	42
6	1	42
7	1	42
8	1	42
9	1	42
10	1	42
11	1	1

Drag a column header here to group by that column

Group...	Gen Co...	Number of Shunt	Number of Sub-Sh...	Number of Serie...	P Total
1	768	6	1	16	5201000.97900705
1	768	6	1	16	5200962.65180393
1	768	6	1	16	5252736.32076666
1	768	6	1	16	5226934.85574678
1	768	6	1	16	5278667.06580023
1	768	6	1	16	5278526.07867597
1	768	6	1	16	5123555.80673763
2	768	6	1	16	5201071.24733254
2	768	6	1	16	5226729.85603448
2	768	6	1	16	5201030.50689862
2	768	6	1	16	5175140.12367515
2	768	6	1	16	5175235.14670117
2	768	6	1	16	5149307.43257877
2	768	6	1	16	5175124.10998306
3	768	6	1	16	5226859.19662538
3	768	6	1	16	5278464.2163402

Şekil 7.15. Population sekmesi

PV Design View											
View Grid Style											
Order No: 25	Order No: 24	Order No: 23	Order No: 22	Order No: 21	Order No: 20						
P Total: 17643.48	P Total: 17762.06	P Total: 70474.71	P Total: 70474.45	P Total: 70474.20	P Total: 70473.95						
X Position: 9	X Position: 8	X Position: 7	X Position: 6	X Position: 5	X Position: 4						
Y Position: 1	Y Position: 1	Y Position: 1	Y Position: 1	Y Position: 1	Y Position: 1						
Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0						
Order No: 9	Order No: 8	Order No: 7	Order No: 6	Order No: 5	Order No: 4						
P Total: 17643.48	P Total: 17762.06	P Total: 70474.71	P Total: 70215.77	P Total: 70474.20	P Total: 70473.95						
X Position: 9	X Position: 8	X Position: 7	X Position: 6	X Position: 5	X Position: 4						
Y Position: 0	Y Position: 0	Y Position: 0	Y Position: 0	Y Position: 0	Y Position: 0						
Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 2	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0						
Order No: 153	Order No: 152	Order No: 151	Order No: 150	Order No: 149	Order No: 148						
P Total: 17643.48	P Total: 17762.06	P Total: 70474.71	P Total: 70474.45	P Total: 70474.20	P Total: 70473.95						
X Position: 9	X Position: 8	X Position: 7	X Position: 6	X Position: 5	X Position: 4						
Y Position: 9	Y Position: 9	Y Position: 9	Y Position: 9	Y Position: 9	Y Position: 9						
Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0						
Order No: 137	Order No: 136	Order No: 135	Order No: 134	Order No: 133	Order No: 132						
P Total: 17643.48	P Total: 17671.23	P Total: 70474.71	P Total: 70474.45	P Total: 70474.20	P Total: 70473.95						
X Position: 9	X Position: 8	X Position: 7	X Position: 6	X Position: 5	X Position: 4						
Y Position: 8	Y Position: 8	Y Position: 8	Y Position: 8	Y Position: 8	Y Position: 8						
Shaded Day: 0	Shaded Day: 2	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0						
Order No: 121	Order No: 120	Order No: 119	Order No: 118	Order No: 117	Order No: 116						
P Total: 17643.48	P Total: 17762.06	P Total: 70474.71	P Total: 70474.45	P Total: 70474.20	P Total: 70473.95						
X Position: 9	X Position: 8	X Position: 7	X Position: 6	X Position: 5	X Position: 4						
Y Position: 7	Y Position: 7	Y Position: 7	Y Position: 7	Y Position: 7	Y Position: 7						
Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0	Shaded Day: 0						

Şekil 7.16. PV Design View formu

Order No	Series Order	X Position	Y Position	P Total
Shunt Order: 1				
Sub-Shunt Order: 1				
Sub-Shunt Order: 2				
Sub-Shunt Order: 3				
Sub-Shunt Order: 4				
Sub-Shunt Order: 5				
Shunt Order: 2				
Sub-Shunt Order: 1				
Sub-Shunt Order: 2				
Sub-Shunt Order: 3				
Sub-Shunt Order: 4				
Sub-Shunt Order: 5				
41	1	9	2	17643.4767883125
40	2	8	2	17671.2322484905
39	3	7	2	70474.7148311355
38	4	6	2	70474.4532895738
37	5	5	2	70474.1961184836
36	6	4	2	70473.9455991688

