

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**3 BOYUTLU OBJELERİN FOTOVOLTAİK
SİSTEMLERDE GÖLGELEME ETKİSİNİN
MODELLENMESİ VE GERÇEK ZAMANLI GÜÇ
ANALİZİ**

Berk ÇELİK

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Engin KARATEPE

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 608.02.00

Sunuş Tarihi : 1 Temmuz 2013

Bornova-İZMİR

2013

BERK ÇELİK tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “ 3 BOYUTLU OBJELERİN FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE GÖLGELEME ETKİSİNİN MODELLENMESİ VE GERÇEK ZAMANLI GÜÇ ANALİZİ ” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 1 Temmuz 2013 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	:
Raportör Üye	:
Üye	:

ÖZET**3 BOYUTLU OBJELERİN FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE
GÖLGELEME ETKİSİNİN MODELLENMESİ VE GERÇEK
ZAMANLI GÜÇ ANALİZİ**

ÇELİK, Berk

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Engin KARATEPE

1 Temmuz 2013, 44 sayfa

Bu tez çalışmasında, fotovoltaik sistemlerin 3-boyutlu çevresel yapılar tarafından kısmi gölgelenmesinin, herhangi bir bölgede güneşin gün içindeki zamana bağlı konumu göz önünde bulundurularak, sistem verimine olan etkisini analiz edebilen bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model ile farklı bölgelerde farklı gölgelenmeler için gerçek zamanlı simülasyonların yapılabilmesi ve fotovoltaik sistemden elde edilecek enerjinin kısmi gölgelenmeden oluşabilecek doğrusal olmayan davranışlar göz önünde bulundurularak hesaplanabilmesi hedeflenmiştir. Sanal gerçeklik tabanlı bu model ile sistem kurulmadan önce çevre koşulları ve maksimum güç izleme algoritmalarının sistem verimine olan etkileri öngörülerek, sistem veriminin artırılması için alternatif çözümlerin önceden üretilebilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, bir yıl boyunca seçilen herhangi bir bölgenin, 3-boyutlu cisimlerin bir fotovoltaik sistemde zaman içinde hangi modüllerin gölgelendiğini bularak ve modüllere gerçeğe yakın ışınım değerlerini atayarak sistemin uzun vadede verimini hesaplayabilen matematiksel denklemlere dayalı bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Bu kapsamda, öncelikle bu amaca uygun bir fotovoltaik modül modeli oluşturulmuş ve fotovoltaik modül modellendikten sonra bina entegreli bir fotovoltaik sistemin ve olası gölgelenmeye sebep olabilecek cisimlerin yerleşimini yansıtacak bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model sayesinde modüllerin üzerinde kısmi gölgelenme oluşturulup bu gölgelemenin güç-gerilim eğrisi üzerindeki etkisi incelenerek verim analizleri yapılmıştır. Farklı koordinatlara sahip bölgelerin ve farklı elektriksel bağlantı topolojilerinin kısmi gölgelenmeye karşı gösterdikleri davranışlar kıyaslanarak incelenmiştir. Geliştirilen model ve simülasyonlar Erasmus Programı kapsamında Catalunya Teknik Üniversitesi (UPC), Elektronik Mühendisliği Bölümü ile birlikte gerçekleştirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Fotovoltaik, Kısmi Gölgeleme, Sanal Gerçeklik, Gerçek Zamanlı Güç Analizi.

ABSTRACT

SHADING EFFECT OF 3D OBJECT MODELLING FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS AND REAL-TIME POWER ANALYSIS

ÇELİK, Berk

MSc in Electric-Electronic Engineering.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Engin KARATEPE

1 July 2013, 44 pages

In this thesis, a new analytical method is developed to evaluate the efficiency of the photovoltaic systems working in partial shading conditions by taking into account the real time shadow effect of surrounding obstacles depending on the solar movement in any location. This thesis is aimed to make real time simulations for different kind of shadings situations in different locations and also to calculate the harvested energy by taking into account nonlinear behavior of PV system under partial shading effect with developed new analytical method. Finding alternative solutions is intended to increase the system efficiency with a model based on virtual reality simulations by prediction of environment conditions and maximum power point tracker algorithm on system efficiency before PV system installations. Therefore a simulation program based on mathematical formulations is developed which calculate the long term PV system efficiency. This program provides to find shadowed PV modules by 3D obstacles and attach them realistic irradiance values. In this context, a suitable photovoltaic module model is used. After that a build integrated photovoltaic system is modeled with surrounding obstacles which can cause shading on photovoltaic modules. Based on this model, the efficiency analyses are carried out by observation of partial shading effects on power voltage curves. After this stage, PV system behavior is analyzed under partial shading conditions with different type of electrical configuration topologies and different latitude angles. A new developed analytical model and virtual reality simulations are carried out with cooperation on Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Electronic Engineering Department within the scope of Erasmus Program.

Keywords: Photovoltaic, Partial Shading, Virtual Reality, Real-Time Power Analysis

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana destek olan, her türlü koŐulda yardım ve desteğini esirgemeyen ve her türlü imkanı sunan danıŐmanım Doç. Dr. Engin Karatepe'ye, bu süre içinde çalıŐmalarımda katkıda bulunan İspanya, Catalunya Teknik Üniversitesi'nden Doç. Dr. Santiago Silvestre'a, deneysel çalışma aŐamalarında katkı sağlayan Dr. Assia Chouder'a ve tez süresince hem yurt içinde hem yurt dışında yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans öğrencisi dostum ve çalışma arkadaŐım Nuri Gökmen'e ve her zaman yanımda olan ve beni desteleyen aileme teŐekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACTvii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
3. BIPV SİSTEMLERDE ÇEVRESEL CİSİMLERİN KISMİ GÖLGELENME ETKİSİ ALTINDA SANAL ORTAMDA UZUN SÜRELİ PERFORMANS ANALİZLERİ.....	9
3.1. Güneş Işınım Değeri Hesaplanması.....	9
3.1.1. Deklinasyon açısı.....	9
3.1.2. Güneş saati ve güneş saat açısı	9
3.1.3. Güneş azimut açısı ve altitude açısı.....	10
3.1.4. PV modül yüzeyinde güneş ışınım değeri hesaplaması.....	11

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.1.4.1. Direk ışınım.....	11
3.1.4.2. Difuz ışınım.....	12
3.1.4.3. Yer yüzeyinden yansıyan ışınım	12
3.2. PV Sistemi Çevreleyen Cisimlerin PV Modül Yüzeyinde Gölgeleme Etkisinin Modellenmesi	14
3.2.1. Koordinat sistemleri.....	15
3.2.2. Örnekleme tabanlı sentez metodu	16
3.2.3. PV modül yüzeyinde gölgeleme	20
3.3. CDER Laboratuvarlarındaki Deneysel Çalışmalar	21
3.4. Kısmi Gölgeleme Etkisi Altında Performans Analizi.....	23
3.4.1. PV modül boyutları ve kurulumu.....	24
3.4.2. Gölge PV modüllerin belirlenmesi	25
3.4.3. Global ve yerel maksimum güç noktaları	27
3.4.4. Farklı şehirlerde yıllık güç üretimi.....	28
3.5. Sonuç.....	31
4. FARKLI BAĞLANTI ŞEKİLLERİNİN KISMİ GÖLGELİ BIPV SİSTEMLER ÜZERİNDEKİ PERFORMANS ANALİZLERİ	32
4.1. Metodoloji.....	32

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2. TCT ve SP Bağlantı Türleri.....	33
4.3. Çalışma Senaryosu.....	34
4.4. Verim Sonuçları.....	35
4.5. Sonuç	38
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	39
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	40
ÖZGEÇMİŞ	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Çatıya kurulu PV sistemin baca tarafından kısmi gölgelenmesi	3
3.1. Güneş azimut ve altitude açıları.....	10
3.2. Güneş ışınım bileşenleri.....	11
3.3. 21 Aralık, İzmir’de yatay ve modül yüzeyine düşen ışınım değerleri...	13
3.4. 21 Haziran, İzmir’de yatay ve modül yüzeyine düşen ışınım değerleri	13
3.5. Cisim ve referans yer koordinat sistemi	15
3.6. Gölge alanın trigonometrik denklemlerle bulunması	17
3.7. Öğleden önceki örneklenmiş gölgeleme noktaları.....	18
3.8. Öğleden sonraki örneklenmiş gölgeleme noktaları	19
3.9. PV modül kısmi gölgelenme modeli	20
3.10. PV modülü çevreleyen cisimlerin örnekleme tabanlı gölgelemesi.....	21
3.11. CDER’deki PV sistem	22
3.12. CDER’deki PV sistemin simülasyon ortamında modellenmesi.	22
3.13. CDER’deki PV sistemde ölçümü alınan verilerle simülasyon verilerinin karşılaştırılması	23
3.14. Baca (750x750x2000mm), PV modül (1510x674x50mm) yerleşimi ...	24

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.15.a İki bypass diyotlu PV modül fiziksel yapısı.....	25
3.15.b İki bypass diyotlu PV modülün elektriksel yapısı.....	25
3.15.c 3x4 seri-paralel bağlı PV sistemin elektriksel bağlantısı	25
3.16. İzmir’de 21 Haziran saatlik yerel ve global maksimum güç noktaları...27	
3.17. İzmir’de 21 Aralık saatlik yerel ve global maksimum güç noktaları	27
3.18. İzmir’de 21 Aralık’da sabah saatlik P-V grafikleri	28
3.19. İzmir’de 21 Aralık’da öğleden sonra saatlik P-V grafikleri.....	28
3.20. İstanbul günlük üretilen ortalama enerji değerleri.....	29
3.21. İzmir günlük üretilen ortalama enerji değerleri.....	29
3.22. Antalya günlük üretilen ortalama enerji değerleri.....	30
4.1. İzmir ışınım profili	32
4.2. Barcelona ışınım profili.....	33
4.3. 2x2 PV sistem için TCT ve SP bağlantıları.....	34
4.4. TCT ve SP bağlantıları aynı ışınım değeri altında P-V grafikleri	34
4.5. BIPV sistemde 24 PV modülün iki bacalı çatıya kurulumu.....	35
4.6.a PV sistemin 3x6’lık elektriksel bağlantıları. SP bağlantı.....	35
4.6.b PV sistemin 3x6’lık elektriksel bağlantıları. TCT bağlantı.....	36

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7.a PV sistemin 6x4'lük elektriksel bağlantıları. SP bağlantı	36
4.7.b PV sistemin 6x4'lük elektriksel bağlantıları. TCT bağlantı	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. BP 3125J PV modül parametreleri	14
3.2. CDER'deki PV modülün elektriksel karakteristiği	22
3.3. 21 Haziran saatlik gölgelenen modül yüzeyleri	26
3.4. 21 Aralık saatlik gölgelenen modül yüzeyleri.....	26
3.5. Toplam yıllık enerji	31
3.6. PV sistem verim değerleri	31
4.1. 2x2 PV sistem SP ve TCT bağlantı için akım ve güç değerleri (Dört PV modülün ışınım değerleri [W/m^2]: $G_1=1000$, $G_2=200$, $G_3=500$, $G_4=1000$).....	33
4.2. İzmir'de her bir bağlantı modeli için yıllık enerji değerleri	37
4.3. Barcelona'da her bir bağlantı modeli için yıllık enerji değerleri	37
4.4. İzmir'de her bir bağlantı modeli için yıllık verim [%]	38
4.5. Barcelona'da her bir bağlantı modeli için yıllık verim [%]	38

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
P_{maks}	Maksimum güç.
V_{maks}	Maksimum güç değerindeki gerilim.
I_{maks}	Maksimum güç değerindeki akım.
I_{sc}	Kısa devre akımı.
V_{oc}	Açık devre gerilimi.
(X, Y, Z)	Referans koordinat sistemi.
(X_b, Y_b, Z_b)	Cisim koordinat sistemi.
(X_m, Y_m, Z_m)	Modül koordinat sistemi.
(X_0, Y_0, Z_0)	Cisim örnekleme başlangıç noktaları.
(X_b, Y_b, Z_b)	Cisim boyutları.
(k_x, k_y, k_z)	Cismin örnekleme sayısı.
$(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$	Cismin örnekleme aralıkları.
β	güneşin eğimli modüle geliş açısı.
ϕ_b	Cisim azimut açısı.
ϕ_m	Modül azimut açısı.
ϕ_d	Güneş ile modül arasında azimut fark açısı
ΔX_{b_shade}	X ekseninde gölge noktası uzaklığı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ΔY_{b_shade}	Y ekseninde gölge noktası uzaklığı
$X_{b_shade(i)}$	X ekseninde gölgenin kuzey yönü koordinatı
$Y_{b_shade(i)}$	Y ekseninde gölgenin kuzey yönü koordinatı
$X_{b_shade_westside(i,j)}$	X ekseninde gölgenin batı yönü koordinatı
$Y_{b_shade_westside(i,j)}$	Y ekseninde gölgenin batı yönü koordinatı
$X_{b_shade_eastside(i,j)}$	X ekseninde gölgenin doğu yönü koordinatı
$Y_{b_shade_eastside(i,j)}$	Y ekseninde gölgenin doğu yönü koordinatı
t	İşlem zamanı
η_1, η_2, η_3	Verim parametreleri
δ	Deklinasyon açısı
n	Gün sayısı
ω	Güneş saat açısı
t_s	Güneş saati
L_{st}	Bölge standart meridyeni
L_{local}	Bölgenin yerel meridyeni

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ET	Zaman denklemi
B	<i>Kısmi yıl değişkeni</i>
L	Enlem açısı
I_B	Direk ışınım
A	Dünya dışı akı değeri
k	boyut optik faktörü
m	hava kütle oranı
θ	Güneşin eğimli modül yüzeyine geliş açısı
φ	Modül eğimi
I_{BC}	Modül yüzeyine gelen direk ışınım
C	Difuz faktörü
I_D	Difuz ışınım
I_{DC}	Modül yüzeyine gelen difuz ışınım
I_R	Yansıyan ışınım
I_{RC}	Modül yüzeyine gelen yansıyan ışınım

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
<i>I_c</i>	<i>TCT bağlantı ara hat akımı</i>
<i>p</i>	yansıma katsayısı
<u>Kısaltmalar</u>	
BIPV	Bina entegreli fotovoltaik.
BM	Birleşmiş Milletler.
CDER	Centre Des Energies Renouvelables
CO ₂	Karbondiaoksit.
PV	Fotovoltaik.
P-V	Güç - Gerilim
MPP	Maksimum güç noktası
MPPT	Maksimum güç noktası izleyicisi
SP	Seri Paralel
TCT	Çapraz Bağlantı

1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan nüfus ve artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik artan sanayileşme enerji talebinin artmasına neden olmaktadır. Ülkelerin artan enerji talebini karşılamadaki temel yakıt türünü fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Fosil yakıtlar, enerji potansiyeline sahip bir hammadde türünün yakılması sonucu enerjinin üretimini sağlamaktadır. Artan enerji ihtiyacı, artan fosil yakıt talebine neden olmaktadır. Başlıca problem olarak sınırlı miktarda bulunan fosil yakıtların artan enerji ihtiyacı nedeniyle gelecekte tükenmesi enerji üretimi sanayi gelişiminin de darboğaza girmesi anlamına gelmektedir. Ayrıca fosil yakıtlar enerji üretim aşamasında atık olarak çevreye karbondioksit (CO₂) salınımı yapmaktadırlar Artan enerji talebi, artan fosil yakıt kullanımına neden olduğundan, doğaya salınan CO₂ miktarının da artmasına neden olmaktadır. Dünya'nın kendi doğasında bulunan CO₂ miktarının doğal olmayan yöntemlerle bu denli artması çevresel sorunlara neden olmaktadır. Artan CO₂ miktarı temel olarak küresel ısınmaya neden olmakta ve küresel ısınmanın yan etkileri de doğal hayatı etkilemektedir (Ching et al., 2011). Bu nedenle Birleşmiş Milletler (BM) kapsamında ülkeler küresel ısınma ve küresel ısınma etkilerine karşı mücadele amacı altında Kyoto Protokol'ünü yürürlüğe sokmuşlardır. Kyoto Protokol'ünün temel amacı doğaya salınan CO₂ miktarının düşürülmesini sağlamaktır (Frondelet et al., 2010; Koh et al., 2012).

Küresel ısınma ile mücadelede CO₂ salınımını düşürmenin en temel yolu enerji üretim kaynaklarını fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına (hidroelektrik, biokütle, gelgit, rüzgar, güneş, jeotermal, dalga, akıntı) çevirmektir. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtlara karşı enerji üretimi aşamasında doğaya CO₂ salınımı yapmamaktadırlar. Aynı zamanda enerji üretim safasında herhangi bir hammadde kaynağına gereksinim bulundurmadıklarından dolayı sınırlı miktarda üretim söz konusu değildir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları doğa dostu ve sürekli enerji kaynağı olarak nitelendirilirler.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi en temel enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi Fotovoltaik (PV) sistemlerin kurulumu ile sağlanmaktadır. PV sistemler güneşten gelen ışınları yarı iletken teknolojisi kullanarak elektrik enerjisine çevirebilen yenilenebilir enerji üretim sistemidir. PV sistemler başta Avrupa olmak üzere Dünya genelinde kurulumu artarak yaygınlaşan ve kullanım alanı her geçen gün genişleyen bir enerji üretim kaynağı olmaktadır. PV sistemler gün geçtikçe kullanımı artmasına rağmen, bu sistemlerin verimli çalıştırılması hususunda çözüm bekleyen birçok problem söz konusudur. Bilimsel ve teknolojik gelişmeler kapsamında bu problemler güncel araştırma konuları olarak karşımıza çıkmaktadır.

