

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PV SİSTEMLERİN TEORİK VE DİZAYN
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

Makina Mühendisi Erman ERTAŞ

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Zehra YUMURTACI (YTÜ)

İSTANBUL, 2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL KAVRAMLAR.....	2
2.1 Güneş ve Güneş Sabiti	2
2.2 Güneş Radyasyonu Bileşenleri.....	3
2.3 Güneş Açıları.....	4
2.4 Atmosfer Dışı Yatay Düzleme Gelen Güneş Radyasyonu.....	6
3. GÜNEŞ RADYASYONU MODELLERİ.....	7
3.1 Yatay Düzleme Gelen Toplam Radyasyonun Difüz ve Direkt Bileşenlerine Ayrıştırılması Modelleri	7
3.1.1 Liu ve Jordan Modeli	7
3.1.2 Orgill ve Hollands Modeli.....	8
3.1.3 Reindl vd. Modeli.....	8
3.1.4 Lam ve Li Modeli.....	8
3.1.5 Louche vd. Modeli	9
3.1.6 Jimenez ve Castro Modeli	9
3.2 Eğik Düzleme Gelen Toplam Güneş Radyasyonu Modeli	9
3.3 Eğik Düzleme Gelen Direkt Güneş Radyasyonu Modeli.....	9
3.4 Eğik Düzleme Gelen Difüz Güneş Radyasyonu Modelleri.....	10
3.4.1 Liu ve Jordan Modeli	10
3.4.2 Koronakis Modeli.....	10
3.4.3 Bugler Modeli.....	10
3.4.4 Temps ve Coulson Modeli	10
3.4.5 Klucher Modeli.....	11
3.4.6 Hay Modeli.....	11
3.4.7 Ma ve Iqbal Modeli	11
3.4.8 Skarveit ve Olseth Modeli	11
3.4.9 Reindl Modeli.....	12
3.4.10 Muneer Modeli	12
3.5 Eğik Düzleme Gelen Yansıyan Güneş Radyasyonu Modeli.....	12

4.	PV SİSTEM MATEMATİK MODELİ.....	14
4.1	PV Sistem Enerji Modeli.....	14
4.2	PV Modül Verim Modeli	14
4.3	İnverter Verimi	14
5.	MODEL ALGORİTMASI	15
5.1	Meteorolojik Datanın Saatlik Verilere Ayırıştırılması	15
5.2	Yatay Düzleme Gelen Toplam Radyasyonun Difüz ve Direkt Bileşenlerine Ayırıştırılması.....	18
5.3	Eğik Düzleme Gelen Difüz ve Direkt Radyasyonun Hesaplanması	18
5.4	Eğik Düzleme Gelen Yansıyan Radyasyonunun Hesaplanması	19
5.5	Eğik Düzleme Gelen Toplam Radyasyonunun Hesaplanması.....	19
5.6	PV Sistem Enerji Modeli.....	19
5.7	PV Modül Verim Modeli	19
5.8	İnverter Verimi	21
6.	DENEYSEL YÖNTEM	22
6.1	Sistemde Kullanılan PV Modüller	23
6.2	Sistemde Kullanılan İnverter	24
6.3	Veri Kaydetme ve Değerlendirme Sistemi.....	25
7.	İSTATİSTİKSEL YÖNTEM	26
8.	OPTİMİZASYON	27
8.1	Teorik Optimizasyon.....	27
8.2	Parametrik Optimizasyon	35
8.2.1	Yüzey Eğim Açısının Difüz Radyasyon Bileşenine Etkisi	36
8.2.2	Yüzey Eğim Açısının Direkt Radyasyon Bileşenine Etkisi	38
8.2.3	Yüzey Eğim Açısının Yansıyan Radyasyon Bileşenine Etkisi	40
8.2.4	Yüzey Eğim Açısının Aylık ve Yıllık Toplam Üretilen Enerji Miktarına Etkisi.....	42
9.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	46
	KAYNAKLAR.....	54
	EKLER	57
Ek 1	Algoritma doğrultusunda oluşturulan model kombinasyonları.....	58
Ek 2	Algoritmada kullanılan 7 farklı ayırıştırma modelinin tüm aylar için hesapladıkları yatay düzleme gelen difüz radyasyon değerleri	60
Ek 3	Algoritmada kullanılan eğik düzlem direkt radyasyon modelinin (Liu ve Jordan) tüm ayırıştırma modellerinden gelen yatay düzlem direkt radyasyon değeri ve tüm aylar için hesapladıkları eğik düzleme gelen direkt radyasyon değerleri	66
Ek 4	Algoritmada kullanılan eğik düzlem yansıyan radyasyon modelinin (Liu ve Jordan) tüm aylar için hesapladığı eğik düzleme gelen yansıyan radyasyon değerleri.....	72

Ek 5	Tüm modellerin MBE, RMSE ve CC değerleri (En büyük MBE değerinden en küçük MBE değerine doğru sıralanmış).....	78
Ek 6	Tüm modellerin MBE, RMSE ve CC değerleri (En büyük RMSE değerinden en küçük RMSE değerine doğru sıralanmış)	80
Ek 7	Tüm modellerin MBE, RMSE ve CC değerleri (En büyük CC değerinden en küçük CC değerine doğru sıralanmış)	82
ÖZGEÇMİŞ.....		84