Şekil 7.17. PV Locations & Details formu

Simülasyon sonucunda en uygun çözümü görmek için Best Individual Solution sekmesi tasarlanmıştır. Şekil 7.18 de bu ekran gösterilmiştir. Listede yer alan birey en yüksek gücü ve verimi üreten PV örgü tasarımı olmuştur. Üzerine çift tıklanarak PV Design View ve PV Locations & Details formu yardımı ile detaylı olarak incelenebilir.

Group No	Gen Count	Number of Shunt	Number of Sub-Shunt	Number of Series PV	P Total
1	1	1	1	1	17643.4767883125

Şekil 7.18. Best Individual Solution sekmesi

En iyi sonucu diğer sonuçlarla karşılaştırmak, sistemin ne kadar iyileştirildiğini görmek için Şekil 7.19 da görüldüğü gibi Improvement Result sekmesi düzenlenmiştir. Burada en yüksek güç üreten tasarımın, en az güç üreten tasarıma oranı dolayısıyla optimizasyon işleminin başarı oranı rahatlıkla görölüp inceleme yapılabilir.

Simulate with GA		Show First Gen	Population	Best Individual Solution	Improvement Result								
Summary			Result										
▶ Efficiency													
TotalSumRatio													
TotalMaxRatio													
GenerationInfo			n0	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10
▶ SumRatio				1.00645...	1.00200...	1.00069...	1.00729...	1.00001...	1.00303...	1.00009...	1.00236...	1.01230...	1.0006073407...
MaxRatio													
GenerationSum			3318199...	3339629...	3346315...	3348628...	3373050...	3373111...	3383365...	3383700...	3391703...	3433432...	343551814.81...
GenerationMax			1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	1127591...	11275912.526...
GroupNo1			2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165...	2698165.3616...
GroupNo2			2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731...	2697731.3608...
GroupNo3			2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522...	2699522.7212...
GroupNo4			2699875...	2699875...	2699875...	2699875...	2699875...	2699875...	2699875...	2700012...	2700012...	2700012...	2700012.3840...
GroupNo5			2699699...	2699699...	2699699...	2699699...	2699699...	2699699...	2699699...	2699699...	2700580...	2700580...	2700580.5190...
GroupNo6			2703612...	2703612...	2703612...	2703612...	2703612...	2709286...	2709286...	2709286...	2709286...	2709286...	2709286.5107...
GroupNo7			2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	2815476...	6988114...	6988114.3139...
GroupNo8			1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623.674...
GroupNo9			1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623...	1123623.674...

Şekil 7.19. Improvement Result sekmesi

7.1.4.3. Meteorolojik veri görme formu

Simülasyon yapılacak bölgenin iklimsel özellikleri oldukça önemlidir. Çalışmada Isparta iline ait güneş ışıınımı bilgileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait TÜMAŞ veri erişim merkezinden alınan verilerden kullanılmıştır. Bir yıllık 2012 Mayıs-2013 Mayıs tarihleri arasında saatlik olarak ışıınım, sıcaklık ve güneşlenme süresi verileri bulunmaktadır. Şekil 7.20'de gösterilen bu form ile alınan bilgiler kullanıcıya sunulmaktadır.