PV sistemler bir çok avantaj içermelerinin yanında günümüz koşullarında bazı dezavantajlara da sahiptir. PV sistemlerin pahalı ve veriminin düşük olması yaygınlaşmasında büyük bir dezavantaja neden olmaktadır. Ancak bunun yanında modüler olmaları nedeniyle PV sistemler güneş gören boş alanlara kolaylıkla kurulabilir ve enerji üretimi sağlayabilirler (Karatepe et al., 2008). PV sistemlerin modüler olması PV modülerin kurulumunu kolaylaştırarak kullanım alanının genişlemesini sağlamaktadır. Bu sayede PV sistemler tüketici durumunda bulunan

müşterilerin üretici durumuna geçmesine de olanak sunmaktadır. Bina entegreli PV (BIPV) sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Uygun yapıdaki ev, bina, fabrika gibi yapıların başta çatıları olmak üzere tüm yüzeylerine PV sistemlerin kurulumu yapılabilmektedir (Li et al., 2013; Yoo, 2011; Hwang et al., 2012). Dünya genelinde PV sistemlerin santral tipi kurulumları artarken santral tipinin yanında BIPV sistemlerin kurulumu da yaygınlaşmaktadır. BIPV sistemler ülke enerji üretimi açısından ve kullanıcı açısından bir çok avantajlara sahiptir. BIPV sistemlerin kullanımı arttıkça şehir şebekesi üzerindeki yükün düşmesiyle beraber şehir içi CO₂ salınımı da azalmaktadır. Bu yönüyle BIPV sistemler bir çok avantaja sahip gözükseler de yine de ilk kurulum aşamasında yüksek maliyete ihtiyaç duymaları yaygınlaşmalarını yavaşlatmaktadır. Ortalama bir BIPV sistem, kurulumundan sonra kendisini amorte etme süresi yaklaşık 10-15 sene arasında değişmektedir (Cucchiella et al., 2012; Kaldellis et al., 2009). Bir BIPV sistemin ömrü, BP 3125J PV modül markası baz alınarak, laboratuvar koşullarına göre dış koşullarda %93 verimlikte 12 sene, %85 verimlilikte 25 sene olarak düşünüldüğünde aslında karlı bir yatırım olarak gözükse de kullanıcıların ilk kurulum maliyetlerini karşılamaları kendilerini güç duruma sokacaktır (BP Solar, 2010). Bu nedenle bazı ülkeler kurulum maliyetinde belli oranlarda hibeler vererek BIPV sistemlerin yaygınlaşmasına destek olmaktadır. Bunun yanında gelişen PV teknolojisi ile PV sistem verimi artmakta ve kurulum maliyeti yıldan yıla azalmaktadır. Bu gelişmeler BIPV sistemlerin gelecekte ülkelerin enerji ihtiyacını karşılamada ciddi bir paya sahip olacağının göstergesidir.

PV sistemlerin çevre dostu olması, veriminin artması ve maliyetinin düşmesi, kurulumunun yaygınlaşmasını artırmaktadır. PV sistemlerin laboratuvar dışı koşullarda kurulumunun artması PV sistemleri güç sistem analizcileri tarafından da incelemeye itmiştir. Özellikle şehir içi BIPV sistem kurulumlarında PV sistemin çıkış gücünü etkileyen harici faktörler bulunmaktadır. Harici faktörler PV sistem performansını düşürücü yönde etkilemekte ve bu nedenle bu sorunlara karşı güç sistem analizcileri alternatif çözümler aramaktadırlar. Bu nedenle PV sistemler çevresel ve ekonomik olarak ilgi çekici alternatif bir enerji kaynağı olmasının yanında, bu sistemlerin verimlerinin artırılması noktasında çözüm bekleyen bir çok problem sistemlerin kullanımı yaygınlaştıkça ortaya çıkmaktadır.

PV sistemlerin modüler yapıya sahip olması uygun boş alanlara rahatlıkla kurulabilme imkanı sağlaması nedeniyle şehir içi yapılarda BIPV sistemlerin kurulumu güneş ışığının bulunduğu her yere yapılabilmektedir. Bununla beraber, kurulacak sistemin üretebileceği enerjinin tahmin edilmesi planlama noktasında büyük önem arz etmektedir. Bu durumda, genellikle kurulumu yapılması istenen PV sistem boyutları belirlendikten sonra bölgedeki ışınım değerine göre yıllık üretilmesi beklenen enerji değeri hesaplanır. Maalesef uygulamada, beklenen enerji değeri ile elde edilen enerji değeri arasında farklar oluşabilmektedir (Uchida et al., 2001). Dış çevre koşulları altında PV sistem tarafından üretilen toplam enerjinin doğru hesaplanmasını engelleyen bazı faktörler bulunmaktadır (Loulas et al., 2012; Argul et al., 2003). Bu durum sistemin kendini amorte etme süresini artırmaktadır. Dış çevreye kurulumu yapılan PV sistem performansı bölgenin hava koşulları, tasarım detayları, çevresel cisimler ve coğrafi konum tarafından etkilenir. Bu kapsamda, PV sistem kurulumunda en büyük belirsizliği

yaratan faktör PV sistemin kısmi gölgelenme etkisidir. Kısmi gölgelenme etkisi PV sistemlerin çalışma performansını belirgin ölçüde değiştiren en önemli faktördür . Kısmi gölgelenme etkisi bir çok farklı etken tarafından oluşabilir. Çevresel cisimler (direkler, karşıt binalar, uydu antenleri, bacalar), bulutlar, tozlanma, yoğun kuş geçişleri veya hayvan kalıntıları, ard arda dizilmiş PV modüllerin birbirlerini gölgelemesi gibi etkenler tarafından kısmi gölgelenme oluşabilir (Syafaruddin et al., 2012). Şekil 1.1’de bina çatısında kurulu olan bir PV sistemin baca tarafından kısmi gölgelenmesi görülmektedir. Bu durumlar PV sistem üzerinde gölgelenme etkisi yarattıkları taktirde sistemde beklenmeyen kayıplara yol açmaktadır. Beklenmeyen kayıplar ise yıllık enerji hesabının doğru yapılamamasına neden olmaktadır. Bu nedenle PV sistemin çalışması hakkında daha detaylı bilgi edinebilmek için bu durumların PV sistemin elektriksel karakteristiğine olan etkileri detaylıca incelenmelidir.



Şekil 1.1 Çatıya kurulu PV sistemin baca tarafından kısmi gölgelenmesi

PV sistemlerde enerji üretimi PV modüller tarafından sağlanır. PV modüller aldıkları ışınım değerine bağlı olarak akım kaynağı karakteristiği gösteren enerji kaynaklarıdır (Kadri et al., 2012). PV modüllerin ürettikleri akım değeri ışınım değeri ile doğru orantılı değişmektedir. PV modüller gölgelendiği taktirde aldıkları ışınım değerleri düştüğünden dolayı ürettikleri akım miktarında da düşme gözlenir. İstenilen enerjinin elde edilebilmesi için PV modüller birbirlerine seri ve paralel bağlanırlar. PV modüllerin seri bağlanması ile çıkış gerilim değeri artırılırken, paralel bağlanması ile de çıkış akım değerleri artırılır. PV modüllerin seri ve paralel bağlanması ile oluşan PV sistemde gölgelenme etkisi, tek bir modülün gözlenmesine karşı çok farklı sonuçlar doğurmaktadır. PV sistemi oluşturan PV modüller homojen ışınım değeri altında aynı akım değerlerini ürettikleri için gölgelenme etkisi karmaşık bir davranış göstermemektedir. Homojen ışınım etkisi PV modüllerin hepsinin aynı ışınımı alması anlamına gelmektedir. PV modüllerin bazılarının gölgelenmesi ve bazılarının gölgelenmemesi PV sistem üzerinde beklenmeyen etkilerin doğmasına neden olan koşuldur. Bu duruma kısmi gölgelenme adı verilir. Kısmi gölgelenme altında bir modül gölgelendiğinde aldığı ışınım değerine bağlı olarak ürettiği akım değerinde düşme gözlemlenecektir. Diğer modüller yüksek akım üretirken, gölgeli modül düşük akım üretmektedir. Elektriksel bağlantılarda aynı hat üzerinden akan akım değeri hattın her bölümünde aynı olması gerekmektedir. Bu nedenle aynı seri kolda düşük akım üreten modül, ışınım değerinden dolayı daha fazla akım üretemeyeceğinden, gölgelenmeyen modüllerin akım değerleri üzerinde limitleyici etki yaratmaktadır. Bu nedenle gölgelenmeyen modüllerin ürettiği akım değeri gölgeli modülün akım değeri ile aynı değeri almak zorundadır. Ancak gölgelenmeyen modül aldığı ışınımdan dolayı gölgeli modüle göre fazla akım üretmeye devam etmektedir. Bu durumda kısmi gölgelenmenin PV sistem

üzerindeki olumsuz etkisi gözlemlenmektedir. Bu da PV sistemde gölgelenmeyen modüllerin ürettiği fazla akımın gölgeli modüllerin üzerinden akmasına neden olmakta ve gölgeli PV modülü üretici konumundan yük konumuna geçirmektedir (Silvestre et al., 2009). Gölgelenmeyen modüllerin ürettiği fazla akım gölgeli modül üzerinden aktığı için gölgelenmeyen modüllerin ürettiği güçten yararlanılamamaktadır. Aynı zamanda gölgeli PV modül üzerinden akan fazla akım PV modülün ısınmasına neden olmakta ve bu durumda PV modülde geri telafisi olmayan bozulmalara neden olmaktadır. Bu duruma sıcak nokta (hot spot) etkisi adı verilir (Muñoz et al., 2008). Kısmi gölgelenme etkisi devam ettikçe gölgeli PV modüller ısınmaya ve hasar görmeye başlar. Hasarlı PV modüller bir süre sonra artık gölgeli olmayan durumlarda bile yük gibi davranır ve aşırı ısınırlar. Böylece kısmi gölgelenme olmasa bile PV sistem performansında düşüş meydana gelir.

Bir PV sistemde öncelikli olarak PV sistemin uzun süre boyunca çalışması, hasar görmemesi istenir. Bu nedenle öncelikli olarak sistemde gölgeli PV modüllerin hot spot etkisine karşı korunmaları gerekmektedir. Hot spot etkisine karşı PV modül üreticileri PV modüle paralel bypass diyot bağlarlar (Woyte et al., 2003). PV modüle paralel olarak bağlanan bypass diyot sayesinde PV modül gölgelendiği takdirde aynı seri koldaki gölgelenmeyen PV modüller tarafından üretilen fark akımı gölgeli PV modül üzerinden akmak yerine alternatif yol olarak bypass diyot üzerinden akar. Bu şekilde gölgeli PV modül yük karakteristiğine geçmekten kurtulur ve PV modül üzerinde aşırı ısınmalar meydana gelmez.

PV modüllerin güvenliği paralel bağlı bypass diyotlar yardımı ile sağlansa da bypass diyotlar PV sistem performansının düşmesine engel olamamaktadır. Bypass diyot bağlı PV sistemlerin, kısmi gölgelenme etkisi altında, güç-gerilim (P-V) karakteristikleri lineer olmayan şekilde etkilenirler. Homojen ışınım koşulları altında P-V eğrileri tek maksimum güç noktasına sahiptir ve bu nokta geleneksel maksimum güç noktası izleyici (MPPT) yöntemlerle yakalanabilir. Ancak kısmi gölgeleme durumları altında P-V eğrisinde birden çok tepe noktası oluşabilmektedir (Wang and Hsu, 2010). Burada en büyük tepe güç noktasına global maksimum güç noktası (MPP), diğer tepe noktalarına ise yerel maksimum güç noktaları denmektedir. Bu nedenle PV sistemde kısmi gölgelenme etkisi altında MPPT algoritması yerel maksimum güç noktalarına takılabilir (Renaudineau et al. 2011). MPPT kayıplarını azaltmak için literatürde bir çok yeni MPPT algoritması çalışmaları bulunmaktadır. Ancak uygulanacak olan MPPT algoritmasının basit ve her sisteme kolaylıkla adapte edilebilir olması istenmektedir. Literatürdeki MPPT algoritmaları karmaşık yapıya sahip olduklarından, genel olarak kabul edilmiş bir global MPPT algoritması bulunmamaktadır. Bu nedenle şehir içi BIPV sistemlerde çevresel gölgelenme faktörleri yoğun olarak bulunduğu PV sistemin yıllık enerji hesabı yapılırken kısmi gölgelenme faktörü yapılan hesaba mutlaka dahil edilmelidir (Drif et al., 2008). Kısmi gölgeleme etkisi altında sistem performansı bypass diyot dahil edilerek ve MPPT algoritmasının yakalayacağı yerel ve global güç noktaları hesaplanarak PV sistem performansı incelenmelidir.

PV sistemlerin kısmi gölgelenme etkisi altındaki çalışma performanslarının artırılması için araştırmacılar yeni yöntemler geliştirmektedirler. Araştırmacılar

geliştirdikleri yöntemleri test etmek için PV modüllere homojen olmayan rastgele ışınım değerlerini simulasyon ortamında atayarak kısmi gölgelenme etkisini oluştururlar. Ancak rastgele yapılan ışınım atamaları tam olarak dış çevre koşulları altındaki PV sistemin kısmi gölgelenme etkisini yansıtamamaktadır. Bu nedenle PV sistemlerin dış çevre koşullarında gerçek kurulumlarını yaparak, geliştirdikleri yöntemleri kısmi gölgelenme etkisi altında incelerler. Bir PV sistemin kısmi gölgelenme etkisi altındaki çalışması incelenirken PV sistemlerde yıllık olarak yapılan analizler önem taşımaktadır. Çünkü gölgelenme yapacak olan cisimlerin gölgeleri gerçek zamana bağlı olarak değişirler. Bu nedenle araştırmacılar tarafından geliştirilen, PV sistemin performansını artırdığını düşündüğümüz yöntemler ile PV sistemi dış çevrede bir yıl boyunca kısmi gölgelenme etkisi altında incelememiz gerekecektir. Bu hem çok fazla zaman hem de gerçek bir PV sistemin kurulumu için ekstra araştırma maliyeti gerektirecektir. Ayrıca inceleme için PV sisteminin dış çevre koşulları altında kurulumunun yapıldığını düşündüğümüzde, kurulum standartlarının PV sistemde kısmi gölgelenme etkisi altında P-V eğrisinde yerel ve global maksimum güç noktalarını ayırmasını bekleriz. Ancak her PV sistem kurulumu kısmi gölgelenme altında bu etkiyi yaratmaz. Bu nedenle eğer PV sistem dış çevrede kurulduğunda bu etki oluşmuyorsa geliştirilen modelin performans artırıcı etkisini PV sistem üzerinde yararlı bir şekilde gözlemleyemeyebiliriz. Ardından bir yıl gibi uzun bir süre inceleme yaptıktan sonra istediğimiz sonuçları elde edemeyebiliriz. Bu nedenle PV sistemde geliştirilen yöntemleri daha kısa sürede bir yıllık etkiyi gözlemlememizi sağlayacak, ayrıca kurulum standartını istediğimiz gibi değiştirebileceğimiz simulasyon ortamında bir kısmi gölgelenme modeline ihtiyaç duyulmaktadır.

Sanal gerçeklik simulasyonları, PV sistemlerin kurulumu yapılacak olan alanın fiziksel özellikleri sanal ortamdaki hesaplamalara dahil edilerek kurulumları yapılmadan önce, PV sistemin performansının incelenmesi imkanını sağlar. Bu sayede PV sistem kısmi gölgelenme etkisi altında kalıyor ise kurulum yapılmadan önce bu etki gözlemlenebilir. Gözlemlenmenin sonucuna göre PV sistemin kurulumu yapılması planlanan alanda ekonomik değerler göz önünde bulundurularak kurulumunun yapılıp yapılmamasına karar verilebilir. Böylece kurulum yapılacak alanda gölgelenme eğer PV sistemi kötü etkilemiyorsa, kurulum alanında gölgelenme var diye PV sistemin kurulumundan vazgeçilmez. Ayrıca PV sistemden üretilmesi beklenen enerji miktarı kısmi gölgelenme etkisi dahil edilerek gerçekçi olarak hesaplanabilir.

Bu tez çalışmasında, fotovoltaik sistemlerin 3-boyutlu çevresel yapılar tarafından kısmi gölgelenmesinin, herhangi bir bölgede güneşin gün içindeki zamana bağlı konumu göz önünde bulundurularak, sistem verimine olan etkisini analiz edebilen bir model geliştirilmiştir. Ayrıca farklı koordinatlara sahip bölgelerin ve farklı elektriksel bağlantı türlerinin kısmi gölgelenmeye karşı gösterdikleri davranışlar kıyaslanarak incelenmiştir. Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde literatürde yapılan önceki çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde PV sistemlerin çevresel yapılar tarafından kısmi gölgelenmesi simulasyon ortamında modellenmiştir. Sanal gerçeklik tabanlı bu model ile sistem kurulmadan önce çevre koşulları ve maksimum güç izleme algoritmalarının sistem verimine olan etkileri öngörülerek, sistem veriminin artırılması için alternatif çözümlerin önceden üretilebilmesi

amaçlanmıştır. Geliştirilen kısmi gölgelenme modeli İstanbul, İzmir ve Antalya olmak üzere üç farklı şehirde aynı kurulum koşulları altında uygulanmıştır. Bu sayede aynı kurulum koşulları altındaki PV sistemlerin farklı bölgelerde kısmi gölgelenmeleri incelenmiştir. Ayrıca Cezayir Alger’de gerçek ölçümlerle simulasyon ölçümleri karşılaştırılarak yeni kısmi gölgelenme modelinin uygulaması yapılmıştır. Dördüncü bölümde geliştirilen kısmi gölgelenme modeli ile Barcelona ve İzmir şehirlerinde, aynı kurulum koşulları altında PV sistemin bağlantı şekilleri değiştirilerek, bağlantı şekillerinin kısmi gölgelenme etkisi altındaki performansları karşılaştırılmıştır. Bu sayede aynı kurulum koşulları altında farklı bağlantı şekillerinin etkileri PV sistemde yıllık enerji farkları gözlemlenerek incelenmiştir. Beşinci bölümde tez konusu kapsamında elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

PV sistemler son yıllarda oldukça güncel olan, kullanımı yaygınlaşan enerji üretim dallarından biridir. Bu nedenle PV sistemlerde kısmi gölgelenme problemi üzerinde literatürde çeşitli araştırmalar bulunmaktadır.