SİMGE LİSTESİ

A_c	PV panelin toplam yüzey alanı (m^2)
F	Klucher model katsayısı
f	Reindl model katsayısı
$f(b)$	Muneer model fonksiyonu
E_t	PV sistem enerji üretimi (Wh)
$E_{t,a}$	PV sistem enerji üretimi (aylık toplam) (Wh)
$E_{t,y}$	PV sistem enerji üretimi (yıllık toplam) (Wh)
F_{Hay}	Hay model katsayısı
I_b	Yatay düzleme gelen direkt radyasyon (Wh/m^2)
$I_{b,\beta,A}$	Eğik düzleme gelen aylık toplam direkt radyasyon (Wh/m^2)
$I_{b,\beta}$	Eğik düzleme gelen direkt radyasyon (Wh/m^2)
I_d	Yatay düzleme gelen difüz radyasyon (Wh/m^2)
$I_{d,\beta,A}$	Eğik düzleme gelen aylık toplam difüz radyasyon (Wh/m^2)
$I_{d,\beta}$	Eğik düzleme gelen difüz radyasyon (Wh/m^2)
I_{NOCT}	NOCT koşullarındaki radyasyon değeri (Wh/m^2)
I_o	Saatlik bazda değişken atmosfer dışı yatay düzleme gelen güneş radyasyonu (Wh/m^2)
I_{on}	Günlük bazda değişken atmosfer dışı yatay düzleme gelen güneş radyasyonu (Wh/m^2)
$I_{r,\beta}$	Eğik düzleme gelen yansıyan radyasyon (Wh/m^2)
I_{sc}	Güneş sabiti (Wh/m^2)
I_t	Yatay düzleme gelen toplam radyasyon (Wh/m^2)
$I_{t,\beta}$	Eğik düzleme gelen toplam radyasyon (Wh/m^2)
k_b	Direk ışıınım katsayısı
k_d	Difüz ışıınım oranı
k_D	Difüz ışıınım katsayısı
k_t	Gökyüzü açıklık indeksi
n	İşlem yapılan tarihin yıl içerisindeki sırası
P_1	Temps ve Coulson model katsayısı
P_2	Temps ve Coulson model katsayısı
R_b	Direkt radyasyon için oran faktörü
r_t	Saatlik toplam radyasyon oran katsayısı
T_a	Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{NOCT}	NOCT koşullarındaki hücre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{ref}	Referans sıcaklık değeri ($^{\circ}C$)
Z	Skarveit ve Olseth düzeltme katsayısı
α_s	Güneş yükseklik açısı ($^{\circ}$)
β	Yüzey eğim açısı ($^{\circ}$)
β_{ref}	Hücre veriminin dış ortam sıcaklığından etkilenme katsayısı ($^{\circ}C^{-1}$)
γ	Yüzey azimut açısı ($^{\circ}$)
γ_s	Güneş azimut açısı ($^{\circ}$)
δ	Deklinasyon açısı ($^{\circ}$)
η	PV modül verimi
η_e	İnverter verimi
η_{ref}	Referans sıcaklık değerindeki hücre verimi
θ	Güneş geliş açısı ($^{\circ}$)
θ_z	Zenit açısı ($^{\circ}$)
ρ	Yerin yansıtma katsayısı (Albedo katsayısı)
Φ	Enlem açısı ($^{\circ}$)
ω	Saat açısı ($^{\circ}$)

KISALTMA LİSTESİ

CC	Korelasyon Katsayısı (Correlation Coefficient)
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
MBE	Göreceli Ortalama Sapma Hatası (Relative Mean Bias Error)
NOCT	Nominal Hücre Sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature)
PV	Fotovoltaik (Photovoltaic)
RMSE	Göreceli Ortalama Kare Hatası (Relative Mean Square Error)
WRC	Dünya Radyasyon Merkezi (The World Radiation Center)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Güneşin yapısı (Duffie ve Beckman, 1991)	2
Şekil 2.2	Güneş-dünya arasındaki geometrik ilişki (Duffie ve Beckman, 1991)	3
Şekil 2.3	Güneş radyasyonu bileşenleri	3
Şekil 2.4	(a) Zenit açısı, yüzey eğimi, yüzey azimut açısı ve eğimli bir yüzey için güneş azimut açısı ve (b) güneş azimut açısı gösterimleri (Duffie ve Beckman, 1991)	5
Şekil 5.1	Model algoritması	15
Şekil 5.2	Saatlik toplam radyasyon değerlerine ayrıştırılan meteorolojik veriler	18
Şekil 5.3	Saatlik ortalama sıcaklık verileri	20
Şekil 5.4	Model 1 için oluşturulan saatlik bazda PV modül verim eğrileri	21
Şekil 6.1	Arçelik-LG PV sistemi	22
Şekil 6.2	Arçelik-LG PV sistemi ve çevre yapısı	22
Şekil 6.3	Arçelik-LG PV sistemi bağlantı şeması	23
Şekil 6.4	Arçelik-LG işletmesindeki PV sistemde kullanılan inverter	24
Şekil 6.5	Veri kayıt sistemi ara yüzü	25
Şekil 8.1	Algoritmada kullanılan 7 farklı ayrıştırma modeli için hesaplanan yatay düzleme gelen difüz radyasyon değerleri (Ocak)	28
Şekil 8.2	Algoritmada kullanılan 11 farklı eğik düzlem difüz radyasyon modeli için hesaplanan eğik düzleme gelen difüz radyasyon değerleri (Ocak, Liu ve Jordan ayrıştırma modeli)	28
Şekil 8.3	Algoritmada kullanılan eğik düzlem direkt radyasyon modeli için hesaplanan eğik düzleme gelen direkt radyasyon değerleri (Ocak, 7 farklı ayrıştırma modeli için)	29
Şekil 8.4	Algoritmada kullanılan eğik düzlem yansıyan radyasyon modeli için hesaplanan eğik düzleme gelen yansıyan radyasyon değerleri (Ocak)	29
Şekil 8.5	Model 75 için hesaplanan değerler	32
Şekil 8.6	Model 75 ve ölçüm verilerinin karşılaştırılması	32
Şekil 8.7	Model 8, Model 19, Model 20, Model 61 ve Model 75 için hesaplanan değerler	33
Şekil 8.8	Model 2, Model 4, Model 51, Model 53, Model 55, Model 65 ve Model 75 hesaplanan değerler	34
Şekil 8.9	Haziran ayı için günlük toplam bazda yüzey eğim açısının difüz radyasyon miktarına etkisi (Çizelge 2.1'e göre haziran ayı için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplanan günlük bazda toplamı)	36
Şekil 8.10	Tüm aylar için yüzey eğim açısının yüzeye gelen difüz radyasyon miktarına etkisi (Çizelge 2.1'e göre her ay için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplanan günlük bazda toplamı)	37
Şekil 8.11	Tüm aylar için yüzey eğim açısı-difüz radyasyon miktarı eğrisi	37
Şekil 8.12	Haziran ayı için günlük toplam bazda yüzey eğim açısının direkt radyasyona etkisi (Çizelge 2.1'e göre haziran ayı için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplanan günlük bazda toplamı)	38
Şekil 8.13	Tüm aylar için yüzey eğim açısının yüzeye gelen direkt radyasyon miktarına etkisi (Çizelge 2.1'e göre her ay için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplanan günlük bazda toplamı)	39
Şekil 8.14	Tüm aylar için yüzey eğim açısı-direkt radyasyon miktarı eğrisi	39
Şekil 8.15	Haziran ayı için günlük toplam bazda yüzey eğim açısının direkt radyasyona etkisi (Çizelge 2.1'e göre haziran ayı için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplanan günlük bazda toplamı)	40