Meteorological Data			
Drag a column header here to group by that column			
Date	Sunshine Duration	Temperature	Radiation
02/05/2012 00:00:00	0	13.8	2.795
02/05/2012 01:00:00	0	12.9	2.958333333333333
02/05/2012 02:00:00	0	12.6	2.908333333333333
02/05/2012 03:00:00	0	11.7	3.198333333333333
02/05/2012 04:00:00	0	10.3	2.995
02/05/2012 05:00:00	0	9.9	3.478333333333333
02/05/2012 06:00:00	0	9.3	5.545
02/05/2012 07:00:00	0	11	45.95666666666667
02/05/2012 08:00:00	0	13.1	112.9
02/05/2012 09:00:00	0	14.3	215.1566666666667
02/05/2012 10:00:00	0	15.9	347.08
02/05/2012 11:00:00	0	17.9	440.6533333333333
02/05/2012 12:00:00	0.1	20.4	574.4333333333333
02/05/2012 13:00:00	0.7	22.5	721.5766666666667
02/05/2012 14:00:00	0.5	23.6	624.8483333333333
02/05/2012 15:00:00	0.6	24.5	668.0933333333333
02/05/2012 16:00:00	0.3	24.1	467.74
02/05/2012 17:00:00	0.2	23.5	275.37
02/05/2012 18:00:00	0	22.4	111.9983333333333

May 2012

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

June 2012

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

July 2012

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

Şekil 7.20 Meteorolojik veri görme formu

7.1.4.4. PV modül formu

Simülasyon işleminde sistemin elde edeceği gücü belirleyen en önemli unsur PV örgünün oluşturulduğu PV modüllerdir. Piyasada birçok firmanın ürettiği binlerce PV panel bulunmaktadır. Kullanıcı seçim yaparken mutlaka PV panelin üretici tarafından sunulan verilerini görmelidir.

Çalışmada PV panellerin verilerini üreticilerin sunduğu datasheetlerden, Photon dergisinden ve diğer PV panel uygulamalarından elde edilmiştir. Bu PV panellerden sadece esnek yapılı(flexible) olanlar kullanıcıya gösterilmektedir. Tonoz biçimli uzay kafes yapılı çatılara başka türdeki PV paneller kullanılamaz. Çatı tipinin değiştirilebileceği uygulamalarda tüm PV paneller kullanıcıya gösterilebilir.

PV panellerin üreticileri, modelleri, elektriksel ve mekanik bilgileri, akım-gerilim grafiği, farklı sıcaklık ve ışınlam altındaki akım-gerilim grafiği form üzerinden görülebilir. Diğer PV panellerle karşılaştırma işlemi yapılabilir. Kullanıcı bu form üzerinden istediği PV panel seçimini yaparak projesine ekleyebilir. Şekil 7.21 ve 7.22’de PV modül formu arayüzü gösterilmiştir.

Manufac...	Model	Power Max	Voc	Isc	Vmp	Imp	Length	Width	Technology	Structure
GB-Sol	GB-Sol Flexi...	35	22	2.05	18.4	1.85	80	40	Si-mono	Flexible
GB-Sol	GB-Sol Flexi...	70	22	4.1	18.4	3.75	80	70	Si-mono	Flexible
Generic	a-Si:H, trip...	136	46.2	5.1	33	4.1	548.6	39.4	a-Si:H tripple	Polymer TEF...
GranitSystem	Solar Frees...	64	23.8	4.8	16.5	3.9	285	40	a-Si:H tripple	Polymer TEF...
GranitSystem	Solar Frees...	128	47.6	4.8	33	3.9	285	79	a-Si:H tripple	Polymer TEF...
GranitSystem	Solar Frees...	256	95.2	4.8	66	3.9	550	80	a-Si:H tripple	Polymer TEF...
GranitSystem	Solar Frees...	64	23.8	4.8	16.5	3.9	285	40	a-Si:H tripple	Polymer TEF...

Module Info

Manufacturer: GB-Sol, Manufacturer Web: www.gb-sol.co.uk, Data Source: Photon Mag. 2008

Model: GB-Sol Flexi-35

Mechanical Data

Technology: Si-mono, Connection: Cable MC new, Structure: Flexible, Frame Material: Frameless