Kovach and Schmid (1996), bina entegreli PV sistemlerde kısmi gölgelenme etkisini araştırmış ve binanın çatısına kurulan PV modüllerin bina çatısının kendi yapısından kaynaklı gölgelenmesini incelemiştir (Kovach and Schmid, 1996). Bu çalışmada PV modüllerin yerleşim yönlerinin kısmi gölgelenme etkisi altındaki performansları karşılaştırılmıştır. Gracia et al. (2006), PV sistemlerin simulasyon ortamında modelleyerek PV sistemin kısmi gölgelenme etkisi altında akım gerilim eğrilerini çıkarmıştır (Gracia et al., 2006). Kısmi gölgelenme etkisini rastgele ışınımlar atayarak oluşturmuş ve PV hücrelerin seri ve paralel bağlantı sayılarını değiştirerek akım gerilim eğrilerindeki değişimleri incelemiştir. Midtgard et al. (2010), üç farklı PV modül türünün (amorf, tek kristal ve çok kristal), kısmi gölgelenme etkisini, dış çevre koşullarında kurulumunu yaparak PV modüllerin performanslarını karşılaştırmıştır (Midtgard et al., 2010). Yapılan ölçümler simulasyon ortamında elde edilen ölçümlerle birlikte yıllık olarak sunulmuş ve verim karşılaştırmaları yapılmıştır. Hagemann (2004), Almanya'da kurulu PV sistemler üzerinde elde edilen bilgiler ve tecrübeler hakkında detaylı bir araştırma hazırlamıştır (Hagemann, 2004). Dış çevreye PV modüllerin kurulumları, bina entegrasyonları ve üretilen enerji miktarları üzerinde analizler yapmış ve BIPV sistemlerde edinilen tecrübeler doğrultusunda binaların, PV sistemlerde dahil olmak üzere, enerji üretim kaynaklarının verimli kurulumu için mimari stratejilere değinmiştir. Aneta et al. (2012), şehir içi sistemlerde binalara PV sistemlerinin entegrasyonunu incelemiştir (Strzalka et al., 2012). Yapılan çalışmada harici yazılımlar kullanarak binalar sanal ortamda modellenmiş ve çatılar kategorize edilmiştir. Bu sayede alana PV sistem kurulumu yapmadan sanal ortamda şehir içindeki binaları incelemiş ve enerji üretim tahmini yapmıştır. Ordóñez et al. (2010), Endülüs'de yaptığı çalışmada binaların çatılarında güneş enerjisi ile elde edilebilecek enerji kapasitesi üzerine çalışma yapmıştır (Oróñez et al., 2010). Çalışmasında kısmi gölgelenme etkisi, bina yönelimleri, çatı açıları gibi faktörler yıllık enerji hesaplamalarına dahil ederek binaları kategorize etmiştir. Loulas et al. (2012), belli bir bölgede bulunan konutların çatılarını harici programlarla (Google Sketchup ve PVsyst) modelleyerek PV sistem kurulumuna uygun konut alanlarını belirlemiştir (Loulas et al., 2012). Yapılan çalışmada kısmi gölgelenmeye neden olacak cisimler ve yapılar, programlar yardımıyla incelenerek gölgeli olmayan anlar için PV sistem kurulum alanları belirlenmiştir. Reinoso et al. (2013), şehir içi PV sistemlerde kısmi gölgelenme etkisini dinamik gölgelenme ile incelemiştir (Reinoso et al., 2013). Yapılan çalışmada bir bulutun zamana bağlı olarak hareketini belirleyerek kısmi gölgelenme etkisini oluşturmuştur. Oluşturulan modelde anlık olarak P-V eğrileri çıkarılmış ve global ve yerel maksimum noktaları incelenmiştir. Ayrıca farklı bağlantı türlerini de kısmi gölgelenme etkisi altında incelemiş ve bağlantı türleri arasındaki performans farklarını P-V eğrilerinde gözlemlemiştir. Hsieh et al. (2013), BIPV sistemlerde sadece çatıyı değil aynı zamanda binaların yan yüzeylerini de PV modül kurulum alanı olarak belirleyerek, BIPV sistemlerden elde edilebilecek enerjiyi hesaplamıştır (Hsieh et

al., 2013). Bu sayede binaların bütün yüzeylerini PV modüllerin kurulumu açısından incelemiş ve yüzeylerin birbirinden farklı PV sistem için kurulum faktörlerini hesaba katmıştır.

BIPV sistemlerde kısmi gölgelenme etkisi altında PV sistemin performansını arttırmaya yönelik, PV modüllerin bağlantı şekilleri karşılaştırılmıştır. Reinoso et al. (2010) farklı bağlantı türlerini kısmi gölgelenme etkisi altında inceleyerek, bağlantı türlerinin verimlerini hesaplamıştır (Reinoso et al., 2010). Karatepe et al. (2010), farklı bağlantı türlerini simulasyon ortamında kısmi gölgelenme etkisi altında incelemiştir (Karatepe et al., 2010). Senaryolar oluşturularak ışınım değerlerini zamana bağlı değiştirmiş ve P-V grafiklerini incelemiştir. Ardından gözlemlenen ışınım değerlerinde PV sistemden elde edilebilecek enerji değerlerini hesaplamıştır. Ghoddami and Yazdani (2011), PV sistemlerde farklı iki bağlantı türünü, toplam çapraz bağlantı (TCT) ve seri paralel (SP) bağlantı modellerini incelemiştir (Ghoddami and Yazdani, 2011). Yapılan çalışmada rastgele modüllerin gölgelenmelerine karar verilmiş ve iki tür arasındaki güç farklarını incelenmiştir. Villa et al. (2012), 4 farklı bağlantı modeli üzerinde durmuş ve bu modeller arasında performans analizleri yapmıştır (Villa et al., 2012). Çalışmada rastgele gölgelenme durumları düşünülmüş ve bu rastgele gölgelenme durumları için optimum bağlantı modeli belirlenmeye çalışılmıştır. Wang et al. (2011), 5 farklı bağlantı modelini karşılaştırarak performans karşılaştırmaları yapmıştır (Wang et al., 2011). Yapılan çalışmalarda rastgele ışınım ataması yapılarak kısmi gölgelenme durumları incelenmiş ve bağlantı türleri arasındaki farklar gözlemlenmiştir.

3. BIPV SİSTEMLERİN ÇEVRESEL CİSİMLERİN KISMI GÖLGELENME ETKİSİ ALTINDA SANAL ORTAMDA UZUN SÜRELİ PERFORMANS ANALİZLERİ

Bu çalışmada BIPV sistemlerin çevresel cisimlerin kısmi gölgeleme etkisi altında sanal ortamda uzun süreli performans analizleri yapabilen bir model geliştirilmiştir. Bu önerme aynı kurulum koşullarında farklı bölgeler için uygulanmış ve enlem farklarının da kısmi gölgeleme üzerine olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca Cezayir Alger şehrinde gerçek kurulu bir PV sistem kısmi gölgelemeye neden olan çevresel cisimler ile birlikte geliştirilen kısmi gölgeleme modeli ile simulasyon ortamında modellenmiştir. Alger'deki kurulu PV sistemden elde edilen anlık güç değerleri, simulasyon ortamındaki elde edilen anlık güç değerleri ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen kısmi gölgeleme modeli ve verim indeksleri kullanılarak oluşturulan senaryolar altında PV sistemlerin yıllık performansları karşılaştırılabilmektedir.

3.1. Güneş Işınım Değeri Hesaplanması

PV sistemin güç çıkışı PV modüllerin yüzeyindeki anlık ışınım değerine bağlı olarak değişmektedir. Işınım değerinin hesaplanmasına ait formüller ve önemli tanımlamalar, kısmi gölgeleme etkisini tahmin etmek için gerekli olan, sırayla bu bölümde verilmiştir.

3.1.1. Deklinasyon açısı

Dünyanın ekvator eksenini ile güneşin merkezinden dünyanın merkezine çizilen eksen arasındaki açıya deklinasyon açısı denir. Deklinasyon açısı yıl içerisinde güne bağlı olarak değişmektedir. Deklinasyon açısı güne bağlı pozitif ve negatif olacak şekilde aşağıda verilmiştir.

$$\delta = \pm 23.45^\circ \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \quad (1)$$

n yıl içerisindeki gün değerini vermektedir. Güneşin deklinasyon açısı kuzey yarı kürede haziran ayının 21'inde ($n = 173$) maksimum değeri $+ 23.45^\circ$ ve aralık ayının 21'inde ($n = 356$). minimum değeri olan $- 23.45^\circ$ değerini alır.

3.1.2. Güneş saati ve güneş saat açısı

Güneş saat açısı güneşin gökyüzündeki bulunduğu konuma göre,

$$\omega = (t_s - 12) \cdot 15^\circ \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir ve t_s güneş saatidir. Güneş saati öğle saatinde sıfır, sabah saatlerinde negatif ve öğleden sonraki saatlerde ise pozitif değer almaktadır.

Güneş saati dünya üzerindeki konuma göre farklı değer alabilmektedir ve güneş saati bu farkı bölgenin yerel saatine bağlı olarak,

$$t_s = local_time + ET + (L_{st} - L_{local}) \cdot (4 \text{ min/deg}) \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir ve L_{st} o bölgenin standart meridyen değeri, L_{local} bölgenin yerel meridyen değeri ve ET ise zaman denklemdir. Zaman denklemi,

$$ET = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B) \quad (4)$$

ile ifade edilir ve burada B,

$$B = 360 \cdot ((n - 81) / 365) \text{ derece.} \quad (5)$$

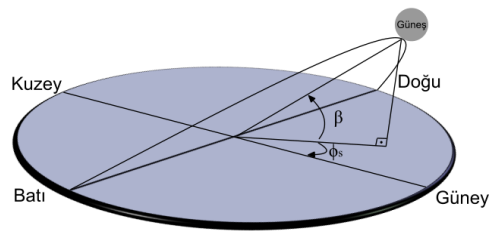
açı cinsinden ifade edilir. B kısmi yıl sabitidir (fractional year).

3.1.3. Güneş azimut açısı ve altitude açısı

Güneşin altitude açısı güneş ışınları ile yatay yüzey arasındaki açı olarak ifade edilir. Güneşin altitude açısı (β) ve enlem (L) kullanılarak aşağıdaki formülasyon ile ifade edilir.

$$\sin \beta = \cos L \cos \delta \cos \omega + \sin L \sin \delta \quad (6)$$

Güneşin konumunu ifade etmede kullanılan bir diğer açı ise güneş azimut açısıdır (ϕ_s). Bu açı saat yönünde güney eksen doğrultusu ile güneşin yer yüzeyine iz düşümü arasındaki açı olarak ifade edilir.



Şekil 3.1 Güneş azimut ve altitude açıları.

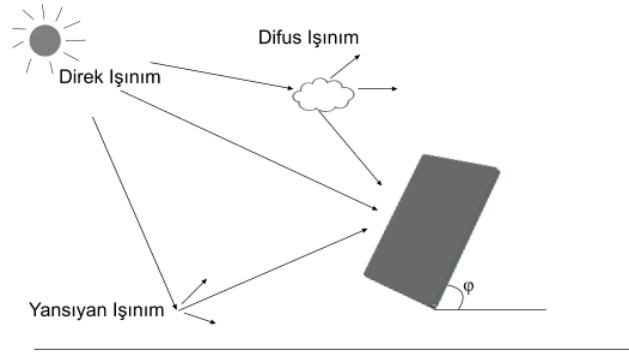
Güneş azimut değeri,

$$\sin(\phi_s) = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \beta} \quad (7)$$

formülasyonu ile hesaplanır. Güneş altitüde ile azimut açısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

3.1.4. PV modül yüzeyinde güneş ışınım değeri hesaplaması

Anlık olarak ışınım değerleri PV modül yüzeyinde direk, difuz ve yerden yansıyan ışınım değeri olarak Şekil 3.2'de verilmiştir (ASHRAE, 1993).



Şekil 3.2 Güneş ışınım bileşenleri

3.1.4.1. Direk ışınım

Direk ışınım değeri atmosferden direk olarak sapmadan geçen ışınım değeridir. Direk ışınım değeri,

$$I_B = A \cdot e^{-k \cdot m} \quad (8)$$

ile bulunur. A belirgin dünya dışı akı değeri, k boyut faktörü, optik hasar ve m hava kütle oranı. Bu değerler sırasıyla,

$$m = \frac{1}{\sin \beta} \quad (9)$$

$$A = 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 275) \right] \quad (10)$$

$$k = 0.175 + 0.035 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (11)$$

formülleri kullanılarak ifade edilir. Ancak PV modül yüzeyindeki ışınım değerini bulmak için güneş açıları ile PV modülün kurulum esasları (φ modül eğim açısı) dikkate alınması gerekmektedir.

$$\cos \theta = \cos \beta \cdot \cos(\phi_s - \phi_c) \cdot \sin \varphi + \sin \beta \cdot \cos \varphi \quad (12)$$

ϕ_c değeri modül azimut açısı ve θ PV modül yüzeyine gelen güneş geliş açısıdır. Bu sayede PV modül yüzeyindeki ışınım değeri,

$$I_{BC} = I_B \cos \theta \quad (13)$$

ifadesi ile bulunur.

3.1.4.2. Difuz ışınım

Difuz ışınım güneşten gelen ışınların atmosferden geçerken hava molekülleri ile çarpışan kısımların etrafa saçılması sonucu oluşan ışınım değeridir. Difuz ışınım değeri direk gelen ışınım değerine bağlı bir bölümünün sabit katsayı ile çarpımı sonucu ile elde edilir:

$$I_D = C \cdot I_B \quad (14)$$

Burada C gökyüzünün difuz faktör değeri olarak tanımlanır. Yıl içerisindeki güne bağlı olarak,

$$C = 0.095 + 0.04 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (15)$$

şeklinde ifade edilir. Anlık olarak PV modül yüzeyindeki ışınım değeri ise modül eğim açısına bağlı olarak,

$$I_{DC} = C \cdot I_B \left(\frac{1 + \cos \varphi}{2} \right) \quad (16)$$

formülü ile ifade edilir.

3.1.4.3. Yer yüzeyinden yansıyan ışınım

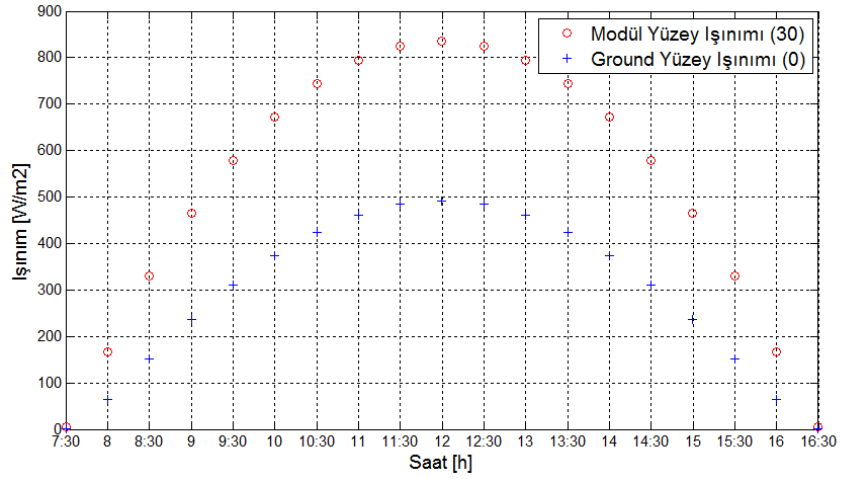
Yer yüzeyinden yansıyan ışınım değeri toplam ışınım değerinin çok küçük bir parçasını kapsamaktadır, ancak kurulumun alanı çevreleyen yüzeye bağlı olarak (toprak, çim, kar) büyüklüğü değişim göstermektedir. Yer yüzeyinden yansıyan ışınım değeri,

$$I_R = p \cdot I_B \cdot (\sin \beta + C) \quad (17)$$

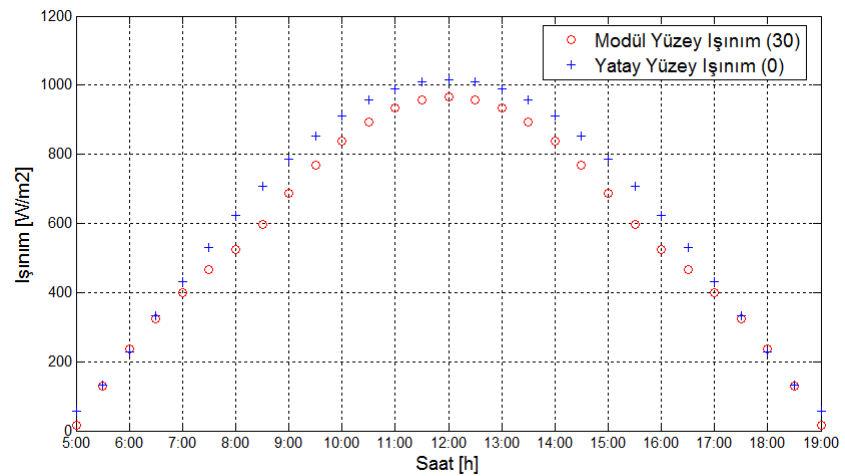
şeklinde ifade edilir ve burada p yansımaya katsayısıdır. PV modül üzerindeki yer yüzeyinden yansıyan ışınım değeri yine modül eğim açısı da dahil edilerek,

$$I_{RC} = p \cdot I_B \cdot (\sin \beta + C) \cdot \left(\frac{1 - \cos \varphi}{2} \right) \quad (18)$$

ifade edilir. Yatay yüzeydeki (0 derece) ve eğimli yüzeydeki ışınım değeri (30 derece) Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de 21 aralık ve 21 haziran günleri için verilmiştir. Işınım değeri eğimli yüzey ile yatay yüzey arasında kış döneminde önemli düzeyde farklılık göstermektedir. Kış dönemindeki belirgin farka karşı, yaz döneminde bu fark görüldüğü üzere neredeyse kapandığı gözlenmektedir (Maatallah et al., 2011).



Şekil 3.3 21 Aralık, İzmir'de yatay ve modül yüzeyine düşen ışınım değerleri.



Şekil 3.4 21 Haziran, İzmir'de yatay ve modül yüzeyine düşen ışınım değerleri.