Şekil 8.16	Tüm aylar için yüzey eğim açısının yüzeye gelen yansıyan radyasyon miktarına etkisi (Çizelge 2.1'e göre her ay için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplamaların günlük bazda toplamaları)	41
Şekil 8.17	Tüm aylar için yüzey eğim açısı-yansıyan radyasyon miktarı eğrisi	41
Şekil 8.18	Farklı yüzey eğim açı değerleri için yıllık toplam bazda üretilen enerji miktarı.....	42
Şekil 8.19	Yüzey eğim açısı-yıllık bazda toplam üretilen enerji miktarı eğrisi	42
Şekil 8.20	Farklı yüzey eğim açı değerleri için aylık bazda üretilen enerji miktarları.....	43
Şekil 8.21	Tüm aylar için yüzey eğim açısı-aylık bazda toplam üretilen enerji miktarı eğrisi	44

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Ortalama hesaplamalarda her ay için önerilen değerler (Klein, 1977)	4
Çizelge 3.1	Farklı yüzeylerin yansıtma katsayıları (Boztepe, 2002).....	13
Çizelge 5.1	Kocaeli bölgesi için DMI'den alınan 2000–2009 yılları arasındaki ortalama değerlere dayanan aylık ortalama günlük toplam güneşlenme şiddeti verileri	16
Çizelge 5.2	Saatlik toplam radyasyon değerlerine ayrıştırılan meteorolojik veriler	17
Çizelge 5.3	Kocaeli bölgesi için DMI'den alınan 2009 Ocak–2010 Kasım dönemi için ortalama değerlere dayanan saatlik ortalama sıcaklık (°C) verileri	20
Çizelge 6.1	Sistem genel parametreleri	23
Çizelge 6.2	Sharp NA-F115 (A5) modül özellikleri	23
Çizelge 6.3	StecaGrid 2000+ Master teknik özellikleri	24
Çizelge 8.1	Kullanılan matematik modeller	27
Çizelge 8.2	Oluşturulan model kombinasyonlarının MBE, RMSE ve CC değerleri	30
Çizelge 8.3	MBE değeri -2,00% ile +2,00% arasında olan modeller.....	31
Çizelge 8.4	Model 8, Model 19, Model 75, Model 20 ve Model 61; MBE, RMSE, CC değerleri ve kullanılan alt modeller (soldan sağa MBE değerine göre sıralanmış)	31
Çizelge 8.5	MBE değeri en yüksek ve en düşük modeller (soldan sağa MBE değerine göre sıralanmış)	33
Çizelge 8.6	Tüm aylar için difüz radyasyon ile yüzey eğim açısı arasındaki ilişki ve optimum yüzey eğim açısı değerleri	38
Çizelge 8.7	Tüm aylar için direkt radyasyon ile yüzey eğim açısı arasındaki ilişki ve optimum yüzey eğim açısı değerleri	40
Çizelge 8.8	Farklı yüzey eğim açısı değerleri için aylık bazda üretilen enerji miktarları (yeşilden kırmızıya, minimum değerden maksimum değere göre renklendirilmiştir).....	44
Çizelge 8.9	Tüm aylar için aylık bazda üretilen toplam enerji miktarı ile yüzey eğim açısı arasındaki ilişki ve optimum yüzey eğim açısı değerleri.....	45
Çizelge 9.1	Model 75; MBE, RMSE, CC değerleri ve kullanılan alt modeller	46
Çizelge 9.2	Model 8, Model 19, Model 20, Model 61; MBE RMSE, CC değerleri ve kullanılan alt modeller.....	46
Çizelge 9.3	Skarveit ve Olseth eğik düzlem difüz radyasyon modelini kullanan model kombinasyonları (soldan sağa MBE değerine göre sıralanmış).....	47
Çizelge 9.4	Temps ve Coulson eğik düzlem difüz radyasyon modelini kullanan model kombinasyonları (soldan sağa MBE değerine göre sıralanmış).....	47
Çizelge 9.5	Ma ve Iqbal eğik düzlem difüz radyasyon modelini kullanan model kombinasyonları (soldan sağa MBE değerine göre sıralanmış).....	48
Çizelge 9.6	Klucher eğik düzlem difüz radyasyon modelini kullanan model kombinasyonları (soldan sağa MBE değerine göre sıralanmış).....	48
Çizelge 9.7	Liu ve Jordan eğik düzlem difüz radyasyon modelini kullanan model kombinasyonları (soldan sağa MBE değerine göre sıralanmış).....	49
Çizelge 9.8	Jimenez ve Castro difüz-direkt ayrıştırma modelini kullanan model kombinasyonları (soldan sağa MBE değerine göre sıralanmış).....	49
Çizelge 9.9	Tüm aylar için yüzey eğim açısı ile aylık toplam difüz radyasyon miktarı arasındaki korelasyonlar.....	50
Çizelge 9.10	Tüm aylar için yüzey eğim açısı ile aylık toplam direkt radyasyon miktarı arasındaki korelasyonlar.....	51
Çizelge 9.11	Difüz ve direkt radyasyon için optimum yüzey eğim açısı değerleri.....	52

Çizelge 9.12 Farklı yüzey eğim açısı değerleri için aylık bazda üretilen toplam enerji miktarları (Wh).....	53
Çizelge 9.13 Aylık bazda üretilen toplam enerji miktarı için optimum yüzey eğim açısı değerleri.....	53

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Arçelik – LG işletmesinde kurulu 1,15 kW kapasitesindeki PV sistemde bir yıl boyunca kayıt edilen veriler değerlendirilmiştir. Sistemin ürettiği enerji değerini ifade eden model kombinasyonları oluşturulmuş ve her bir model kombinasyonu ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. Sistemi en iyi ifade eden model kombinasyonu belirlenmiş ve bu model kombinasyonu ve kullandığı alt modeller kullanılarak parametrik optimizasyon gerçekleştirilmiştir.