NCell: 36, NSeriesCell: 36, NParallelCell: 1

Length: 80, Width: 40, Depth: 14

Module Area: , Module Weight: 2

Electrical Data

Max Power: 35, Power Tolerance: 5

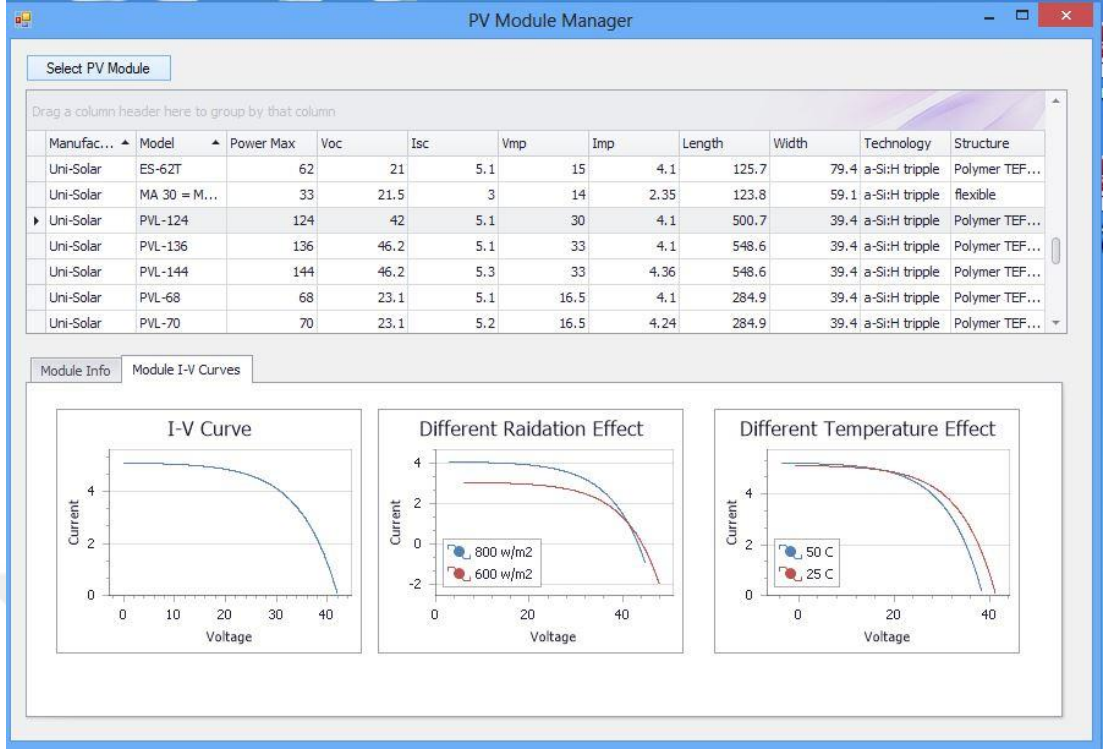
Optimum Operating Voltage(Vmp): 18.4, Open Circuit Voltage(Voc): 22

Optimum Operating Current(Imp): 1.85, Short Circuit Current(Isc): 2.05

Temperature Coefficient Voltage(Beta): 1, R Series: 55000000

Temperature Coefficient Current(A/fa): 0.03, R SHunt: 450

Şekil 7.21 PV Modül Formu modül listesi



Şekil 7.22 PV Modül Formu modül grafikleri

7.2. Simülasyonun Gerçekleştirilmesi

Uygulama içerisindeki; veri tabanı, yazılım, genetik algoritma, arayüz tasarımlarının yapılmasından sonra örnek verilerle program simülasyon işlemi gerçekleştirilmeye başlanılmıştır.

Çalışmanın proje olarak kaydedilebilmesi için öncelikle proje ismi ve açıklaması girilerek kaydedilmiştir. Simülasyon gerçekleştirilecek bölge; meteorolojik bilgilerin alındığı Isparta ili 37,7848 Kuzey enleminde, 30,5679 Doğu boylamı olarak seçilmiştir. Bu bölgenin bir yıllık 2012 Mayıs-2013 Mayıs tarihleri arasında saatlik olarak ışıınım, sıcaklık ve güneşlenme süresi verileri bulunmaktadır.

Tasarımı yapılacak tonoz biçimli uzay kafes çatı sisteminin özellikleri 320 cm yüksek, 1800 cm genişlik, 2200 cm derinlik olarak düşünülmüştür. Aynı zamanda azimut açısı 30° olarak belirlenmiştir.