3.2. PV Sistemi Çevreleyen Cisimlerin PV Modül Yüzeyinde Gölgeleme Etkisinin Modellenmesi

PV sistemler üzerinde kısmi gölgeleme durumundaki kayıpları gidermek için literatürde yeni metotlar geliştirilmiş ve önerilen metotların PV sistemin performansına etkileri PV modüllerin üzerine rastgele ışınım atamaları yapılarak incelenmiştir. Bu tez çalışmasında ise kısmi gölgeleme etkisi, PV sistemi çevreleyen cisimlerin gölgeleme etkisine dayanarak, PV sistemin performansının gerçekçi olarak sanal ortamda gözlemlenmesini sağlayan yeni bir metot önerilmiştir. Bu çalışmada PV sistemin kurulumundan önce sistemden elde edilebilecek enerji hakkında daha gerçekçi tahminlerde bulunabilmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, PV modüller piyasada bulunan BP 3125J PV modül değerleri baz alınarak simulasyon ortamında modellenmiştir. (Karatepe et al., 2007; Mâki et al., 2011). Çizelge 3.1'de BP 3125J için elektriksel parametreler verilmiştir. Bu tez çalışmasında, PV modüller bypass diyotların bağlı oldukları tarafa göre, sol bypass diyot ve sağ bypass diyot olmak üzere isimlendirilmiştir (Karatepe et al., 2007).

Çizelge 3.1 BP 3125J PV modül parametreleri.

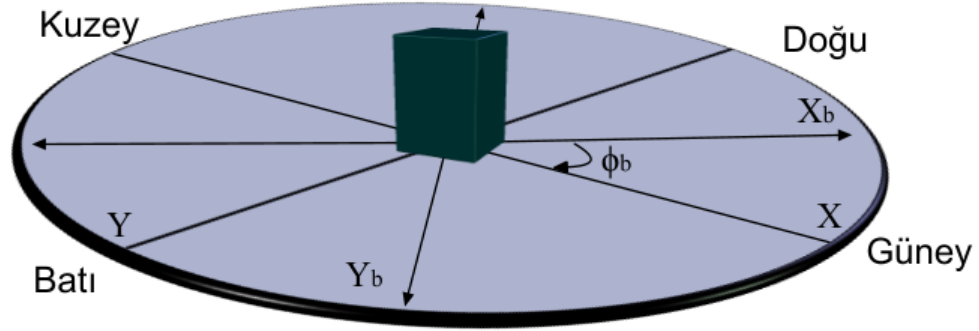
Parameterler	Standard Test Koşulları
	(1000 W/m ² , 25°C)
Maksimum Güç (P_{maks})	125 W
Maksimum Güçteki Gerilim (V_{maks})	17.40 V
Maksimum Güçteki Akım (I_{maks})	7.20 A
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	8.10 A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	22.0
Modül Verimi (%)	12.3
Diyotlar	2 Schottky Bypass diyot
Modül Boyutları	1510x674x50 mm

Kısmi gölgeleme çalışmalarında gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesi gölgelemeye neden olacak fiziksel parametrelerin simulasyon ortamına tam olarak aktarılması ile gerçekleştirilecektir. Cismin gölgesinin uzunluğu çalışmak istediğimiz bölgenin koordinatlarına (enlem ve boylam) ve güneşin zamana bağlı hareketine göre değişecektir. Güneşin zamana bağlı konumunu veren ifadeler güneşin güney eksenle yaptığı açı (azimut açısı) ve yere düşen ışınımın yatay yüzeyle yaptığı açı (altitude açısı) ile belirlenir. Açısal parametrelerle gölgeleme oluşturularak PV sistemin zamana bağlı gölgelemesi modellenirken, elektriksel olarak bypass diyot etkisi PV sisteme dahil edilerek çıkış enerjisi hesaplanır. Elektriksel etkiyi simulasyon ortamında gözlemlenmesi için yeni bir kısmi gölgeleme modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışmasında yeni bir gölgeleme modeli önerilmiş ve bu model ile yeni bir kısmi gölgeleme metodu geliştirilmiştir. Önerilen model örnekleme tabanlı sentez metodu ile cismin gölgesini yüzeyel olarak değil noktasal olarak belirleyerek kısmi gölgeleme

analizlerini yapmayı sağlamaktadır. Geliştirilen kısmi gölgeleme modeli, çeşitli fiziksel değişkenler içerdiğinden detaylı formülasyonlar içermektedirler. Bu bölümde fiziksel yapı detaylı olarak incelenecektir.

3.2.1. Koordinat sistemleri

Gerçek sistemlerdeki gölgelenmeyi simulasyon ortamında modellerken ilk olarak cisimlerin yerleşimlerine bağlı farklı koordinat sistemlerinden bahsedeceğiz. Gölgeleme yapacak cisimler ve PV sistem olmak üzere iki koordinat sistemi kullanılmıştır. Bu koordinat sistemleri referans yani yeryüzü koordinat sistemine göre birbirlerinden ayrılacaktır. Referans koordinat sistemi ile yeni koordinat sistemleri arasındaki farkın nedeni cisimlerin azimut açılarından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.5’de cisim ve referans koordinat sistemi arasındaki fark verilmiştir.



Şekil 3.5 Cisim ve referans yer koordinat sistemi.

Bu açısal farka bağlı olarak her bir cisim ve PV modül sistemi için, referans sistemi ile arasındaki bağıntı matris formülasyonu ile verilmiştir.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_b & -\sin \phi_b & 0 \\ \sin \phi_b & \cos \phi_b & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_m & -\sin \phi_m & 0 \\ \sin \phi_m & \cos \phi_m & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{pmatrix} \quad (20)$$

Referans koordinat sistemi (X, Y, Z) , cisim koordinat sistemi (X_b, Y_b, Z_b) ve PV modül koordinat sistemi (X_m, Y_m, Z_m) ile gösterilmiştir. ϕ_b ve ϕ_m cismin ve PV sistemin azimut açılarıdır.

3.2.2. Örnekleme tabanlı sentez metodu

Cismin PV modülleri gölgelemesi sonucu PV sistemin değişen elektriksel karakteristiği kısmi gölgeleme analizlerinde kararlı sonuçların alınmasında önemli bir etkidir. Gölgeleme etkisi dikdörtgensel cisimler için örnekleme metodu kullanılarak oluşturulmuştur. Cisim örneklenecek noktasal parçalara ayrılmış ve örnekleme işlemi aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$Z_{b(0)} = Z_0 \quad (21)$$

$$Z_{b(i)} = \sum_{i=1}^{k_z} Z_{b(i-1)} + \Delta z \quad i = 1, 2, \dots, k_z \quad (22)$$

$$k_z = \frac{Z_b}{\Delta z} + 1 \quad (23)$$

$$Y_{b(0)} = Y_0 \quad (24)$$

$$Y_{b(i)} = \sum_{i=1}^{k_y} Y_{b(i-1)} + \Delta y \quad i = 1, 2, \dots, k_y \quad (25)$$

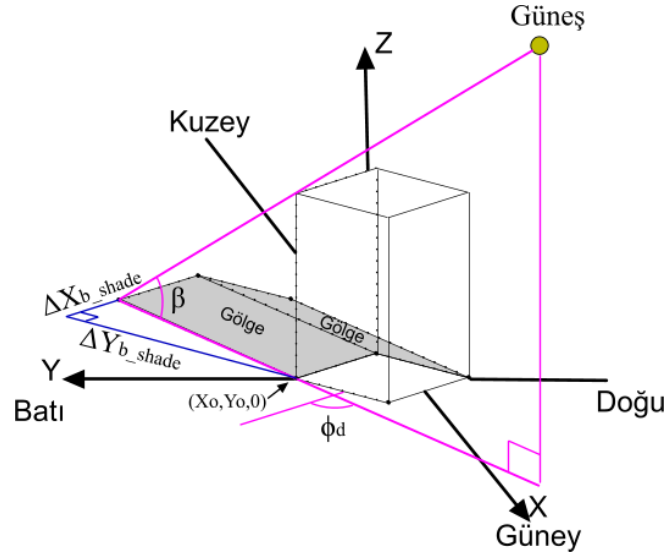
$$k_y = \frac{Y_b}{\Delta y} + 1 \quad (26)$$

$$X_{b(0)} = X_0 \quad (27)$$

$$X_{b(i)} = \sum_{i=1}^{k_x} X_{b(i-1)} + \Delta x \quad i = 1, 2, \dots, k_x \quad (28)$$

$$k_x = \frac{X_b}{\Delta x} + 1 \quad (29)$$

burada (X_0, Y_0, Z_0) cismin örnekleme başlangıç noktaları, (X_b, Y_b, Z_b) cismin boyutları, (k_x, k_y, k_z) cismin örnekleme sayıları ve $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ cismin örnekleme aralıklarıdır. Örnekleme aralıkları ne kadar dar alınırsa cismin kısmi gölgeleme analizi o kadar hassas olacaktır. Ancak örnekleme aralığının çok küçük olması bir noktadan sonra simülasyonun süresinin gereksiz uzamasına neden olacaktır. Bu nedenle uygun örnekleme aralığı cismin ve PV sistemin boyutlarına göre seçilmelidir. Cismin güneşin konumuna bağlı olarak gölge oluşumu Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Gölge alanın trigonometrik denklemlerle bulunması.

Gölge cismin örneklenmesinden kaynaklı olarak noktasal olarak belirlenmiştir. Gölgeleme yapan noktalar ile gölgelemeye neden olan cismin başlangıç noktaları arasındaki uzaklık trigonometrik denklemler ile ifade edilmiştir (Masters, 2004).

$$\Delta X_{b_shade(i)} = \sum_i^{k_z} Z_{b(i)} \cdot \cot \beta \cdot \cos \phi_d \quad i = 1, 2, \dots, k_z \quad (30)$$

$$\Delta Y_{b_shade(i)} = \sum_i^{k_z} Z_{b(i)} \cdot \cot \beta \cdot \sin \phi_d \quad i = 1, 2, \dots, k_z \quad (31)$$

$\phi_d = \phi_s - \phi_b$ güneş ile cismin azimut açıları farkı ve β güneşin altitüde açısıdır. Gölge noktalarının koordinatları cismin başlangıç noktası ile trigonometrik denklemlerle bulunan ΔX_{b_shade} ve ΔY_{b_shade} değerleri arasındaki fark ile ifade edilir.

$$(X_{b_shade(i)} \ Y_{b_shade(i)} \ 0) = (X_o \ Y_o \ 0) - (\Delta X_{b_shade(i)} \ \Delta Y_{b_shade(i)} \ 0) \quad i = 1, 2, \dots, k_z \quad (32)$$

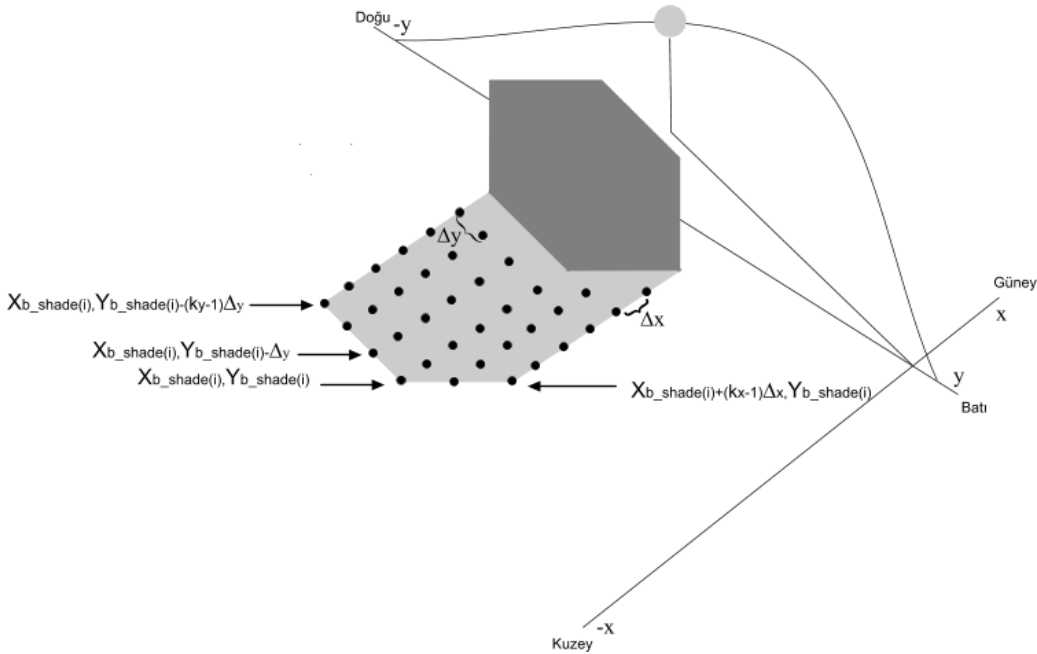
Cismin yüksekliğini veren Z koordinat sisteminde ilk örnekleme noktası zeminde olduğundan dolayı Z_0 noktası sıfır olarak alınmıştır.

Gölgeleme yapılırken çalışmanın yapıldığı bölgenin enlem açısına göre cismin gölgelemesi belli yüzeylerde meydana gelmektedir. Kuzey yarı küre yengeç dönencesi dışında cismin kuzey yüzeyi ile öğleden önceki saatlerde batı, öğleden sonradaki saatlerde doğu yüzeyi gölgelemeye neden olacaktır. Yüzeyler zamana bağlı olarak matris formülasyonu ile verilmişlerdir. Cismin kuzey yüzeyi genel olarak her saatte gölgeleme yapacaktır ve bu ilişki aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\begin{pmatrix} X_{b_shade(i,j)} \\ Y_{b_shade(i,j)} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{k_y} \sum_{i=1}^{k_z} X_{b_shade(i)} \\ \sum_{j=1}^{k_y} \sum_{i=1}^{k_z} Y_{b_shade(i)} - \Delta y \cdot (j-1) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (33)$$

Cismin kuzey yüzünün yaptığı gölgelemede gölge noktalarının X eksenine bağlı koordinat değerleri için bir değişim bulunmamaktadır. Ancak, gölgenin Y eksenindeki koordinat değerleri Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterildiği gibi bir sonraki örnekleme hattına geçerken Δy örnekleme aralığı kadar kayarlar.

Cismin batı yüzeyi güneşin direk ışınımını sadece öğleden önceki saatlerde almadığı için, gölgelemeyi sadece sabah saatlerinde gerçekleştirecektir. Bu nedenle sabah saatlerinde cismin batı ve kuzey yüzeyleri gölgelenmeye sebep olduklarından dolayı gölgeleme noktaları iki bu yüzey birlikte alınarak hesap edilir. Sabah saatleri için cismin gölgelemesi Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Batı yüzeyi için gölge koordinatları aşağıdaki matris gösterimi kullanarak hesaplanmıştır.

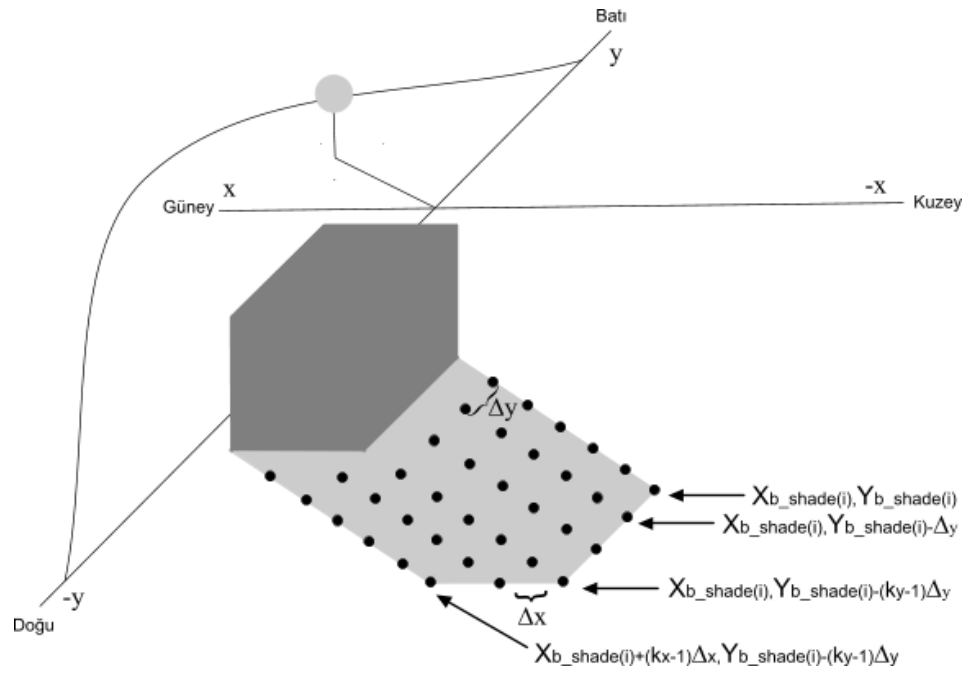


Şekil 3.7 Öğleden önceki örneklemiş gölgeleme noktaları.

Öğleden sonra güneş doğudan batıya doğru hareket ettiğinden gölge de bu harekete göre yönünü değiştirecektir. Bu nedenle, gölge de güneşin tam tersi yönünde batıdan doğuya doğru hareket etmektedir. Şekil 3.8’de öğleden sonrası

saatlerde cismin gölgelemesi gösterilmiştir. Doğu yüzeyinin gölgelemesi için gölgeleme koordinatları aşağıdaki matris gösterimi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\begin{pmatrix} X_{b_shade_westside(i,j)} \\ Y_{b_shade_westside(i,j)} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{k_x} \sum_{i=1}^{k_z} X_{b_shade(i)} + \Delta x \cdot (j-1) \\ \sum_{j=1}^{k_x} \sum_{i=1}^{k_z} Y_{b_shade(i)} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (34)$$



Şekil 3.8 Öğleden sonraki örneklenmiş gölgeleme noktaları.