Tez süresince çok değerli bilgi ve tecrübelerini paylaşarak beni yönlendiren ve yardımcı olan değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Zehra YUMURTACI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez süresince bana her an destek olan Dilek BEKTAŞ'a, ayrıca hayatımın her anında desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu araştırmanın amacı PV sistem enerji üretimindeki hesap sürecinin teorik açıdan incelenmesi ve PV sistem enerji üretimi hesap sürecindeki adımların ortaya konulup her adımda kullanılabilecek matematik modellerin araştırılması ayrıca parametrik değişkenliğin farklı çıktılar üzerindeki etkisinin gözlemlenmesidir.

Çalışmada öncelikle temel kavramlar ele alınıp modellerde kullanılan parametreler tanımlanmıştır. Sonrasında güneş radyasyonu modelleri belirli gruplar altında incelenmiştir. Bu modellerin kombinasyonu ile PV sistem enerji üretimini aylık ve yıllık toplam bazda hesaplayan algoritma ortaya konulmuştur. Bu algorithmada kullanılabilecek 77 farklı model kombinasyonunun aylık toplam bazda çıktıları, Arçelik – LG’ de kurulu PV sistemin 1 yıl boyunca kaydettiği aylık bazda toplam data ile karşılaştırılıp en iyi model kombinasyonu ve kombinasyonları belirlenmiştir.

Bununla birlikte model kombinasyonunu oluşturan modellerin PV sistem üretilen enerji çıktısına etkisi gözlemlenmiş ve majör modeller belirlenmiştir. Belirlenen en iyi model kombinasyonu ile de parametrik optimizasyon yapılarak, yüzey eğim açısındaki değişkenliğin difüz, direkt, yansıyan radyasyon bileşenlerine ve aylık, yıllık toplam enerji üretimine etkisi ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, güneş ısınımı, güneş radyasyonu, difüz-direkt ayırıştırma modelleri, eğik düzlem difüz radyasyon modelleri, eğik düzlem direk radyasyon modelleri, eğik düzlem yansıyan radyasyon modeli, eğik düzlem toplam radyasyon modeli, fotovoltaiik, PV, teorik optimizasyon, parametrik optimizasyon.

ABSTRACT

This article is a report on theoretical review of mathematical models, defining calculation steps of calculation process of PV system energy production and observing the effect of parametrical variability.

A review on basic definitions was done for this work. Afterwards, solar radiation models are examined on defined groups. An algorithm is generated which calculates monthly and yearly PV system energy production with combination of these models. Total of 77 model combination outputs are calculated on monthly and yearly sums which are compared with 1 year output energy production of Arçelik – LG PV system and with this comparison best model combination and combinations are determined.

Also, the effect of models, which are included in model combinations, on PV system energy production is observed and significant models are determined. By using the best model combination parametrical optimization is done which includes observing the effects on diffuse, direct, reflected components and monthly, yearly sums of energy production.

Keywords: Solar energy, solar radiation, diffuse-direct decomposition models, diffuse radiation models on inclined surfaces, direct radiation model on inclined surfaces, reflected radiation model on inclined surfaces, total radiation on inclined surfaces, photovoltaic, PV, theoretical optimization, parametrical optimization.

1. GİRİŞ

Güneş radyasyonu verileri ve hesap yöntemleri mühendisler, mimarlar ve bilim adamları için fotovoltaik (PV) sistemlerin veya termal solar sistemlerin geliştirilmesinde oldukça önemlidir (Lu vd., 1998; Machler ve Iqbal, 1985; Cartwright, 1993; Tujillo, 1998; Li ve Lam, 2000). Bununla birlikte bu sistemlerin tasarım hesaplamalarında difüz ve direkt solar radyasyon verilerinin bilinmesi gerekmektedir. Pek çok istasyonda yatay düzleme gelen toplam güneş radyasyonu kayıt edilmekle birlikte çok az istasyon difüz radyasyon bileşeninin ölçümünü yapabilmektedir (Li ve Lam, 2000). Bu noktada toplam güneş radyasyonunun difüz ve direkt bileşenlerine ayrılması gerekmektedir. Bu açıdan yapılan çalışmada difüz-direkt ayrıştırma modelleri ele alınmıştır. Yatay düzlemde difüz ve direkt bileşenlerine ayrıştırılan radyasyonun, pek çok PV sistemin üretilen enerji miktarının optimize edilmesi açısından optimal eğik düzlem eğim açısı doğrultusunda tasarlanması nedeniyle bu bileşenlerin eğik düzlem için hesaplanmasını gerekmektedir. Bu nedenle direkt ve difüz bileşenlerin eğik düzlemdeki değerlerinin hesaplanmasında kullanılan modeller araştırılıp incelenmiştir. Aynı zamanda eğik düzleme yansıyan radyasyonu bileşeninin de matematik model doğrultusunda hesaplanması gerekmektedir. Eğik düzleme gelen toplam güneş radyasyonunun elde edilmesiyle bu değer PV sistem enerji modeline girdi sağlayarak PV sistem enerji üretimi hesaplanabilir. Fakat bu noktada literatürde her bir hesap adımı için pek çok matematik model sunulmaktadır. Bu matematik modellerden oluşturulacak kombinasyonlar sonuç değerini doğrudan etkilediğinden doğru matematiksel model kombinasyonunun kullanımı önem taşımaktadır.

Doğru matematiksel model kombinasyonunun tayini istatistiksel araçlar ile mümkündür. En düşük hata yapan model kombinasyonunun belirlenmesi, bu model kombinasyonunun kullanılmasıyla parametrik optimizasyon adımına olanak sağlamaktadır.