Çatı yüzeyine yerleştirilecek PV modül için Uni-Solar üreticinin US-32 modeli seçilmiştir. Bu PV modülün maksimum gücü 32 W, açık devre gerilimi 23.8 V, kısa devre akımı 2.4 A dir. Ayrıca PV modülün içerisinde 22 adet PV hücre, 11 seri ve 2 paralel bağlantı şeklinde bulunmaktadır. Buradan her paralel kolda bir bypass diyot kullanıldığını bilerek, 2 adet bypass diyotun olduğu dikkate alınmalıdır. PV modülün 136.6 uzunluk ve 38.3 genişlik değerlerinin olduğunu görülmektedir.

PV modül bağlantı şeklini belirleyen inverter ilk simülasyonda 3.2 kW'lık %95 verim değerine sahip SB3000 olarak seçilmiştir. Bu inverter giriş özelliklerine göre 12 A akımı, 268 V - 480 V gerilim aralığını desteklemektedir.

Inverter seçimi yapıldıktan sonra, PV modüllerin üzerinde oluşacak gölgeli gün sayıları girilmelidir. PV modül yerleşimi matris düzeninde tasarlanmıştır, bu düzene göre gölgeli gün sayıları sisteme eklenmiştir.

Simülasyon çalıştırılmadan önce son olarak genetik algoritmanın başlatılacağı ayarlamalar yapılmıştır. Elitizm kriteri 1 olarak, yinelemenin 10 kez süreceği ve mutasyon yapılma ihtimali de %1 olarak belirlenmiştir. PV örgülerdeki bağlantı şekillerindeki PV modül sıralamaları için 6 farklı modelin üretileceği programda belirlenmiştir.

Simülasyonun ve optimizasyonun başlatılması belirlenen tüm değerlerden sonra yapılmıştır. İşlem sonucu yaklaşık olarak 70 saat 45 dakika tamamlanmıştır.

İnvertör seçimine göre farklı bağlantı şekli oluşacağı için; tüm değerler aynı kalarak simülasyon 6.5 kW'lık %97 verim değerine sahip SB 6000US-11 - 277VAC inverter seçilerek tekrar çalıştırılmıştır. Bu inverter giriş özelliklerinde 25 A akımı, 250 V - 480 V gerilim aralığını desteklemektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma da genetik algoritma kullanılarak PV modüllerin uzay kafes çatı yüzeylerine yerleşimleri, inverter seçimlerine göre PV modüllerin birbiriyle bağlantılarının farklı farklı olacağı durumlarda üreteceği güç miktarları hesaplanarak maksimum enerjinin elde edileceği bir PV örgü dizilimi bulunmuştur.

Bu bölümde sırasıyla; iki farklı simülasyon işlemine göre Genetik Algoritma sürecinin ve sonuçlarının değerlendirilmesi, PV örgülerin bağlantı şekillerinin karşılaştırılması analiz edilerek yorumlanmıştır.

8.1. Genetik Algoritma Sürecinin ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Simülasyon işlemleri sonucunda, sisteme uygulanan genetik algoritmanın her bir geliştirme yapısında verimliliğinin ayrı ayrı incelenmesi amacıyla sırasıyla SB3000 ve SB 6000US-11 - 277VAC inverter seçimlerine göre Çizelge 8.1 elde edilmiştir.

Çizelge 8.1. Genetik alitmadaki bireylerin nesiller boyu gelişim oranı

	Simülasyon 1	Simülasyon 2
Nesil Düzeyi	Gelişim Oranı	Gelişim Oranı
Nesil 2	1.000828	1.00168
Nesil 3	1.001643	1.000006
Nesil 4	1.006565	1.005009
Nesil 5	1.001625	1.000002
Nesil 6	1.00163	1.001674
Nesil 7	1.000812	1.003315
Nesil 8	1	1.000005
Nesil 9	1.002432	1.000001
Nesil 10	1.000003	1.001654
Nesil 11	1.001614	1.000009

- Similasyon işlemlerinde de her yeni nesilde PV örgü desenleri bir önceki nesile göre daha iyi oluşturulmuştur.