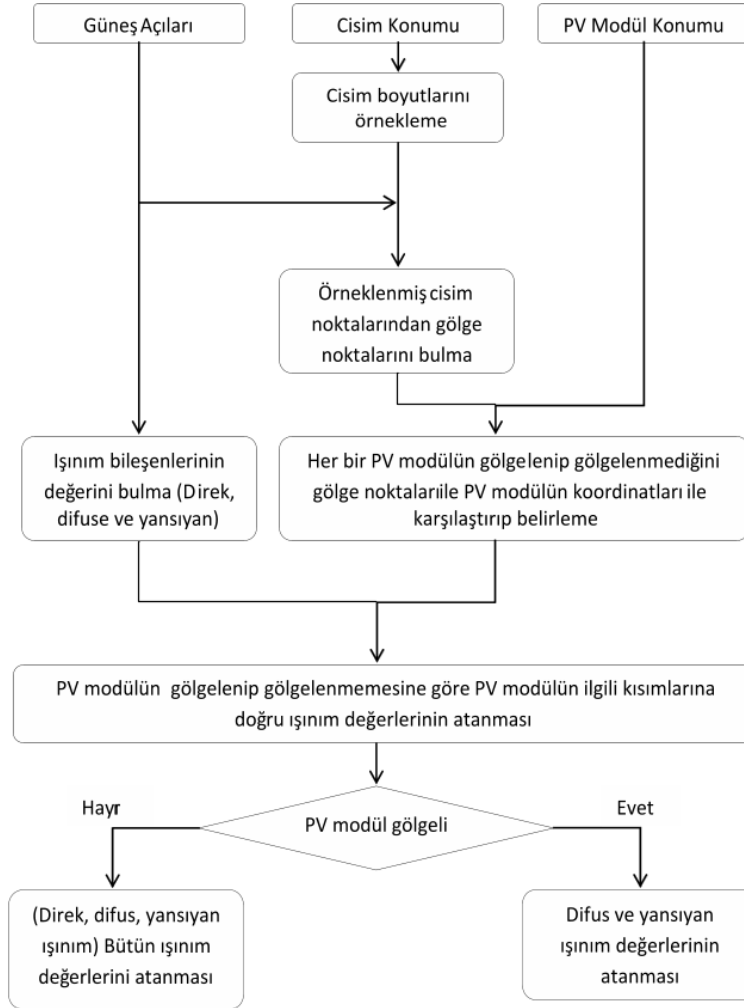
$$\begin{pmatrix} X_{b_shade_eastside(i,j)} \\ Y_{b_shade_eastside(i,j)} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{k_x} \sum_{i=1}^{k_z} X_{b_shade(i)} + \Delta x \cdot (j-1) \\ \sum_{j=1}^{k_x} \sum_{i=1}^{k_z} Y_{b_shade(i)} - \Delta y \cdot (k_y - 1) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (35)$$

Öğleden önceki saatlerde gölgeleme batı ve kuzey yüzeyi kullanılarak hesaplanırken, öğleden sonraki saatlerde ise gölgeleme noktaları kuzey ve doğu yüzeyi birlikte kullanılarak hesaplanırlar. Gölgeleme noktaları belirlendikten sonra gölge noktaları cisim koordinat sisteminden referans koordinat sistemine

aktarılarak gölgeleme noktalarının referans üzerindeki koordinat değerleri bulunur. Daha sonrasında eğer PV sistemin azimut açısı sıfırdan farklı ise denklem 2'nin tersi alınarak gölgeleme noktaları modül koordinat sisteminde ifade edilir.

3.2.3. PV modül yüzeyinde gölgeleme

Gölgeleme örnekleme metodu kullanılarak modül koordinat ekseninde cismin gölgesi noktasal olarak belirlendikten sonra PV modüllerin gölgeleme maruz kalıp kalmadığı belirlenerek ışınım PV modüllere doğru ışınım atamaları yapılması gerekmektedir. Her modülün bypass diyottan ayrıldığı kısımdan itibaren koordinatları belirlenerek gölge koordinatları ile karşılaştırma yapılır. Kısmi gölgeleme modelinin çalışma prensibi adım adım Şekil 3.9'da akış diyagramı ile verilmiştir.

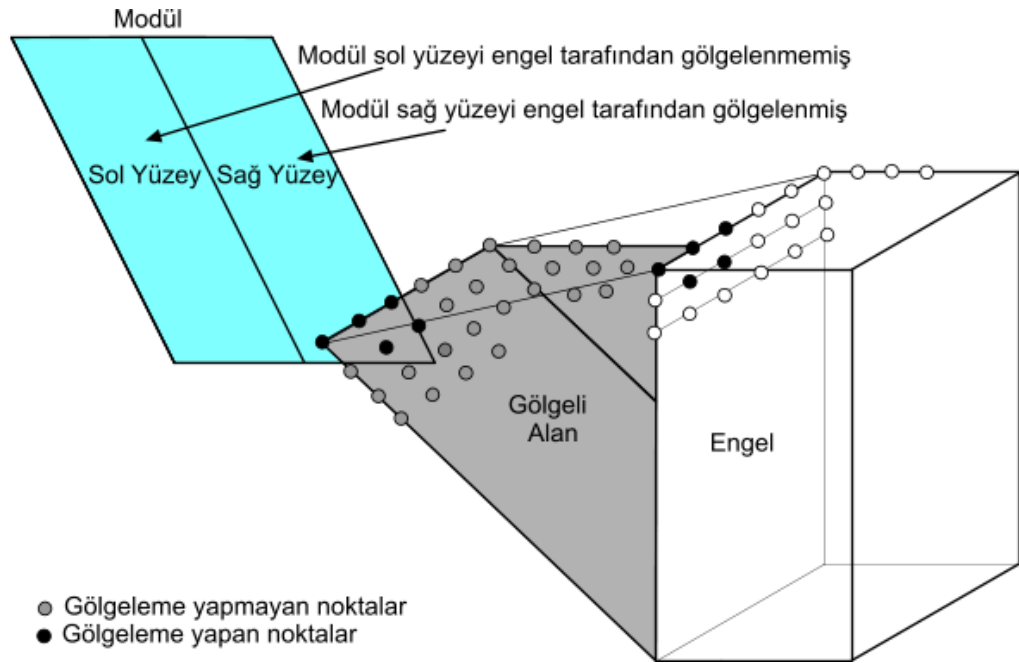


Şekil 3.9 PV modül kısmi gölgeleme modeli.

PV modüllerin gölgelenip gölgelenmediği cismin noktasal gölge koordinatları ile PV modülün yerleşim koordinatları karşılaştırılarak yapılmaktadır.

Gölgeleme analizinin yapılması için ilk adım olarak kurulum bölgesinin enlem açısına göre güneşin konumunu veren azimut ve altitude açıları zamana bağlı olarak hesaplanır. Bu açılar kullanılarak o bölgedeki ışınım hesabı matematiksel formüller ile hesap edilir (ASHRAE, 1993). Daha sonrasında cisim gölgesi önerilen örnekleme metodu ile modül koordinat sisteminde noktasal olarak tanımlanır. Gölge nokta koordinatları denklem 33 ve 34 ile kuzey ve batı yönü için denklem 33 ve 35 ile kuzey ve doğu yönleri için hesaplanır. Gölge koordinatları belirlendikten sonra her gölge noktası PV modülün bypass diyot ile ayrılmış kısımlarının koordinat değerleri ile karşılaştırılarak PV modülün gölgelenip gölgelenmediğine karar verilir. Şekil 3.10'da PV modülün gölgelenmesi örnekleme tabanlı metoda göre temsil edilmiştir.

Eğer PV modül üzerinde gölgelenme belirlenirse, difüz ve yansıyan ışınım değerleri gölgeli modül kısmına atanır.



Şekil 3.10 PV modülü çevreleyen cisimlerin örnekleme tabanlı gölgelemesi.

3.3. CDER Laboratuvarlarındaki Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde önerilen algoritmanın doğruluğu Alger, Cezayir'de kurulu bulunan Centre Des Energies Renouvelables (CDER)'de uygulanmıştır. PV modüller ve PV modülü çevreleyen gölgeleyen ağaçlar Şekil 3.11'de ve kurulu bölgede bulunan PV modülün parametreleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

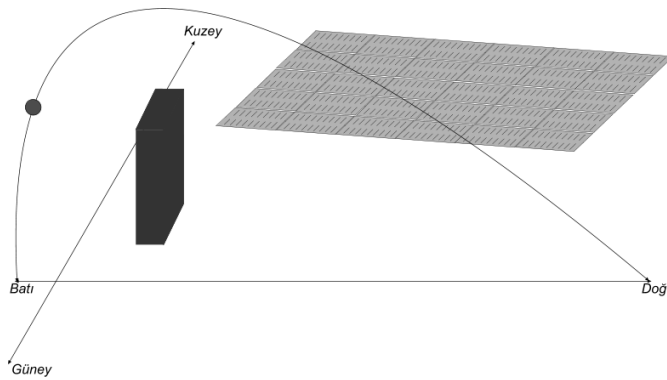


Şekil 3.11 CDER'deki PV sistem.

Çizelge 3.2 CDER'deki PV modülün elektriksel karakteristiği

Parametreler	Standart Test Koşulu (1000 W/m ² , 25°C)
Maksimum Güç (P_{maks})	106 W
Maksimum Güçteki Gerilim (V_{maks})	17.40 V
Maksimum Güçteki Akım (I_{maks})	6.1 A
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	6.54 A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	21.6
Modül Verimi (%)	12.4
Diyot Sayısı	2 Schottky Bypass diyot
Modül Boyutları	1308x652x34 mm

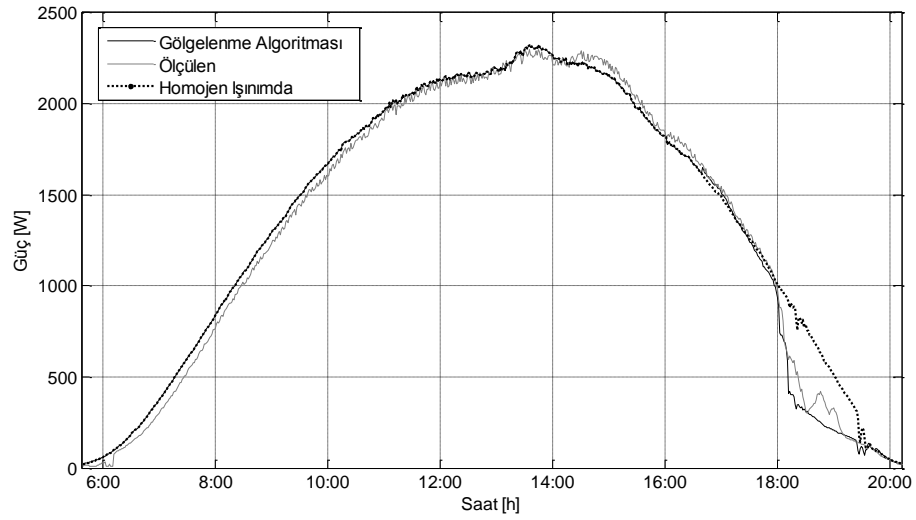
Işınım ve sıcaklık CDER'deki monitörleme sistemi yardımıyla elde edilmiş ve simülasyonlarda kullanılmıştır (Chouder et al., 2013). Ağaçların buldukları konuma göre, PV santrali ve ağaçlar sanal gerçeklik simülasyonunda Şekil 3.12'deki gibi modellenmiştir.



Şekil 3.12 CDER'deki PV sistemin simülasyon ortamında modellenmesi.

Geometrik olmayan ağaç formunu simülasyon ortamında modellemek mümkün olmadığından, ağaç boyutlarında bu forma en yakın olacak şekilde dikdörtgensel cisim kullanılarak modelleme gerçekleştirilmiştir. Bu modellemede PV modülün bypass diyot tabanlı olarak sağ ve sol olmak üzere ikiye ayrılması

modelin oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. Çünkü ağaç gibi geometrik olmayan bir cisim düşünüldüğünde ağacın dikdörtgensel modelleme dışına çıkabilecek uzantıları PV modül üzerinde hesaplanmayan gölgelenmelere neden olabilir. Bu nedenle PV modülün bypass diyot tabanlı modellenmesi sayesinde, PV modülün sağ ve sol yüzeylerinde gölgelenme alanının büyüklüğü çıkış akım ve gerilim değerlerinde farklılığa neden olmayacaktır. Ağacın bulunduğu bölge PV sistemin batısında bulunduğundan dolayı gölgelenmenin öğleden sonraki saatlerde olması beklenmektedir. PV sistemin anlık güç ölçümleri ve simulasyon ortamında kısmi gölgeleme tabanlı model ile homojen ışınım tabanlı PV modelin hesaplanan anlık güç değerleri zamana bağlı olarak Şekil 3.13’de verilmiştir. Şekil 3.13’de görüldüğü üzere gölgelenme gerçek sistemde olduğu gibi aynı saatte başlamakta (18:00) ve aynı saatte son (19:00) bulmaktadır. Bu sonuçlar altında trigonometrik denklemler ile kurulan kısmi gölgelenme algoritması kısmi gölgelenme etkisini yüksek doğrulukta gerçeklemektedir.



Şekil 3.13 CDER’deki PV sistemde ölçümü alınan verilerle simulasyon verilerinin karşılaştırılması

3.4. Kısmi Gölgeleme Etkisi Altında Performans Analizi

Bu tez çalışmasında, çalışma senaryosu olarak aynı boyutlarda ve aynı fiziksel koşullar altında kurulmuş PV sistem İstanbul, İzmir ve Antalya olmak üzere üç farklı şehirde yıl içerisinde kısmi gölgelenme etkisi altında incelenmiştir. Burada, üç farklı şehirde aynı fiziksel kurulumu yapılarak, kurulumun yapıldığı enlem açılarının değerlerine göre PV sistem üzerindeki kısmi gölgelenme etkisindeki farkların karşılaştırılması hedeflenmiştir.

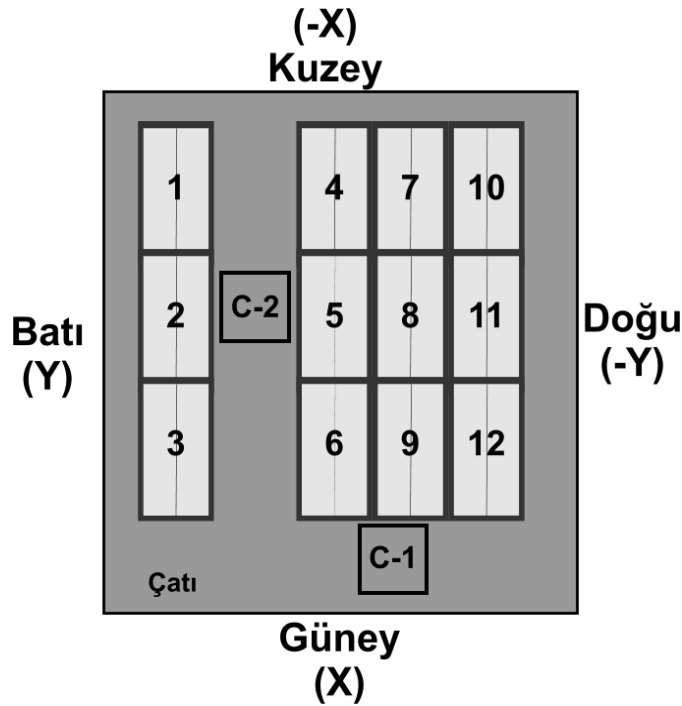
PV sistemlerden maksimum güç üretimi elde etmek için, PV sistem çıkışında MPPT algoritmaları kullanılmaktadır. MPPT algoritmalarının amacı PV sistemin çıkışında akım ve gerilim değerlerini değiştirerek, PV sistemi maksimum güç değerinde çalışmaya zorlamaktır. Geleneksel MPPT algoritmaları yerel ve global maksimum güç noktaları arasındaki farkı ayırt

edemeyebilmektedirler. Bu durum PV sistemin üretmesi tahmin edilen güç değerinde beklenen bir farkın oluşmasına neden olur. Bu nedenle, MPPT algoritmasının verimi bu tür kısmi gölgelenmiş PV sistemlerin çalışmasında göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada kısmi gölgeleme etkisi üç bölüme ayrılmıştır. İlk olarak kısmi gölgeleme etkisi yıl içerisinde iki belirgin gün için incelenmiştir (21 haziran ve 21 aralık, İzmir). İkinci olarak, MPPT verimi yerel ve global güç olarak iki farklı çalışma noktasının kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Son olarak ise sistem verimleri Türkiye'deki üç farklı şehirde yıllık analizler yapılarak incelenmiştir.

3.4.1. PV modül boyutları ve kurulumu

Her bir şehirde, PV sistemi çevreleyen cisimler ve PV sistem kurulum parametreleri aynı alınarak kısmi gölgeleme etkisi incelenmiştir. PV modüller ve bacaların konumları Şekil 3.14'de verilmiştir. Şekil 3.14'de görüldüğü gibi iki baca 3x4'lük PV sistemin yanında olacak şekilde yerleştirilmiştir.

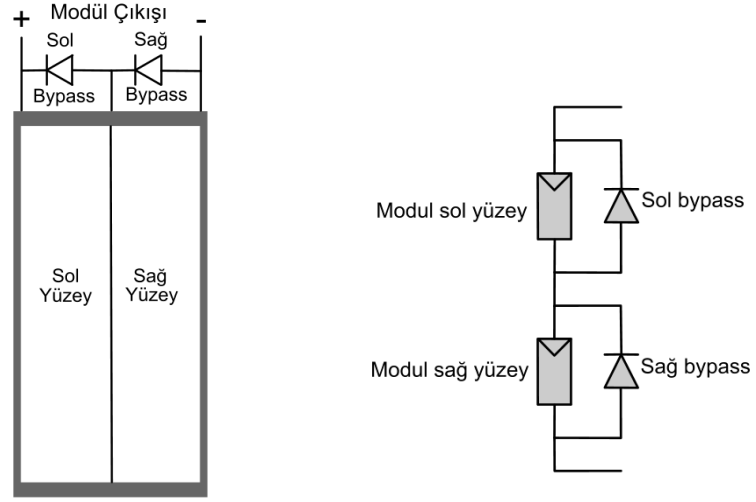


Şekil 3.14 Baca (750x750x2000mm), PV modül (1510x674x50mm) yerleşimi.

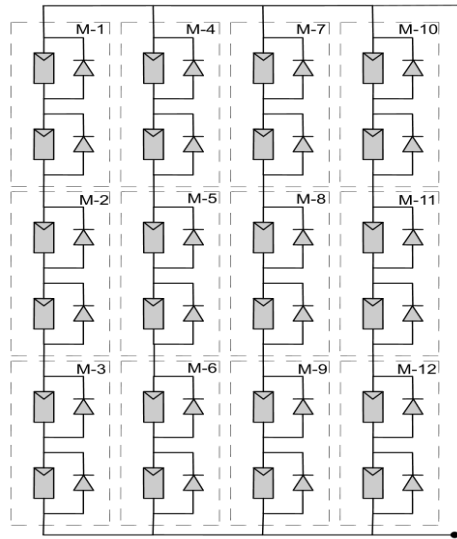
PV modül piyasada bulunan BP 3125J modülüne göre modellenmiştir. Her bir PV modül iki bypass diyot içermektedir. PV modül ve PV sistem Şekil 3.15'de verilmiştir. Her bir PV modül numaralandırılmış ve her bir PV modül sağ ve sol kısım olacak şekilde isimlendirilmiştir.