Yapılan çalışmada teorik ve parametrik optimizasyon adımları gerçekleştirilmiştir. En iyi matematiksel model kombinasyonu ve model kombinasyonları belirlenmiştir. Belirlenen model kombinasyonu doğrultusunda parametrik optimizasyon yapılmıştır.

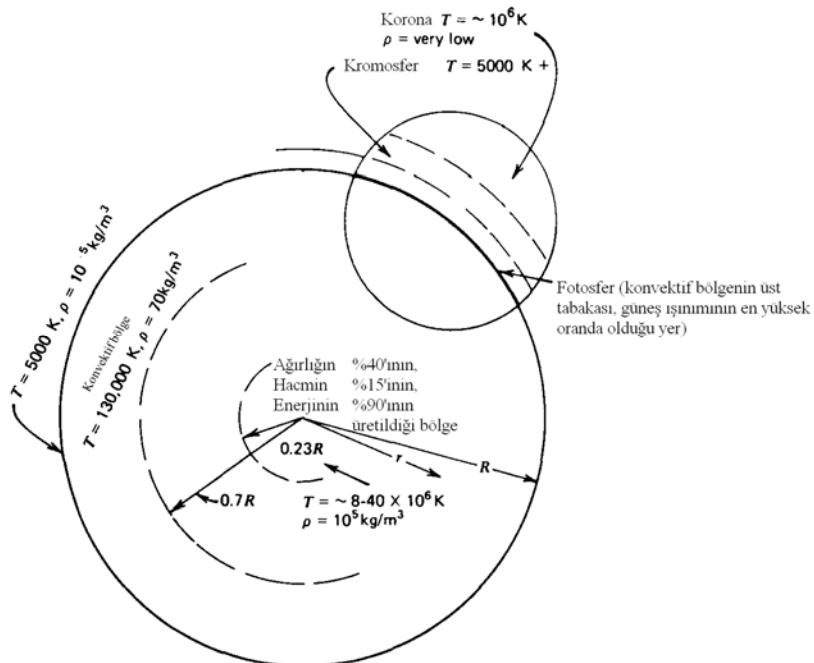
2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Güneş ve Güneş Sabiti

Güneş; çapı $1,39.10^9$ m (1,4 milyon km) olan, içeriğinin %95'i hidrojen ve helyumdan oluşan (%75 Hidrojen, %20 Helyum, %5 diğer) dev bir enerji kaynağıdır. Güneş her 4 haftada bir kendi eksenini etrafındaki dönüşünü tamamlamaktadır. Bununla birlikte güneş katı bir cismin özelliklerini taşıyarak dönmemektedir öyle ki ekvator bölgesi bu dönüş hareketini 27 günde, kutuplar ise yaklaşık 30 günde tamamlamaktadır.

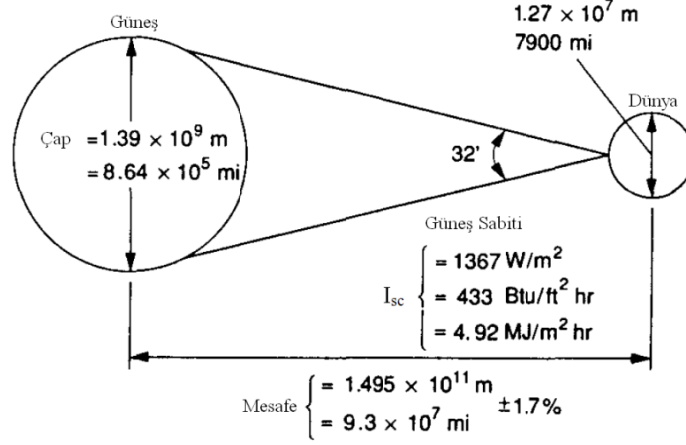
Güneş merkezinde sıcaklık değerleri 8.10^6 ile 40.10^6 K arasında değişkenlik göstermektedir. Güneş enerjisi çoğunlukla, hidrojen atomlarının birleşerek helyum atomlarına dönüşmesiyle açığa çıkmaktadır. Helyum çekirdeğinin kütlesi hidrojen atomunun çekirdeğinin kütlesinden daha azdır. Reaksiyondaki bu kütle kaybı enerji olarak açığa çıkmaktadır. Güneşin iç katmanlarında üretilen bu enerji, güneşin dış yüzeyine oradan da uzaya yayılmaktadır.

Güneşin özelliklerini özetleyen Şekil 2.1 Duffie ve Beckman (1991) tarafından verilmiştir. Bu şekle göre, güneş enerjisinin yaklaşık %90'ı merkez noktası ile $0,23R$ (burada R güneşin yarıçapıdır) aralığında üretilmektedir. Bu aralık aynı zamanda güneşin ağırlığının %40'ını ve hacminin %15'ini içermektedir. Merkezden $0,7R$ uzaklıkta sıcaklık değeri 130000 K ve yoğunluk ise 70 kg/m^3 değerine düşmektedir ki bu alanda konveksiyon süreçleri önemli hale gelmektedir öyle ki $0,7R$ ile $1,0R$ aralığı konveksiyon bölgesi olarak bilinmektedir. Bu bölge ile sıcaklık değeri 5000 K, yoğunluk ise 10^{-5} kg/m^3 değerlerine düşmektedir.



Şekil 2.1: Güneşin yapısı (Duffie ve Beckman, 1991)

Şekil 2.2’de dünya ile güneş arasındaki geometrik ilişki gösterilmektedir. Dünyanın yörüngesinin eksantrikliğinden dolayı dünya ile güneş arasındaki mesafe %1,7 salınım göstermektedir.