- 2 simülasyon işleminde de en fazla değişim oranı Nesil 3 'den Nesil 4' e geçerken görülmüştür.
- En az değişim oranı ise ilk simülasyonda Nesil 7' den Nesil 8' e geçerken; ikincisinde ise Nesil 8' den Nesil 9' a geçerken görülmüştür.
- İlk nesil ile son nesil arasındaki değişim göze alındığında ilk simülasyonda 1.017267, ikincisinde ise 1.013422567 oran değerinde bir sonuç görülür.

Genetik algoritma ile ilgili değerlendirmelere bakıldığında ilk simülasyon sonucuna göre %1.72 den fazla, ikinci simülasyonda ise %1.34 den fazla oranda iyileştirmede bulunmuştur. Farklı uygulamalara göre optimizasyon tekrar gerçekleştirilirse iyileştirme oranında farklılıklar görülecektir.

8.2. İnvertör Seçimine Göre PV Örgülerdeki Bağlantı Şekillerinin Değerlendirilmesi

PV örgülerde kullanılan PV modüllerin birbirleriyle bağlantısı sağlanırken seri veya paralel bağlantı şekilleri kullanılır. Burada bağlantı şeklini belirleyen özellik girişe uygulanan inverter olmuştur. Her iki simülasyonda da 768 adet PV modül kullanılması gerektiği hesaplanmıştır. Bu PV modüllerin bağlantı şekilleri, buna bağlı oluşan toplam güç değerleri Çizelge 8.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 8.2. Bağlantı şekilleri ve buna bağlı güç değerleri

İnvertör Tipi	İnvertör Sayısı	Paralel Hat	Seri PV Modül Sayısı	Toplam Max Güç(W)	Toplam Min Güç(W)	En Düşüğe Oran
SB3000 (3.2kW)	8	6	16	5382297.52	5019983.15	1.07217
SB 6000US 11- 277VAC (6.5kW)	4	12	16	5389954.0	4914342	1.09678

- 768 adet PV modüle göre gerçekleştirilen iki ayrı simülasyonda 2 farklı kombinasyonda bağlantı şekli tasarlanmıştır.
- PV modüller arasındaki paralel bağlantı sayısının artmış olduğu durumdaki elde edilen güç değerinin arttığı gözlenmiştir.

- İkinci simülasyon sonucunda elde edilen güç miktarı ilk simülasyona göre 7656.4 W daha fazladır. Bu da %0,14 orana karşılık gelmektedir.
- PV modüllerin bağlantıdaki yeri elde edilen güç oranını değiştirmiştir. İlk simülasyonda en uygun bağlantı sıralamasıyla %7.2 lik, ikinci simülasyonda ise %9.6 lık iyileştirme sağlanmıştır.

PV modüllerin farklı aç ve gölgelenmeden dolayı üreteceği farklı güç değerleri toplam güç üretiminde kayıplara neden olmaktadır. Optimizasyon işlemiyle en yüksek gücün elde edildiği bağlantı şekli bulunmuştur. 6.5 kW lık SB 6000US-11-277VAC inverter ile gerçekleştirilen simülasyonda %9.6 oranda iyileştirme sağlanmış, ayrıca 3.2 kW lık SB3000 gerçekleştirilen simülasyona göre %0,14 daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, uzay kafes sistemlerinde fotovoltaiik panel uygulamasının verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için PV modüllerin inverter seçimine göre birbirleriyle bağlantı şekilleri, hangi sırada dizilimin yapılacağı; bölgenin konumu, coğrafi özellikleri, gölge etkisinde kaldığı gün sayısı, meteorolojik değerleri göz önünde bulundurularak, tüm yıl boyunca üreteceği en yüksek güç miktarı ve verimi genetik algoritma kullanılarak en yüksek düzeyde hesaplanmıştır. Bu değerler dikkata alınarak uzay kafes sistemine sahip bir çatıya PV modüllerin nasıl yerleştirileceği öngörülebilir.