(a)

(b)



(c)



Şekil 3.15 a) 2 bypass diyotlu PV modül fiziksel yapısı, b) 2 bypass diyotlu PV modülün

elektirksel yapısı, c) 3x4 seri-paralel bağlı PV sistemin elektrikselle bağlantısı.

3.4.2. Gölge PV modüllerin belirlenmesi

Bu bölümde kısmi gölgelenme analizi İzmir (enlem=38°) için gözlenmiştir. PV modüller üzerinde gölgelenme etkisi yarım saatlik örnekleme ile 21 Haziran ve 21 Aralık günleri için analiz edilmiştir. Bu günler için güneşin gökyüzünde görünme süreleri farklılık göstermektedir. İzmir'in güneş görme süresi 21 Haziran'da (yaz dönemi) 21 Aralık'a (kış dönemi) göre daha uzundur. Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'de bu iki gün için PV modüllerin bypass diyot ile ayrılmış yüzeylerin güneşin zamana bağlı hareketine göre gölgelenmesi verilmiştir.

Çizelge 3.3 21 Haziran saatlik gölgelenen modül yüzeyleri

21 Haziran					
Saat	PV Sol	PV Sağ	Saat	PV Sol Yüzey	PV Sağ Yüzey
t = 5:00	2,3	2,3	t = 12:30	4,5,9	6,9
t = 5:30	2,3	2,3	t = 13:00	4,5,9,12	4,5,9
t = 6:00	2,3	2,3	t = 13:30	5,8,9,12	5,9,12
t = 6:30	2,3	2,3	t = 14:00	5,8,12	5,9,12
t = 7:00	2,3	2,3	t = 14:30	5,8,12	5,8,12
t = 7:30	2,3	2	t = 15:00	5,8,11	5,8
t = 8:00	2	2	t = 15:30	5,8,11	5,8,11
t = 8:30	2	2	t = 16:00	5,8,11,12	5,8,11,12
t = 9:00	2	2	t = 16:30	5,8,9,11,12	5,6,8,9,11,12
t = 9:30	2,6	2,3	t = 17:00	5,8,9,11,12	5,6,8,9,11,12
t = 10:00	2,6	2,6	t = 17:30	5,6,8,9,11,12	5,6,8,9,11,12
t = 10:30	2,6,9	2,6	t = 18:00	5,6,8,9,11,12	5,6,8,9,11,12
t = 11:00	1,2,6,9	1,2,6	t = 18:30	5,6,8,9,11,12	5,6,8,9,12
t = 11:30	6,9	1,2,6,9	t = 19:00	5,6,8,9,12	5,6,8,9,12
t = 12:00	9	6,9	---	---	---

Örneğin Çizelge 3.4'de 21 Aralık'da sabah saatlerinde 1, 2, 3, 6 ve 9 numaralı PV modüller kısmi gölgelenme etkisi altında kalmaktadır. Zaman içerisinde cismin gölgesi batıdan doğuya doğru hareket etmektedir. Bu nedenle, zamana bağlı olarak modüllerin gölgelenmeleri değişmektedir.

Çizelge 3.4 21 Aralık saatlik gölgelenen modül yüzeyleri

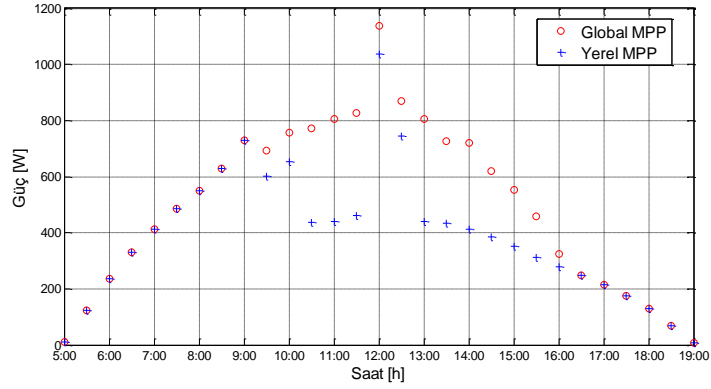
21 Aralık					
Saat	PV Sol	PV Sağ	Saat	PV Sol Yüzey	PV Sağ Yüzey
t = 7:30	1,2,3,6	1,2,3,6	t = 12:30	4,5,7,8,9,10,11,12	4,6,7,8,9
t = 8:00	1,2,3,6,9	1,2,3,6	t = 13:00	4,5,7,8,9,10,11,12	4,5,6,8,9,10,11,12
t = 8:30	1,2,3,6,9	1,2,3,6	t = 13:30	4,5,7,9,11,12	4,5,6,7,8,10,11,12
t = 9:00	1,2,3,6,9	1,2,3,6	t = 14:00	4,5,7,8,9,10,11,12	4,5,6,7,9,10,11,12
t = 9:30	1,2,3,6,9	1,2,3,6	t = 14:30	4,5,7,8,9,10,12	4,5,6,7,9,10,11,12
t = 10:00	1,2,5,6,9	1,2,3,6	t = 15:00	4,5,7,8,9,10,12	4,5,7,8,9,10,12
t = 10:30	1,2,5,6,9	1,2,5,6,9	t = 15:30	4,5,7,8,9,10,11,12	4,5,7,8,9,10,12
t = 11:00	1,2,4,5,6,9	1,2,5,6,9	t = 16:00	4,5,7,8,9,10,11,12	4,5,7,8,9,10,11,12
t = 11:30	1,4,5,6,8,9	1,2,4,5,6,9	t = 16:30	4,5,7,8,9,10,11,12	4,5,7,8,9,10,11,12
t = 12:00	7,8,9	4,5,6,7,8,9	---	---	---

PV modüller ve bacalar kurulum alanındaki yerleşimlerine göre örnekleme alınan her yarım saatte bu iki gün için gölgelenmeye maruz kalmışlardır. Bu demektir ki bu yerleşim planına göre PV modüller çatıda günün her saatinde gölgelenme etkisi altında kalmaktadırlar. Aynı zamanda tablolarda gözlemlendiği gibi 21 aralıkta aynı saatte gölgelenen PV modül sayısı, 21 haziranda aynı saatte gölgelenen PV modül sayılarından daha fazladır. Bu nedenle kış aylarında PV sistem üzerinde kısmi gölgelenme etkisi daha fazla gözlemlenmektedir. Yaz

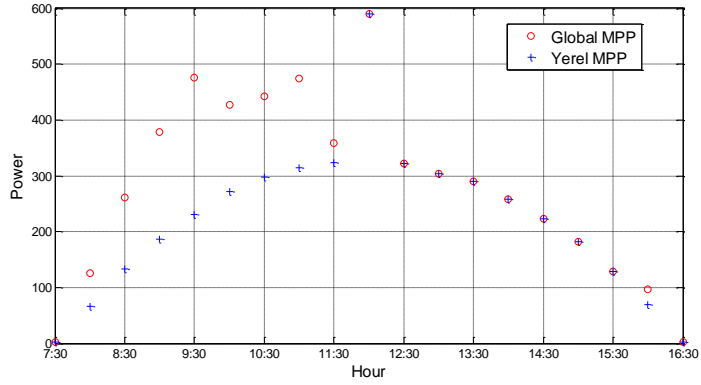
aylarında ise gölgelenen PV modüller daha az olmasına rağmen gün uzunluğu fazla olduğundan gün içerisinde daha uzun süre kısmi gölgelenme etkisi PV sistem üzerinde görülmektedir.

3.4.3. Global ve yerel maksimum güç noktaları

Bu tez çalışmasında global ve yerel maksimum güç noktaları kısmi gölgelenme etkisi altındaki PV sistem performansının belirlenmesinde göz önüne alınmıştır. Yerel ve global maksimum değerler Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'de İzmir'de 21 Haziran ve 21 Aralık günleri için verilmiştir.

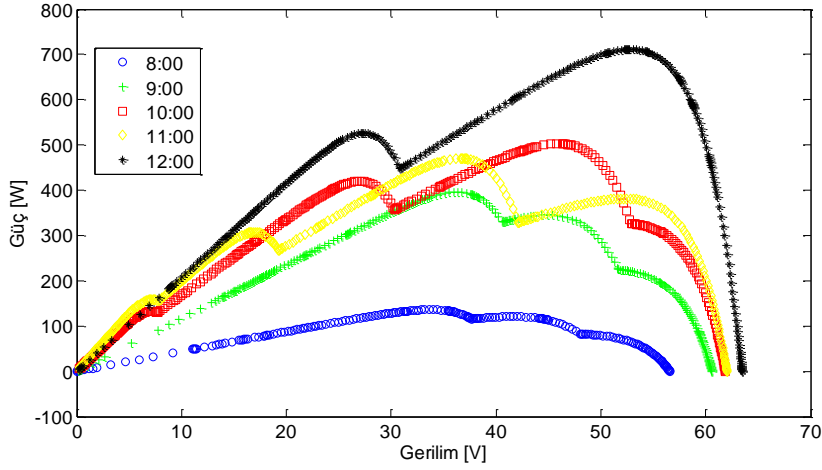


Şekil 3.16 İzmir'de 21 Haziran saatlik yerel ve global maksimum güç noktaları.

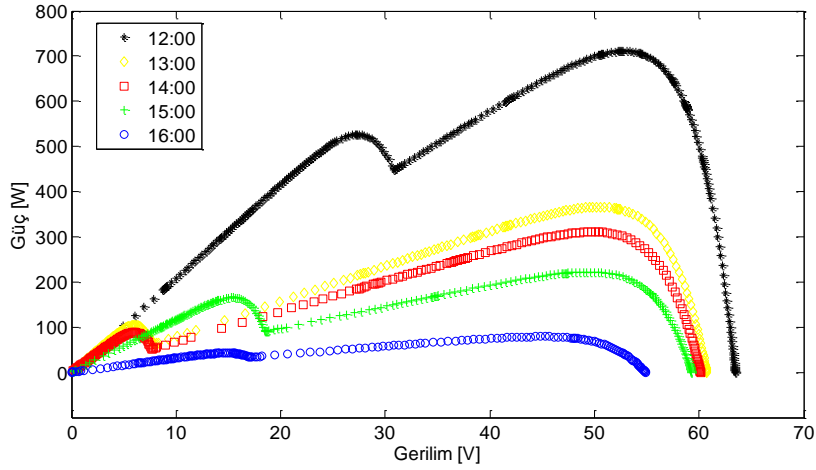


Şekil 3.17 İzmir'de 21 Aralık saatlik yerel ve global maksimum güç noktaları

Kısmi gölgelenme altında sistemin P-V (güç-gerilim) eğrisinde bir çok tepe noktası oluşmaktadır. Çoklu tepe durumunun anlaşılmasını kolaylaştırmak için 21 Aralık tarihinde sabah ve öğle saatleri için P-V eğrileri Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da verilmiştir. PV sistemin P-V karakteristiği gün içinde gölgelenen PV modüllerin yerlerine ve gölgelenen PV modül sayısına bağlı olarak değişmektedirler.



Şekil 3.18 İzmir'de 21 Aralık'da sabah saatlik P-V grafikleri.

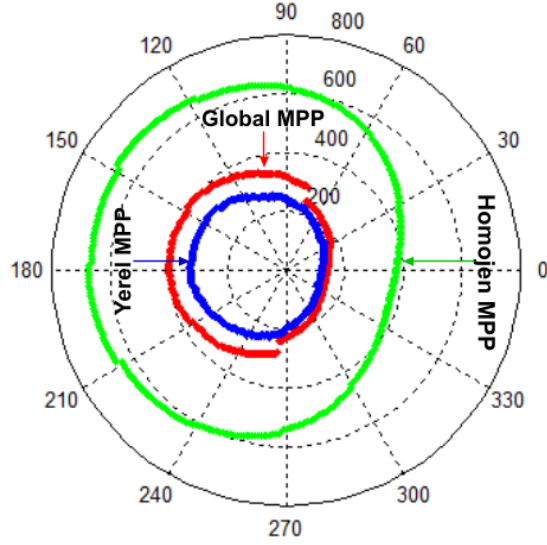


Şekil 3.19 İzmir'de 21 Aralık'da öğleden sonra saatlik P-V grafikleri.

Bazı saatlerde, global MPP noktası açık devre gerilimine yakın olana tepe değeri olduğundan MPPT algoritması maksimum güç değerini yakalayabilmektedir. Ancak, genel olarak, algoritma global MPP noktasını değil yerel MPP noktasına yakalanmıştır. Bu yüzden, BIPV sistemlerde beklenen güç değeri ile gerçek ölçülen güç değeri arasında farklar oluşmaktadır.

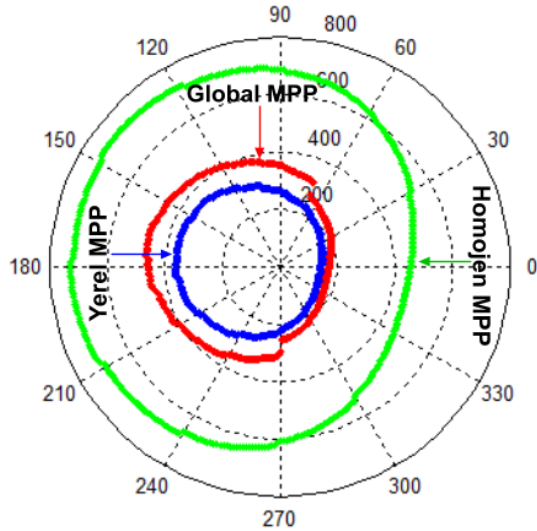
3.4.4. Farklı şehirlerde yıllık güç üretimi

Bu bölümde, üç farklı şehirde PV sistem performansları aynı kısmi gölgeleme etkisi altında incelenerek, global ve yerel maksimum güç noktaları hesap edilmiş ve üç şehir arasında karşılaştırma yapılmıştır. Günlük ortalama yerel ve global güç değerleri kısmi gölgeleme etkisi altında üç şehir için (İstanbul, İzmir, Antalya) Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de verilmiştir.

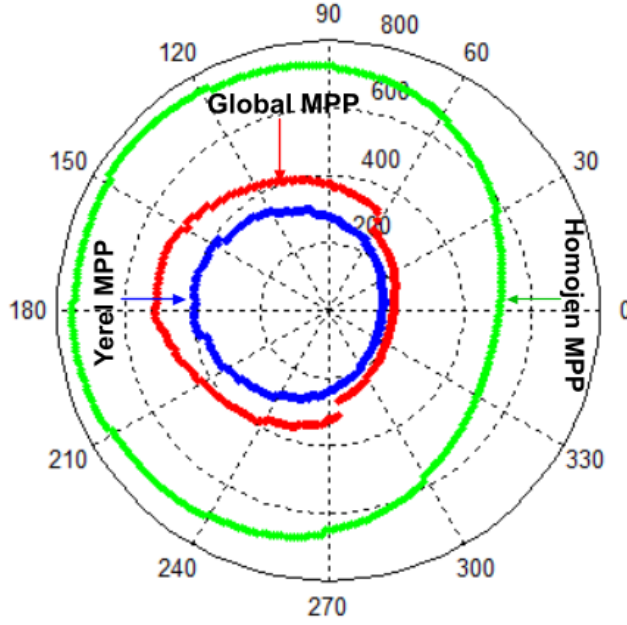


Şekil 3.20 İstanbul günlük üretilen ortalama enerji değerleri.

Sistemden gün içerisinde gölgeleme etkisi olmadan homojen ışınım altında PV modüllerden maksimum elde edilebilecek ortalama enerji değeri de bu grafiklerde sunulmuştur. PV sistemin bir yıllık süre içerisinde gölgeleme etkisi altında kalmadan ürettiği enerjiye homojen ışınım etkisi altındaki PV sistemin ürettiği enerji olarak tanımlanmıştır. Bu durumda üretilmesi beklenen yıllık enerji değeri 2772 kWh, 3074 kWh ve 3241 kWh şeklinde sırasıyla İstanbul, İzmir ve Antalya için hesaplanmıştır. Elde edilen her bir enerji türü kısmı gölgeleme etkisi altında yerel ve global enerji olmak üzere Çizelge 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.21 İzmir günlük üretilen ortalama enerji değerleri.



Şekil 3.22 Antalya günlük üretilen ortalama enerji değerleri

Bu durumda daha kuzeyde bulunan şehirlerde enerji üretimi güney bölgede bulunan şehirlerdeki enerji üretimine göre daha düşük hesaplanmıştır. Aynı zamanda kısmi gölgelenme etkisi altında yerel ve global maksimum güç noktaları arasında farklar gözlemlenmiştir. Bu hesaplamalara bağlı olarak sırasıyla üç farklı enerji verim parametresi tanımlanmıştır.

$$\eta_1 = \frac{\text{Yerel MPP'de toplam enerji}}{\text{Homojen ışınımında toplam enerji}} \quad (36)$$

$$\eta_2 = \frac{\text{Global MPP'de toplam enerji}}{\text{Homojen ışınımında toplam enerji}} \quad (37)$$

$$\eta_3 = \frac{\text{Yerel MPP'de toplam enerji}}{\text{Global MPP'de toplam enerji}} \quad (38)$$

Bu verim parametrelerine bağlı olarak PV sistemin performansı yerel ve global MPP'de elde edilen enerji miktarı ile homojen ışınım değerleri altında elde edilen enerji miktarı kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 3.6'da verilmiştir. Eğer gölgeleme yapan cisim ortamdaki kaldırılabilirse verim değerleri η_1 ve η_2 kullanılarak hesaplanır. Bu iki verim parametresi sistemden elde edilebilecek enerji miktarına göre incelenen alanda PV sistem kurulum kalitesi hakkında bize bilgi vermektedir. Diğer bir açıdan PV sistemi çevreleyen cisimler ortadan kaldırılamayacak durumda ise, maksimum elde edilebilecek enerji global MPP noktasıdır.