Şekil 2.2: Güneş-dünya arasındaki geometrik ilişki (Duffie ve Beckman, 1991)

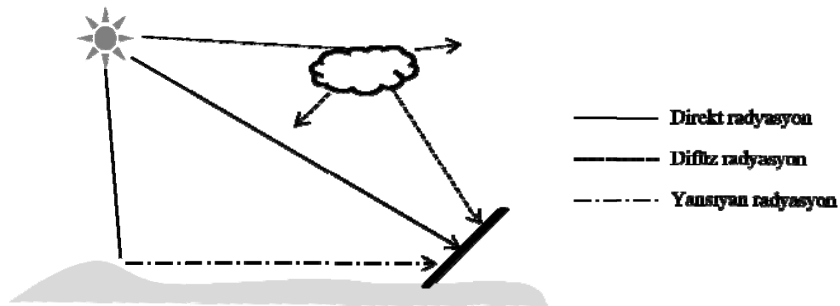
Güneş sabiti (I_{sc}) birim zamanda atmosfer dışına ortalama güneş-dünya mesafesi için dik yönde yayınım gösteren radyasyon miktarıdır. Literatürde güneş sabiti değeri için farklı değerler belirtilmiştir. Bu çalışmada Dünya Radyasyon Merkezi (WRC – The World Radiation Center) tarafından belirtilen ve referans kaynaklarda kabul gören (Duffie ve Beckman, 1991) 1367 W/m^2 değeri kullanılmıştır.

2.2 Güneş Radyasyonu Bileşenleri

Güneş radyasyonunun bir kısmı atmosferden geçişi sırasında absorbe edilir ve aynı zamanda bileşenlerine ayrılır. Yer seviyesine ulaşan güneş radyasyonu üç bileşen altında incelenebilir,

- Direkt radyasyon
- Difüz radyasyon
- Yansıyan radyasyon

Bileşenler Şekil 2.3’de gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Güneş radyasyonu bileşenleri

Dünya yüzeyine yansımadan veya kırılmadan doğrudan ulaşan radyasyon direkt radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Difüz radyasyon atmosfer tarafından kırılan ve yönü değiştirilen radyasyondur. Dünya yüzeyine ulaşan radyasyonun bir kısmı absorbe edilir bir kısmı ise yansır. Yeryüzünden yansıyan tip radyasyon diğer radyasyon tiplerine oranla düşük seviyelerdedir.

2.3 Güneş Açıları

Enlem Açısı (Φ): Söz konusu konumdan dünya merkezine çizilen doğrunun, dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır ($-90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$).

Deklinasyon Açısı (δ): Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır ($-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$). Cooper (1969), deklinasyon açısının şu şekilde hesaplanabileceğini belirtmiştir,

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2.1)$$

Deklinasyon zamanının sürekli bir fonksiyonu olmakla birlikte, mühendislik uygulamalarında yapılacak hesaplamalar için Çizelge 2.1’de verilen değerler doğrultusunda ay bazında ortalama değerler ile hesap yapılabilir (Duffie ve Beckman, 1991).

Çizelge 2.1: Ortalama hesaplamalarda her ay için önerilen değerler (Klein, 1977)

Ay	Ayın i. günü için n değeri	Ortalama Tarih	Ortalama n	Ortalama δ
Ocak	i	17	17	-20,9
Şubat	31+i	16	47	-13,0
Mart	59+i	16	75	-2,4
Nisan	90+i	15	105	9,7
Mayıs	120+i	15	135	18,8
Haziran	151+i	11	162	23,1
Temmuz	181+i	17	198	21,2
Ağustos	212+i	16	228	13,5
Eylül	243+i	15	258	2,2
Ekim	273+i	15	288	-9,6
Kasım	304+i	14	318	-18,9
Aralık	334+i	10	344	-23,0

Yüzey Eğim Açısı (β): Söz konusu eğik düzlem ile yatay arasındaki açıdır.

Yüzey Azimut Açısı (γ): Güneş ışını alan yüzeyin dikeyinin yerel boylama göre sapmasını gösteren açıdır. Güneye bakan yüzeyler için $\gamma=0^\circ$ ’dir.

Güneş Azimut Açısı (γ_s): Yatay yüzey üzerindeki direk radyasyon bileşeninin güney eksenini ile yaptığı açı olarak tanımlanır. Şekil 2.4 (b) γ_s açısını göstermektedir.

Saat Açısı (ω): Söz konusu yerin boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğrunun, yani güneş ışınlarının belirttiği boylam arasındaki açıdır. Bir saatte güneş 15° 'lik bir açısal hareket yapmaktadır.

$$\omega = 15(t - 12) + 4 \quad (2.2)$$

Burada t, işlem yapılan saati temsil etmektedir.

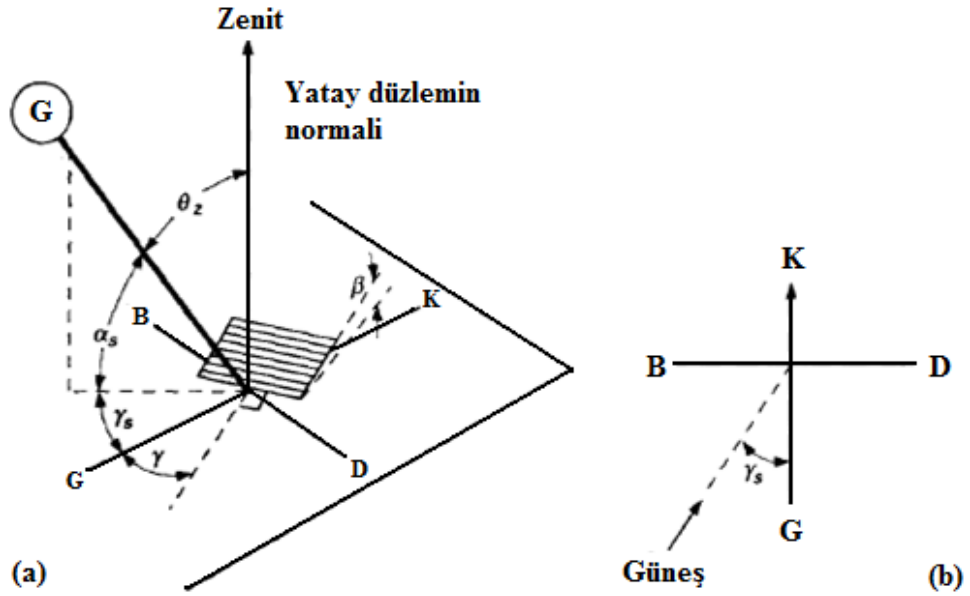
Gün Batımı Saat Açısı (ω_s): Gün batımındaki saat açısı değeridir, aşağıda belirtilen eşitlik ile hesaplanabilir (Duffie ve Beckman, 1991).