KAYNAKLAR

- Abdulazeez, M., 2011. Tek Diyot Modeline Dayanarak Gölgelemenin Güneş Pillerinin Çalışma Performansı Üzerindeki Etkisinin Analizi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s, Ankara.
- Akyüz, E., 2010. Hibrid Yenilenebilir Enerji Sistemleri İle Elektrik Ve Hidrojen Üretiminin Araştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 145s, Balıkesir.
- Alonso-Garcia, M.C., Ruizb, J.M., Herrmann, W., 2006. Computer simulation of shading effects in photovoltaic arrays. Renewable Energy, 31, 1986–1993.
- Aydın, M., Yeşilata, B., 2004. Eğitim Açısı Ayarlanabilir Ekonomik Pv Sistem Sehpası Tasarımı. Şanlıurfa
- Aydöner, D., 2010. Binaya Entegre Fotovoltaik Sistem Tasarımı Ve Kurulumu. Gebze Yüksek Teknolojisi Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67s, Gebze.
- Balato, M., Costanzo, L., Vitelli, M., 2015. Series–Parallel PV array re-configuration: Maximization of the extraction of energy and much more. Applied Energy, 159, 145-160.
- Bayrak, G., Cebeci, M., 2012. 3.6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink ile Modellenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(3), 198-204.
- Beckman William A., Duffie John A., 1991, Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication, JOHN WILEY & SONS, INC, 888p, Canada.
- Cooper, P.I., 1969, The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills, Solar Energy, 12.
- Deline, C., Dobos, A., Janzou, S., 2013. A simplified model of uniform shading in large photovoltaic arrays. Solar Energy, 96, 274-282.
- Denge Çelik, 2004. Referanslar. Erişim Tarihi: 03.07.2014.
<http://www.uzaykafessistemleri.com/referanslar.html>
- Eke, R., 2007. Güneş Pili Parametrelerinin İşletme Koşullarıyla İlişkilendirilmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 203s, İzmir.
- Erkut, U., 2010. Genetik Algoritmalar İle Portföy Performans Eniyilemesi İçin Teknik Analiz Göstergesi Seçimi. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 135s, Ankara.

- Eşsizoglu, B., 2008. Uzay Kafes Sistemlerinin Sayısal Yöntemle Analizi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108s, Şanlıurfa.
- Işıker, Y., Yeşilata, B., Bulut, H., 2006. Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Çalışma Parametrelerinin Araştırılması. I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 21-23 Haziran, Eskişehir, 150-156.
- Karahan, O., 2012. Seri Ve Paralel Robotlarda Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Yörünge Kontrolörü Tasarımı. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 220s, Kocaeli.
- Karamanav, M., 2007. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s, Sakarya.
- Karatepe, E., Boztepe, M., Çolak, M., 2007. Development of a suitable model for characterizing photovoltaic arrays with shaded solar cells. Solar Energy, 81, 977-992.
- Kaushika, N.D., Rai, A.K., 2007. An investigation of mismatch losses in solar photovoltaic cell networks. Energy, 32, 755-759.
- Kaya, İ., 2012. Genetik Algoritmaların Optimal Güzergah Belirlenmesine Uygulanması. Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, İstanbul.
- Kılıç, I.M., 2007. Fotovoltaik Sistem Eğitimi İçin Bir Simulink Araç Kutusu Tasarım Ve Uygulaması. Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137s, Muğla.
- Koç, E., Şenel, M. C. 2013. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme. Mühendis ve Makina. 54(639), 32-44.
- Messenger Roger, Ventre Jerry, 2000, Photo-voltaic Systems Engineering, CRC Pres LLC, 385p, Florida.
- Mutlu, A., 2010. Fotovoltaik Çatı Sistemlerinin Tasarımı İçin Bir Model Önerisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 157s, İstanbul.
- Okkalı, A., 2013. Genetik Algoritmalar İle Aydınlatma Hesabı Optimizasyonu. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Kocaeli.
- Orbay, A., Savaşır, K., 2004. TonoZ Biçimli Çift Katlı Uzay Kafes Sistemlerin – Çeşitli Kriterler Açısından– Etkinliğinin Karşılaştırılmasına Yönelik Bir Araştırma. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, 6(1), 39-49.