Çizelge 3.5 Toplam yıllık enerji

Şehirler	Yerel MPP'de toplam elde edilen yıllık enerji	Global MPP'de toplam elde edilen yıllık enerji	Gölgeleme olmadığında toplam elde edilen yıllık enerji
	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Istanbul (28:58D 41:01K)	1090	1341	2722
Izmir (27:09D 38:25K)	1215	1533	3047
Antalya (30:42D 36:53K)	1309	1664	3241

Çizelge 3.6 PV sistem verim değerleri

Şehirler	Verim [%]		
	η_1	η_2	η_3
Istanbul (28.58D 41:01K)	40	49	81
Izmir (27:09D 38:25K)	40	50	79
Antalya (30:42D 36:53K)	40	51	79

Üçüncü verim parametresi η_3 MPPT algoritmasının performansını tanımlayan bir verim parametresi olarak düşünülmelidir. Sonuç olarak, PV modüllerin ve PV modülleri çevreleyen cisimlerin konumları PV sistemin kısmi gölgeleme etkisi altındaki verimini büyük ölçüde etkilemektedir.

3.5. Sonuç

Bu çalışmada, PV sistemi çevreleyen cismin kısmi gölgeleme etkisi altındaki PV sistem verimini hesaplamaya yarayan analitik bir metot geliştirilmiştir. Önerilen metot ile PV modüllerin gölgeleme örneklenmiş gölge koordinatları ile modül koordinatlarının karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir. PV modüllerin ilgili kısımlarına, gölgeleme ve gölgeleme memelerine göre uygun ışınım değerleri atanmıştır. Böyle ışınım farkından doğan kısmi gölgeleme durumunda, bypass diyotun da etkisi analizlere dahil edilerek MPPT algoritmasının kullanımı sonucu yerel ve global maksimum güç noktalarıyla birlikte ayrıca homojen ışınım altındaki maksimum güç çıkışı hesaplanmıştır.

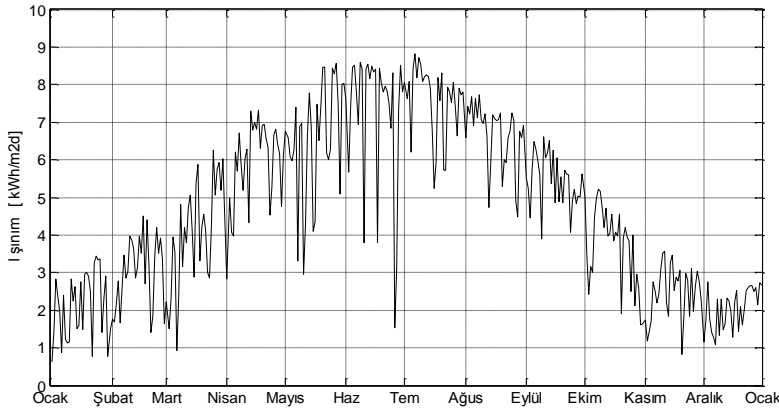
PV sistemin global, yerel ve homojen ışınım altında ürettikleri enerji değerine dayalı olarak üç verim parametresi tanımlanmıştır. Önerilen metot aynı zamanda üç farklı şehir için aynı kısmi gölgeleme etkisi altında İzmir, İstanbul ve Antalya'da uygulanmıştır. Geliştirilen bu model ile farklı bölgelerde farklı gölgeleme için gerçek zamanlı simülasyonların yapılabilmesi ve fotovoltaik sistemden elde edilecek enerjinin kısmi gölgeleme olmadan oluşabilecek doğrusal olmayan davranışlar göz önünde bulundurularak hesaplanabilmesi sağlanmıştır.

4. FARKLI BAĞLANTI ŞEKİLLERİNİN KİSMİ GÖLGELİ BIPV SİSTEMLER ÜZERİNDEKİ PERFORMANS ANALİZLERİ

Bu bölümde geliştirilen model kullanılarak farklı şehirlerde farklı bağlantı şekillerinin performansları yıllık olarak analiz edilmiştir. Her bir şehir için aynı fiziksel kurulum yapılmış ve fiziksel kurulum değiştirilmeden farklı elektriksel bağlantı şekillerinin etkisi BIPV sistem üzerinde incelenmiştir. Simülasyonlar Barcelona ve İzmir şehirleri için yıllık olarak gerçekleştirilmiştir. Ardından geliştirilen kısmi gölgeleme modeli farklı elektriksel bağlantı şekilleri için uygulanmış ve belirlenen kurulum bölgesi için en uygun bağlantı şekli araştırılmıştır.

4.1. Metodoloji

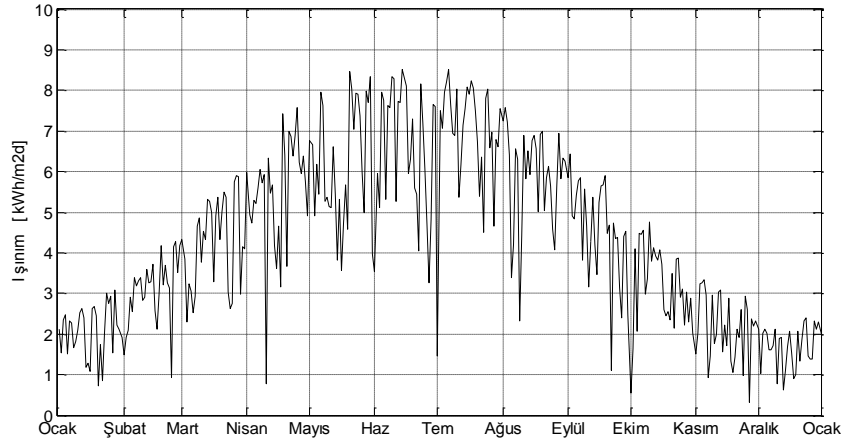
PV sistemin performansı hesaplanırken, potansiyel yıllık güneş ışınım bilgisine ihtiyaç vardır (Dekker et al., 2012). Literatürde enleme bağlı olarak ışınım değerinin hesaplanmasını sağlayan bir çok denklem sistemi bulunmaktadır (Demain et al., 2013; Liu and Jordan, 1962; Reindal et al., 1990). Genel olarak, bu modeller açık gökyüzü değerini veren denklem metodolojileridir. Ancak, bu denklemler kullanıldığı takdirde aynı enlem açısına sahip bölgelerde aynı ışınım değerleri elde edilememektedir. Oysaki ışınım değerini değiştiren o bölgeye ait farklı iklimsel koşullar da bulunmaktadır. Bu yüzden gerçek metodolojik ışınım verileri elde edilecek simülasyon sonuçlarının doğruluğu arttırılacaktır (Huld et al., 2008). Bu çalışmada METEONORM v6.1 programı kullanılarak incelenmek istenen bölgedeki ışınım verisi elde edilmiştir (METEONORM). METEONORM programı dünyadaki herhangi bir konum için saatlik olarak difuz ve global ışınım değerlerini verebilmektedir.



Şekil 4.1 İzmir ışınım profili.

Işınım değeri ayrıca PV modülün eğim açısına ve azimut bağlı olarak da farklılık göstermektedir (Santos and Rüther, 2012). Bu çalışmada azimut açısı ve eğim açısı sırasıyla 0° ve 30° olarak alınmıştır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de örnek

olarak Izmir ve Barcelona için METEONORM'dan elde edilen günlük ışınım profili verilmiştir.



Şekil 4.2 Barcelona ışınım profili.

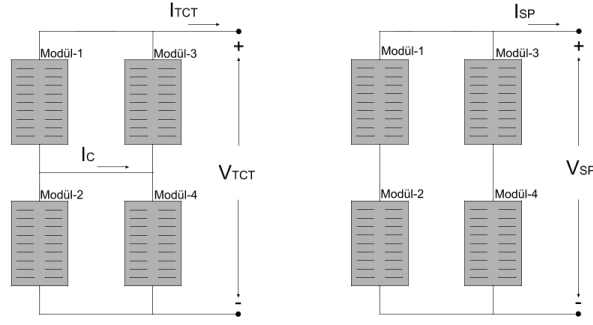
Bu çalışmada kullanılacak olan PV modül modellemesinde piyasada bulunan BP 3125J PV modül standart değerleri baz alınmıştır. PV sistemde her bir bağlantı şeklinin analizi için 24 adet PV modül kullanılmıştır. Karşılaştırmanın adil olabilmesi için aynı kurulum koşulları ve PV sistemi çevreleyen cisimlerin özellikleri her bir analiz için aynı alınmıştır. Bu çalışmanın amacı PV modüllerin yerini değiştirmeden PV sistem içinde elektriksel bağlantı şeklini değiştirerek kurulum için en uygun olan bağlantı şeklini bulup kısmi gölgeleme kayıplarını azaltmaktır. Bu nedenle 24 PV modülün fiziksel yerleşimi sabit tutulmuştur.

4.2. TCT ve SP Bağlantı Türleri

Bu bölümde TCT ve SP bağlantı türlerinin temel düzeyde elektriksel olarak PV sistemdeki etkileri sunulmuştur. TCT ve SP bağlantı şekilleri Şekil 4.3'de 2x2 PV sistem için gösterilmiştir. İki bağlantı şeklinin homojen ışınım değerleri altındaki maksimum güç noktalarında akım ve gerilim değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

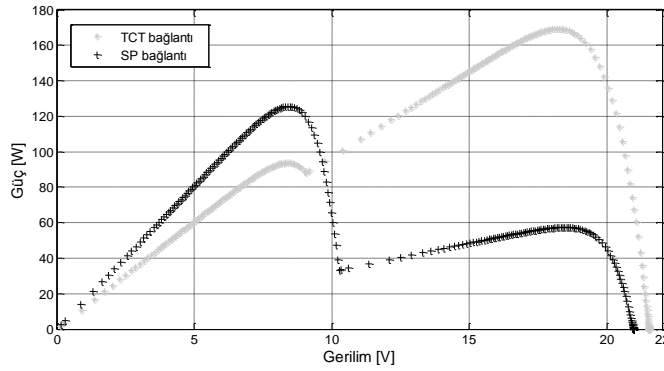
Çizelge 4.1 2x2 PV sistem SP ve TCT bağlantı için akım ve güç değerleri (4 PV modülün ışınım değerleri [W/m^2]: $G_1=1000$, $G_2=200$, $G_3=500$, $G_4=1000$)

Bağlantılar	Akım [A]				Ic	Güç [W]
	Modül-1	Modül-2	Modül-3	Modül-4		
SP	1.55	1.55	3.93	3.93	---	57
TCT	6.75	1.52	2.77	7.94	-5.22	167



Şekil 4.3 2x2 PV sistem için TCT ve SP bağlantıları.

I_C akımının değeri TCT bağlantıda ara bağlantı noktasından geçen akım değerini vermektedir. TCT bağlantısında iki paralel kol arasındaki bağlantı, fazla olan akım değeri için gölgeli modüllerin bypass diyotlar ile alternatif yolu da beraber kullanmaktadır. Şekil 4.4’de, bu iki bağlantı şekli için P-V eğrileri verilmiştir.



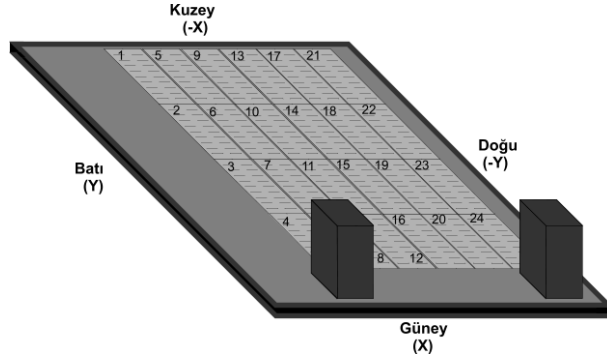
Şekil 4.4. TCT ve SP bağlantıları aynı ışınım değeri altında P-V grafikleri

TCT bağlantısında global MPP değeri açık gerilim noktasına yakın bulunurken, SP bağlantısında global maksimum noktası kısa devre geriliminin olduğu noktaya doğru kaymıştır. Bu nedenle aynı dizilim ve yerleşimde farklı bağlantı şekillerinin uygulanması PV sistemin performansında etkin bir değişime neden olmaktadır. Bu bölümde, SP ve TCT bağlantıları METEONORM v6.1 ışınım dataları kullanılarak sanal gerçeklik simülasyon ortamında PV sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir.

4.3. Çalışma Senaryosu

PV modüller yıl içerisinde farklı nedenlerle gölgelenebilirler. Ancak, kuş düşmesi veya konması, bulut, tozlanma gibi gölgelenme durumları net matematiksel formüller kullanılarak modellenenbilme imkanına sahip değildir. Ancak, PV sistem çevresinde bulunan fiziksel yapılar sanal gerçeklik simülasyonlarında modellenenbilir ve etkileri gözlemlenbilir. Bu nedenle, PV sistemi çevreleyen objeler sistem kurulumundan önce performans analizleri

yapılırken hesaba katılmalı ve kurulum mühendisleri tarafından sistem veriminin iyileştirilmesinde göz önüne alınmalıdır. Genel olarak en gözle görülür objeler PV sistemlerin çatı kurulumunda çevrelerinde bulunabilecek olan bacalardır. Bu çalışmada iki bacalı bir alan kısmi gölgeleme etkisini gözlemlemek için düşünülmüştür. PV modüllerin ve bacanın bulunduğu çalışma senaryosunun kurulumu Şekil 4.5’de verilmiştir.



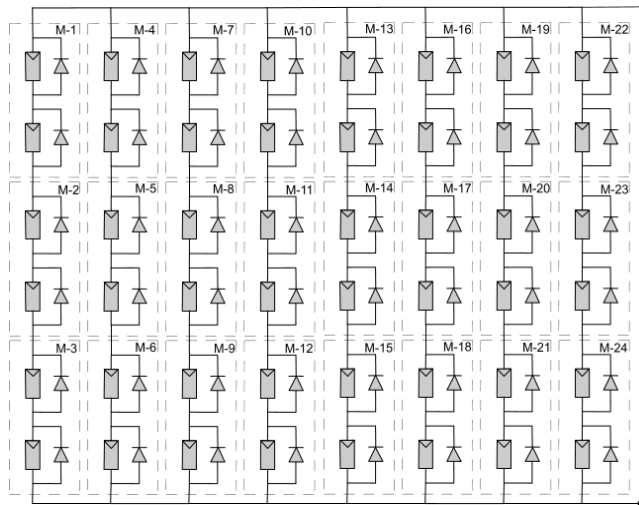
Şekil 4.5 BIPV sistemde 24 PV modülün iki bacalı çatıya kurulumu.

Bu bölümde geliştirilen metodoloji İzmir ve Barcelona’da 24 PV modüllü PV sistem için performans testleri yapılarak gerçekleştirilmiştir.

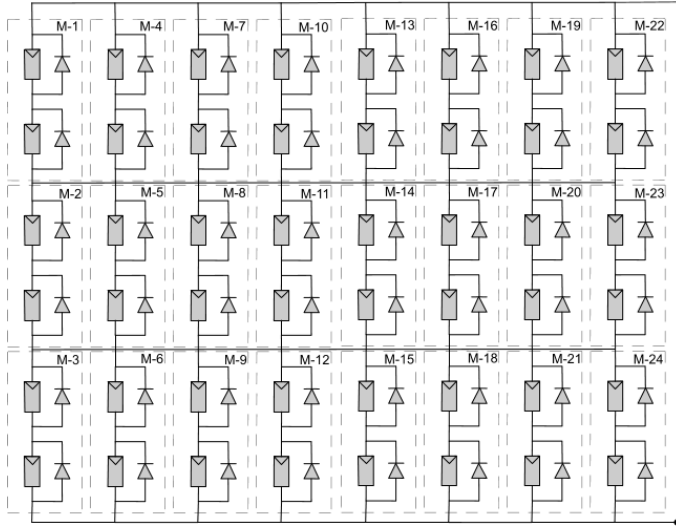
4.4. Verim Sonuçları

Bu bölümde, İzmir ve Barcelona’da aynı kısmi gölgeleme koşulları altında kurulu bulunan PV sistemin farklı elektriksel bağlantı şekilleri kullanılarak performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Şekil 4.6’da 3x6’lık ve Şekil 4.7’de 6x4’lük 24 modüllü PV sistemin SP ve TCT bağlantıları gösterilmiştir.

(a)



(b)



Şekil 4.6 PV sistemin 3x6'lık elektriksel bağlantıları. a) SP, b) TCT bağlantı.

(a)

(b)



Şekil 4.7 PV sistemin 6x4'lük elektriksel bağlantıları. a) SP, b) TCT bağlantı.

Performans analizlerinde kullanılan verim değerleri global ve yerel MPP güç değerleri ile homojen ışınım altında elde edilen güç değerleri kullanılarak

oluşturulmuştur. Tüm durumlar için elde edilen güç değerleri Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 İzmir’de her bir bağlantı modeli için yıllık enerji değerleri.

PV sistem	İzmir (27.17D, 38.42K)			
	SP		TCT	
	Yerel MPP’de toplam elde edilen yıllık enerji	Global MPP’de toplam elde edilen yıllık enerji	Yerel MPP’de toplam elde edilen yıllık enerji	Global MPP’de toplam elde edilen yıllık enerji
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
2x12	4833.9	4844.2	5065.5	5066.5
3x8	4200.2	4528.6	5280.8	5281.8
4x6	3767.9	4668.3	4097.0	4653.9
6x4	3478.9	4641.3	4851.1	4939.6
8x3	3222.7	4783.2	3808.6	4651.3
12x2	2831.3	4897.6	3497.0	4637.7

Gölgelenme olmadığında toplam elde edilen yıllık enerji 6112.9 kWh.

Homojen ışınım değerleri altındaki koşul sanki kurulu olan bölgede gölgelenme yapacak cisim yokmuş gibi düşünülerek elde edilmiştir. Düzenli ışınım altında elde edilen güç değerleri İzmir ve Barcelona için sırasıyla 6112,9 kWh ve 5712.2 kWh olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki her iki şehir içinde TCT bağlantısı SP bağlantısına göre daha fazla avantaj sağlamakta ve sadece elektriksel bağlantının değişmesi ile daha fazla enerjinin elde edilebileceğini gözlemlenmektedir. Ayrıca seri ve paralel bağlı modül sayılarında da değişiklik yapıldığında elde edilecek olan güç miktarında da belirgin farklılıklar oluşmaktadır. Farklı bağlantı şekilleri arasındaki performansın karşılaştırılması için 3 farklı verim değeri önceki bölümde verilmiştir.