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta \quad (2.3)$$

Güneş Geliş Açısı (θ): Bir eğik düzlemin üzerine gelen direk güneş ışınının yüzeyin dikeyi ile yaptığı açıya denir.

Zenit Açısı (θ_z): Güneş ışını ile yatay yüzeyin dikeyi arasındaki açıdır.

Güneş Yükseklik Açısı (α_s): Güneş ışınımı ile yatay yüzey arasındaki açıdır.



Şekil 2.4: (a) Zenit açısı, yüzey eğimi, yüzey azimut açısı ve eğimli bir yüzey için güneş azimut açısı ve (b) güneş azimut açısı gösterimleri (Duffie ve Beckman, 1991)

2.4 Atmosfer Dışı Yatay Düzleme Gelen Güneş Radyasyonu

Mühendislik uygulamaları hesaplamalarında atmosfer dışı yatay düzleme gelen güneş radyasyonu değeri önem taşımaktadır. Literatürde bu değerin çok düşük hatalar ile hesaplanabildiği model belirtilmiştir.

Günlük bazda değişken atmosfer dışı yatay düzleme gelen güneş radyasyonu (I_{on}) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir (Duffie ve Beckman, 1991),

$$I_{on} = I_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (2.4)$$

Burada N günün yıl içindeki sıra sayısıdır. I_{sc} ise “2.1 Güneş ve Güneş Sabiti” konu başlığı altında da belirtildiği gibi güneş sabiti değeridir.

Saatlik bazda değişken atmosfer dışı yatay düzleme gelen güneş radyasyonu (I_o) ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir (Duffie ve Beckman, 1991),

$$I_o = I_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \cos \theta_z \quad (2.5)$$

Burada θ_z , zenit açısıdır ve (2.4) denkleminde $\cos \theta_z$ ifadesi yerine konulduğunda,

$$I_o = I_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta) \quad (2.6)$$

3. GÜNEŞ RADYASYONU MODELLERİ

3.1 Yatay Düzleme Gelen Toplam Radyasyonun Difüz ve Direkt Bileşenlerine Ayrıştırılması Modelleri

Yatay düzlem üzerine düşen direkt ve difüz radyasyon değerleri mühendislik ve araştırma çalışmaları için önem taşımaktadır. Yatay düzlemdeki saatlik toplam radyasyon değerleri pek çok istasyon tarafından ölçülmekte ve veriler kaydedilmektedir. Fakat yatay düzleme gelen difüz radyasyon değerlerinin ölçümü sınırlı sayıda istasyon tarafından yapılmaktadır. Bu açıdan literatürde difüz radyasyonun hesaplanabilmesi için çok sayıda (yaklaşık 250 adet) model bulunmaktadır (Miguel vd., 2001).

Bahsedilen çoğu matematik model; gökyüzü açıklık indeksi k_t (boyutsuz), difüz ışıınım oranı k_d (boyutsuz), difüz ışıınım katsayısı k_D (boyutsuz) ve k_b direk ışıınım katsayısı parametrelerinin fonksiyonu olarak ifade edilmiştir (Wong ve Chow, 2001).

k_t , k_d , k_D ve k_b katsayıları,

$$k_t = \frac{I_t}{I_o} \quad (3.1)$$

$$k_d = \frac{I_d}{I_t} \quad (3.2)$$

$$k_D = \frac{I_d}{I_o} \quad (3.3)$$

$$k_b = \frac{I_b}{I_o} \quad (3.4)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir. Burada I_t yatay düzleme gelen toplam radyasyon, I_b yatay düzleme gelen direkt radyasyon, I_d yatay düzleme gelen difüz radyasyon, I_o atmosfer dışı yatay yüzeye gelen toplam radyasyon değerlerini ifade etmektedir.

3.1.1 Liu ve Jordan Modeli

Liu ve Jordan tarafından 19° ile 55° enlemleri arasında 98 ayrı noktada yapılan çalışmalar sonucu difüz radyasyonun hesaplanabilmesi için aşağıdaki korelasyonlar oluşturulmuştur.

$$k_D = 0,271 - 0,2939k_b \quad (3.5)$$

$$k_t = (I_b + I_d)/I_o = k_b + k_D \quad (3.6)$$

$$k_D = 0,384 - 0,416k_t \quad (3.7)$$

3.1.2 Orgill ve Hollands Modeli

Liu ve Jordan (1960) modelini göz önüne alarak Orgill ve Hollands'ın (1977) yaptıkları çalışmada yalnızca k_t gökyüzü açıklık indeksi kullanılmıştır. Söz konusu model 48,2 enlemindeki meteorolojik datalar kullanılarak oluşturulmuştur.

$$k_d = 1 - 0,249k_t; k_t < 0,35 \quad (3.8)$$

$$k_d = 1,577 - 1,84k_t; 0,35 \leq k_t \leq 0,75 \quad (3.9)$$

$$k_d = 0,177; k_t > 0,75 \quad (3.10)$$

3.1.3 Reindl vd. Modeli

Reindl vd. (1990) ABD ve Avrupa'da 28° ile 60° enlemleri arasında değişen 5 noktada yaptıkları çalışmalar sonucu k_d difüz ışıyım oranını veren korelasyonları elde etmişlerdir. İlk model (Reindl-1 olarak adlandırılmaktadır), k_t (gökyüzü açıklılık indeksi) parametresine bağlıdır ve şu şekilde ifade edilmektedir,

$$k_d = 1,02 - 0,248k_t; k_t \leq 0,3 \quad (3.11)$$

$$k_d = 1,45 - 1,67k_t; 0,3 < k_t < 0,78 \quad (3.12)$$

$$k_d = 0,147; k_t \geq 0,78 \quad (3.13)$$

İkinci korelasyon ise (Reindl-2 olarak adlandırılmaktadır) k_t ve güneş yükseklik açısı α_s parametresine bağlı olarak ifade edilmiştir,