- Ortaç, O., 2007. DA/AA Dönüştürücü. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, Ankara.
- Ortakçı, Y., 2011. Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemlerinin Uygulamalarla Karşılaştırılması. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63s, Karabük.
- Özdemir, Ş., 2007. Fotovoltaik Sistemler İçin Mikrodenetleyicili En Yüksek Güç Noktasını İzleyen Bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s, Ankara.
- Özkılıç Keleş, M. C., 2008. Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 148s, İstanbul.
- Özsağlam, M.Y., 2009. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasının Gezgin Satıcı Problemine Uygulanması Ve Performansının İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 119s, Konya.
- Öztürk, M., Özek, N., Berkama, B., 2012. Isparta İçin Aylık Ortalama Günlük Global Güneş Radyasyonu Tahmininde Mevcut Olan Bazı Modellerin Karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(1), 13-27.
- Patel, H., Agarwal, V., 2008. Matlab-Based Modeling To Study The Effects Of Partial Shading On Pv Array Characteristics. IEEE Transactions On Energy Conversion, 23(1), 302-310.
- Photovoltaic Education Network, 2012. PVCDROM. Erişim Tarihi: 06.01.2014. <http://pveducation.org/pvcdrom/>
- PVDatabase, 2006. Urban PV Projects. Erişim Tarihi: 05.03.2014. <http://www.pvdatabase.org/>
- Ramabadran, R., 2009. Effect of Shading on Series and Parallel Connected Solar PV Modules. Modern Applied Science, 3(10), 32-41.
- Ramabadran, R., 2009. MATLAB Based Modelling and Performance Study of Series Connected SPVA under Partial Shaded Conditions. Journal of Sustainable Development, 2(3), 85-94.
- Ramaprabha, R., 2014. Selection of an Optimum Configuration of Solar PV Array under Partial Shaded Condition Using Particle Swarm Optimization. International Journal of Electrical, 8(1), 96-103.
- Sarioğlu, G., 2012. Güneş Gözelerinde Gölgeleme Etkisi. Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Muğla.

- Sayın, S., Koç, İ., 2011. Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler Ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(3), 89-107.
- Seyedmahmoudian, M., Mekhilef, S., Rahmani, R., Yusof, R., Renani, E.T., 2013. Analytical Modeling of Partially Shaded Photovoltaic Systems. Energies, 6(1), 128-144.
- Şenol, A., 2013. Veritabanlarında Genetik Algoritma Ve Bulanık Mantık Tabanlı Esnek Sorgulama. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, Ankara.
- Şenpınar, A., 2006. Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Elazığ.
- Şerefoğlu, Ş., 2014. Solar Sistemler İçin Akıllı Evirici Tasarımı Ve Uygulaması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, Ankara.
- Tozan, A., 2007. Sensör Yerleştirme Probleminin Genetik Algoritma Ve Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Çözümü. Gebze Yüksek Teknolojisi Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 58s, Gebze.
- Tuğ, E., 2005. Genetik Algoritmalar İle Tıbbi Veri Madenciliği. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 74s, Konya.
- Turhan, S., Çetiner, İ., 2012. Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi. 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 12-13 Nisan, Bursa.
- Ülker, F., 2007. Çift Katmanlı Uzay Kafes Sistemlerin Statik Ve Dinamik Analizi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, Elazığ.
- Vardar Öz, M.Ö., 2012. Tek Tabakalı Uzay Kafes Sistemlerin Tasarımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 136s, İstanbul.
- Wang, Y.J., Hsu, P.C., 2010. Analytical Modelling Of Partial Shading And Different Orientation Of Photovoltaic Modules. IET Renewable Power Generation, 4(3), 272-282.
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEĞM), 2014. Türkiye’de Güneş Enerjisi. Erişim Tarihi: 03.07.2014. <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>
- Zan, B., 2006. Bir Fotovoltaik Sistemden Optimal Gücün Sağlanması. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, Kırıkkale.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Berkay KİRİŞ
Doğum Yeri ve Yılı : Acıpayam, 1987
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : berkaykiris@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Acıpayam Anadolu Lisesi, 2005
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,
Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği, 2009

Mesleki Deneyim

YDDO Yazılım Ltd. Şti 2009-2010
MEB 2010-.....(halen)