Çizelge 4.3 Barcelona’da her bir bağlantı modeli için yıllık enerji değerleri.

PV sistem	Barcelona (2,17D, 41.42K)			
	SP		TCT	
	Yerel MPP’de toplam elde edilen yıllık enerji	Global MPP’de toplam elde edilen yıllık enerji	Yerel MPP’de toplam elde edilen yıllık enerji	Global MPP’de toplam elde edilen yıllık enerji
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
2x12	4528.7	4535.6	4732.6	4732.8
3x8	3989.9	4256.2	4923.7	4923.9
4x6	3646.2	4365.7	3887.5	4380.0
6x4	3510.0	4313.2	4553.8	4622.9
8x3	3406.2	4437.8	3640.6	4366.8
12x2	2777.7	4553.0	3363.2	4355.5

Gölgelenme olmadığında toplam elde edilen yıllık enerji 5712.2 kWh.

Bu çalışmada kullanılan MPPT algoritması için elde edilen üç verim değerleri Çizelge 4.4 ve 4.5’de verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü üzere

elektriksel bağlantı yapısının PV sistem performansı üzerinde aktif bir etkisi bulunmaktadır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda aynı kurulum koşulları altında TCT bağlantı seçilip ve paralel bağlı PV modül sayısı arttırılırsa PV sistemin üretebileceği enerji düzeyinde artış sağlayacaktır. Ayrıca verim değerlerine bakılacak olursa aynı kısmi gölgelenme koşulları altında Barcelona ve İzmir şehirleri arasında sistemin performansında belirgin bir fark gözlemlenmemektedir. Ancak ışınım değerlerinin farklı olmasından dolayı her iki şehirde üretilen enerji değerleri arasında farklılık bulunmaktadır.

Çizelge 4.4 İzmir’de her bir bağlantı modeli için yıllık verim değerleri [%].

PV sistem	Izmir (27.17D, 38.42K)					
	SP			TCT		
	n_1	n_2	n_3	n_1	n_2	n_3
2x12	79.07	79.24	99.78	82.86	82.88	99.98
3x8	68.71	74.08	92.74	86.38	86.40	99.98
4x6	61.63	76.36	80.71	67.02	76.12	88.03
6x4	56.91	75.92	74.95	79.35	80.81	98.20
8x3	52.71	78.24	67.37	62.30	76.08	81.88
12x2	46.31	80.11	57.81	57.20	75.86	75.40

Çizelge 4.5 Barcelona’da her bir bağlantı modeli için yıllık verim değerleri [%].

PV sistem	Barcelona (2,17D, 41.42K)					
	SP			TCT		
	n_1	n_2	n_3	n_1	n_2	n_3
2x12	79.28	79.40	99.84	82.85	82.85	99.99
3x8	69.84	74.51	93.74	86.19	86.19	99.99
4x6	63.83	76.42	83.51	68.05	76.67	88.75
6x4	61.44	75.50	81.37	79.72	80.93	98.50
8x3	59.63	77.68	76.75	63.73	76.44	83.37
12x2	48.62	79.70	61.00	58.87	76.24	77.21

4.5. Sonuç

PV modüllerin farklı bağlantı ve dizilim türleri gerçek kısmi gölgelenme koşulları altında önerilen metot kullanılarak analiz edilmiştir. Bu tez çalışmasının bu bölümünde, 24 PV modül ile oluşturulan BIPV senaryoları ışığında 2x12, 3x8, 4x6, 12x2, 8x3, 6x4 boyutlarında ve her boyut için TCT ve SP bağlantı konfigürasyonlarında performans analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, PV sistemlerin kurulum yerlerini değiştirmeden, aynı kısmi gölgeleme koşulları altında, elektriksel bağlantıları değiştirilerek kısmi gölgelenme kayıplarının azaltılabileceğini göstermektedir. Ayrıca PV sistemin kurulumdan önce en iyi elektriksel bağlantı konfigürasyonunun geliştirilen kısmi gölgelenme modellenmesi ile belirlenebileceğini göstermiştir. Bu analizler sayesinde şehir içinde kullanılacak PV sistemlerden beklenen sistem verimlerinin artırılması sağlanabilecektir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında fotovoltaik sistemlerde kısmi gölgelenme analizleri için yeni bir model geliştirilmiş ve bu model İstanbul, İzmir, Antalya, İspanya'da Barcelona ve Cezayir'de Alger olmak üzere farklı şehirlerde uygulanarak gerçek zamanlı sistem verimleri incelenmiştir. Geliştirilen kısmi gölgelenme modeli 3 boyutlu çevresel cisimlerin PV sistemin elektriksel davranışlarına olan etkilerini zamana bağlı olarak incelemeye izin vermektedir. Bu bağlamda, kısmi gölgelenmiş PV sistemlerin zamana bağlı güç analizleri yapılmış ve oluşturulan senaryolar altında yıllık enerji değerleri hesaplanmıştır. Bu enerji değerlerine göre belirlenen üç farklı verim indeksi kullanılarak PV sistemlerin buldukları şehirlere göre performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

Geliştirilen model, İstanbul, İzmir ve Antalya'da kurulduğu varsayılan bir 12 modüllü PV sistem için uygulanmış ve bölgesel değişimlerin enerji üretiminde etkili olduğu ancak karşılaştırmalarda kullanılan verim indekslerinde belirgin farklılıklar gözlemlenmemiştir. Tez çalışmasının ikinci aşamasında, geliştirilen model 24 PV modülden oluşan farklı bağlantı şekilleri ve kombinasyonları düşünülerek Barcelona ve İzmir için uygulanmıştır. Bu kombinasyonlardan TCT bağlantı genel olarak SP bağlantıya göre kısmi gölgelenme etkisini azaltma noktasında daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca Cezayir Alger şehrinde, ağaçlar tarafından gölgelenen PV sistem, geliştirilen metodoloji ile simülasyon ortamında dikdörtgen geometrik şekiller olarak modellenmiştir. Kurulum bire bir Alger'deki sistemle aynı fiziksel şartları sağlayacak şekilde kurulmuş ve bir gün için zamana bağlı analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar geliştirilen modelin yüksek doğrulukta çalıştığını ve gölgelenmeyi doğru zamanlarda yakaladığını göstermektedir.

Çatı ve binalara entegre PV sistemlerin kurulum öncesi yıllık enerji tahminlerinin yapılması çevredeki gölge oluşturabilecek cisimler nedeniyle oldukça zordur. Bypass diyotlar ve elektriksel bağlantı şekilleri gölgelenmeye göre PV sistem performansında farklı etkilerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle PV sistem kurulmadan önce mutlaka çevre koşulları da dikkate alınarak elde edilebilecek enerji tahminleri yapılmalı ve kurulacak alanın uygunluğu kısmi gölgelenme etkisi düşünülerek değerlendirilmelidir.

Kısmi gölgelenmiş PV sistemde global noktayı yakalamamızı sağlayan iyileştirilmiş bir MPPT algoritması kullanılsa bile kısmi gölgelenmeden kaynaklı enerji kayıpları kaçınılmazdır. Bu nedenle bu kayıpların önüne geçilebilmesi için bina ve şehir kurulum stratejileri geliştirilmelidir. Çünkü şehir içi BIPV sistemlerde çatılarda bulunan bacalar veya harici diğer yapılar, bunun yanında bina karşısında bulunan direkler, ağaçlar binalar bunların hepsi gölgelenmeye neden olmaktadır. Bu nedenle kurulu bir PV sistem yıl içerisinde her gün gölgelenmeye maruz kalabilmekte, bu durumlar bu kapsamda yapılan büyük yatırımların verimli kullanılamamasına neden olacaktır. Bu nedenle şehir içi PV sistemlerinin verimli kullanımının artması ve CO₂ salınımının düşmesi için mimari açıdan mutlaka yeni stratejiler geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Argul, F.J., Castro, M., Delgado, A., Carpio, J. and Peire, J.,**2003, Software modeling of grid-connected photovoltaic buildings. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 11: 255-273.
- ASHRAE.,** 1993, *Handbook of Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- BP Solar,** “ BP 3125J datasheet”, <http://powerupco.com/site/wp-content/files/Solar%20Modules/BP%20Solar/BP%203125J.pdf>, (Erişim Tarihi: 2010)
- Ching, H.L., Hsin, H.O., Shang, L.L., Pei, T.C. and Yue H.Y.,**2011, A challenging approach for renewable energy market development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 787-93
- Chouder, A., Silvestre, S., Taghezouit, B. and Karatepe, E.,** 2013, Monitoring, modeling and simulation of PV systems using LabVIEW, *Solar Energy*, 91: 337-349.
- Cucchiella, F., D’Adamo, I., Gastaldi, M., and Koh, S.C.L.,** 2012, Renewable energy options for buildings: Performance evaluations of integrated photovoltaic systems, *Energy and Building*, 55: 208-217.
- Dekker, J., Nthontho, M., Chowdhury, S. and Chowdhury, S.P.,** 2012, Investigating the effects of solar modeling using different solar irradiation data sets and sources within South Africa, *Solar Energy*, 86: 2354-2365.
- Demain, C., Journée, M. and Bertrand, C.,** 2013 Evaluation of different models to estimate the global solar radiation on inclined surfaces, *Renewable Energy*, 50: 710-721.
- Drif, M., Pérez, P.J., Aguilera, J. and Aguilar, J.D.,** 2008, New estimation method of irradiance on a partially shaded PV generator in grid-connected photovoltaic systems, *Renewable Energy*, 33: 2048-2056.
- Frondel, M., Ritter, N., Schmidt, C.M. and Vance, C.,** 2010, Economic impact from promotion of renewable energy technologies: the German experience, *Energy Policy*, 38: 4048-4056.
- Ghoddami, H. and Yazdani, A.,** 2011, A single-stage three-phase photovoltaic system with enhanced maximum power point tracking capability and increased power rating, *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol.26, no.2.
- Gracia, M.C.A, Ruiz, J.M. and Herrmann, W.,** 2006, Computer simulation of shading effects in photovoltaic arrays, *Renewable Energy*, 31, 1986-1993.
- Hagemann, I.B.,** 2004, Examples of successful architectural integration of PV: Germany, *Progress in Photovoltaic*, 12, 461-470.
- Hsieh, C.M., Chen, Y.A., Tan, H. and Lo, P.F.,** 2013, Potential for installation photovoltaic systems on vertical and horizontal building surfaces in urban areas, *Solar Energy*, 93, 312-321.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Huld, T., Sári, M. and Dunlop, E.D.**, 2008, Comparison of Potential Solar Electricity Output from Fixed-Inclined and Two-Axis Tracking Photovoltaic Modules in Europe, *Progress in Photovoltaics*, 16: 47-59.
- Hwang, T., Kang, S. and Kim, J.T.**, 2012, Optimization of the building integrated photovoltaic system in office building – Focus on the orientation, inclined angle and installed area, *Energy and Building*, 46: 92-104.
- Kadri, R., Andrei, H., Gaubert, J.P., Ivanovici, T., Champenois, G. and Andrei, P.**, 2012, Modeling of the photovoltaic cell circuit parameters for optimum connection model and real-time emulator with partial shadowing conditions, *Energy*, 42: 57-67.
- Kaldellis, J.K., Simotas, M., Zafirakis, D. and Kondili, E.**, 2009, Optimum autonomous photovoltaic solution for the Greek islands on the basis of energy pay-back analysis, *Journal of Cleaner Production*, 17: 1311-1323.
- Karatepe, E., Boztepe, M. and Çolak, M.**, 2007, Development of suitable model for characterizing photovoltaic arrays with shaded cells, *Solar Energy*, 81: 977-992.
- Karatepe, E., Syafaruddin and Hiyama, T.**, 2010, Simple and high-efficiency photovoltaic system under non-uniform operating conditions, *IET Renewable Power Generation*, 4: 354-368.
- Karatepe, E., Takashi, H., Boztepe, M. and Çolak, M.**, 2008, Voltage based power compensation system for photovoltaic generation system under partially shaded insolation conditions, *Energy Conversion & Management*, 49: 2307-2316.
- Koh, S.C.L., Cucchiella, F., Baldwin, J. and Shi, G.**, 2012, Natural resource based green supply chain management, *Supply Chain Management, International Journal*, 17: 54-67.
- Kovach, A. and Schmid, J.**, 1996, Determination of energy output losses due to shading of building-integrated photovoltaic arrays using a raytracing technique, *Solar Energy*, 2, 117-124.
- Li, D.H.W., Chow, S.K.H. and Lee E.W.M.**, 2013, An analysis of a medium size grid-connected building integrated photovoltaic (BIPV) system using measured data, *Energy and Building*, 60: 383-387.
- Liu, B. and Jordan, R.**, 1962, Daily insolation on surfaces tilted towards the equator, *ASHRAE*, 53: 526-41.
- Loulas, N.M., Karteris, M.M., Pilavachi, P.A. and Papadopoulos A.M.**, 2012, Photovoltaics in urban environment: A case study for typical apartment buildings, *Renewable Energy*, 40:453-463
- Maatallah, T., Alimi, S.E. and Nassrallah, S.B.**, 2011, Performance modeling and investigation of fixed, single and dual-axis tracking photovoltaic panel in Monastir city, Tunisia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:4053-4066.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Masters, G.M., 2004, Renewable and Efficient Electric Power Systems, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 654p.

METEONORM, “METEONORM v6.1”

<http://www.meteonorm.com/pages/en/meteonorm.php> (Erişim tarihi: 2009)

Midtgard, O.M., Saetre, T.O., Yordanov, G., Imenes A.G. and Nge C.L., 2010, A qualitative examination of performance and energy yield of photovoltaic modules in southern Norway, 35, 1266-1274.

Muñoz, J., Lorenzo, E., Moreno, F.M., Marroyo, L. and García, M., 2008, An investigation into hot-spots in two large grid-connected PV plants, Progress in Photovoltaic, 16: 693-701.

Reindal, D., Beckman, W. and Duffie, J., 1990, Evaluation of hourly tilted surface radiation models, Renewable Energy, 45: 9-17.

Reinoso, C.R.S., Milone, D.H. and Buitrago, R.H., 2010, Efficiency study of different photovoltaic plant connection schemes under dynamic shading, Hydrogen Energy, 35: 5838-5843.

Reinoso, C.R.S., Milone, D.H. and Buitrago, R.H., 2013, Simulation of photovoltaic centrals with dynamic shading, Renewable Energy, 103: 278-289.

Renaudineau, H., Houari, A., Martin, J.P., Pierfederici, S., Tabar, F.B. and Gerardin, B., 2011, A new approach in tracking maximum power under partially shaded conditions with consideration of converter losses, Solar Energy, 85, 2580-2588.

Santos, I.P. and Rütther, R., 2012, The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family, urban residences at low latitudes in Brazil, Energy and Building, 50: 290-297.

Silvestre, S., Boronat, A. and Chouder, A., 2009, Study of bypass diodes configuration on PV modules. Applied Energy, 86: 1632-1640.

Strzalka, A., Alam, N., Duminil, E., Coors, V. and Eicker, U., 2012, Large scale integration of photovoltaic in cities, Applied Energy, 93, 413-421.

Syafaruddin, Karatepe E. and Hiyama, T., 2012, Performance enhancement of photovoltaic array through string and central based MPPT system under non-uniform irradiance conditions, Energy Conversion and Management, 62, 131-140.

Villa, L.F.L., Picault, D. and Raison, B., 2012, Maximizing the power output of partially shaded photovoltaic plants through optimization of the interconnections among its modules, IEEE Journal of photovoltaics, vol.2, 154-163.

Wang, Y.J. and Hsu, P.C., 2011, An investigation on partial shading of PV modules with different connection configurations of PV cells, Energy, 36: 3069-3078.

Wang, Y.J. and Hsu, P.C., 2010, Analytical modeling of partial shading and different orientation of photovoltaic modules. IET Renewable Power Generation, 4: 272-282.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Woyte, A., Nijs, J. and Belmans, R., 2003, Partial shadowing of photovoltaic arrays with different system configurations: literature review and field test results, *Solar Energy*, 74(3): 217–233.

Yoo, S.H., 2011, Simulation for an optimal application of BIPV through parameter variation, *Solar Energy*, 2011, 85: 1291-1301.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Berk ÇELİK
Adres : Yeşil Mahalle 56 Sokak No:9 Daire:15 Gaziemir/İzmir, Türkiye
Telefon : +90 5544473312
E-mail : berkocelik@hotmail.com
Doğum Tarihi : 03/Haziran/1989

Eğitim

08/07/2011 – 01/07/2013 **Yüksek Lisans**
 Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İzmir/TÜRKİYE
 Yüksek Lisans Tezi: 3 Boyutlu Objelerin Fotovoltaik Sistemlerde Gölgeleme Etkisinin Modellenmesi ve Gerçek Zamanlı Güç Analizi

04/10/2012 – 17/05/2013 **Erasmus Programı (Yüksek Lisans Tezi Kapsamında)**
 Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Elektronik Mühendisliği, Barcelona/İSPANYA

2007 – 2011 **Lisans**
 Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İzmir/TÜRKİYE
 Lisans Tezi: Fotovoltaik Sistemin Sanal Ortamda İnteraktif Dinamik Simülasyonu ve Analog Verilerin Sanal Ortama Taşınması

2003 – 2007 **İzmir Atatürk Lisesi**
 İzmir/TÜRKİYE

Yayımlar

- Berk Çelik, Engin Karatepe, Nuri Gökmen, Santiago Silvestre, A virtual reality study of surrounding obstacle on BIPV systems for estimation of long-term performance of partially shaded PV arrays, Renewable Energy (2013), DOI: 10.1016/j.renene.2013.05.040. (Tez kapsamında yapılan yayın)
- Nuri Gökmen, Engin Karatepe, Berk Çelik, Santiago Silvestre, Simple diagnostic approach for determining of faulted PV modules in string based PV arrays, Solar Energy, Volume 86, Issue 11, November 2012, pp. 3364-3377.
- Nuri Gökmen, Engin Karatepe, Santiago Silvestre, Berk Çelik, Pablo Ortega, An efficient fault diagnosis method for PV systems on operating voltage window, Energy Conversion and Management (2013), DOI: 10.1016/j.enconman.2013.05.015.

Akademik Başarılar

2010 - 2011 Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Lisans Bitirme Tezi İkinciliği