$$k_d = 1,02 - 0,254k_t + 0,0123 \sin \alpha_s; k_t \leq 0,3 \quad (3.14)$$

$$k_d = 1,4 - 1,749k_t + 0,177 \sin \alpha_s; 0,3 < k_t < 0,78 \quad (3.15)$$

$$k_d = 0,486k_t - 0,182 \sin \alpha_s; k_t \geq 0,78 \quad (3.16)$$

3.1.4 Lam ve Li Modeli

Hong Kong'da $22,3^\circ$ kuzey enleminde Lam ve Li'nin 1991–1994 yılları arasında kaydedilen datalara göre yaptığı çalışma sonucu aşağıda korelasyon ortaya çıkmıştır,

$$k_d = 0,977; k_t \leq 0,15 \quad (3.17)$$

$$k_d = 1,237 - 1,361k_t; 0,15 < k_t \leq 0,7 \quad (3.18)$$

$$k_d = 0,273; k_t > 0,7 \quad (3.19)$$

3.1.5 Louche vd. Modeli

Louche vd. (1991) k_t değerini, k_b direkt ışınım katsayısının hesaplanmasında kullanmışlardır. Oluşturulan korelasyon şu şekildedir,

$$k_b = -10,627k_t^5 + 15,307k_t^4 - 5,205k_t^3 + 0,994k_t^2 - 0,059k_t + 0,002 \quad (3.20)$$

Korelasyon, Corsica/Fransa’da (44,9° Kuzey enlemi) 1983 – 1985 yılları arası kaydedilen global ve direkt radyasyon dataları ile oluşturulmuştur.

3.1.6 Jimenez ve Castro Modeli

Jimenez ve Castro (1986) difüz radyasyon için başka bir model önermişlerdir. Bu modelde yatay bir yüzeye gelen difüz radyasyon miktarı toplam radyasyon miktarının %20’si olduğu öne sürülmüştür. Bu durumda matematik model,

$$I_d = 0,2I_t \quad (3.21)$$

3.2 Eğik Düzleme Gelen Toplam Güneş Radyasyonu Modeli

Eğik düzleme gelen toplam radyasyon miktarı ($I_{t,\beta}$); eğik düzleme gelen direkt radyasyon ($I_{b,\beta}$), eğik düzleme gelen difüz radyasyon ($I_{d,\beta}$) ve eğik düzleme gelen yansıyan radyasyon ($I_{r,\beta}$) miktarlarının toplamına eşittir (Duffie ve Beckman, 1991; Iqbal, 1983; Gong ve Kulkarni, 2005; Bilgen, 2004).

$$I_{t,\beta} = I_{b,\beta} + I_{d,\beta} + I_{r,\beta} \quad (3.22)$$

3.3 Eğik Düzleme Gelen Direkt Güneş Radyasyonu Modeli

Liu ve Jordan (1963), eğik düzleme gelen direkt güneş radyasyonunun aşağıda belirtilen denklem ile hesaplanabileceğini belirtmişlerdir (Duffie ve Beckman, 1991).

$$I_{b,\beta} = I_b R_b \quad (3.23)$$

Burada R_b direkt radyasyon için oran faktörüdür ve şu şekilde ifade edilmektedir,

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (3.24)$$

“3. Güneş Açılırları” konu başlığı altında tanımlamaları yapılan θ ve θ_z açılarının cosinus değerleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \emptyset \cos \omega + \sin \delta \sin \emptyset \quad (3.26)$$

(3.25) ve (3.26) denklemlerinde geçen δ , $\emptyset$, β , γ ve ω açıları “3. Güneş Açıları” konu başlığı altında incelenmiştir.

3.4 Eğik Düzleme Gelen Difüz Güneş Radyasyonu Modelleri

3.4.1 Liu ve Jordan Modeli

Liu ve Jordan (1963) geliştirdikleri modelde β kadar eğimli bir yüzeyde difüz radyasyonun aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabildiğini ortaya koymuşlardır.

$$I_{d,\beta} = \frac{1}{2} I_d (1 + \cos \beta) \quad (3.27)$$

3.4.2 Koronakis Modeli

Koronakis (1986), (3.27) denklemini modifiye ederek aşağıdaki eşitliği geliştirmiştir. Buna göre β kadar eğimli bir yüzeye gelen difüz radyasyon,

$$I_{d,\beta} = \frac{1}{3} I_d (2 + \cos \beta) \quad (3.28)$$

3.4.3 Bugler Modeli

Bugler (1977) güneşin konumuna göre gökyüzünden yansıyan difüz radyasyonun hesaplanabilmesi için modele düzeltici bir terim eklemiştir.

$$I_{d,\beta} = \left[\left(I_d - 0,05 \frac{I_{b,\beta}}{\cos \theta_z} \right) + \frac{1 + \cos \beta}{2} \right] + 0,05 I_{b,\beta} \cos \theta \quad (3.29)$$

3.4.4 Temps ve Coulson Modeli

Temps ve Coulson (1977), (3.27)’de belirtilen Liu ve Jordan modelini modifiye etmişlerdir. (3.27)’ye çarpım olarak eklenen P_1 ve P_2 katsayıları şu şekildedir,

$$P_1 = 1 + \cos^2 \theta (\sin^3 \theta_z) \quad (3.30)$$

$$P_2 = 1 + \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \quad (3.31)$$

Buradan,

$$I_{d,\beta} = \frac{1}{2} I_d (1 + \cos \beta) P_1 P_2 \quad (3.32)$$

3.4.5 Klucher Modeli

Klucher (1979), Temps ve Coulson modelini modifiye ederek parçalı bulutlu gökyüzünü simule edecek bir F katsayısı tanımlamışlardır.

$$F = 1 - (I_d/I)^2 \quad (3.33)$$

Bu katsayı (3.30) denkleminde şu şekilde eklenmiştir,

$$I_{d,\beta} = I_d \left[0,5 \left(1 + \cos \left(\frac{\beta}{2} \right) \right) \right] \left[1 + F \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] [1 + F \cos^2(\theta) \sin^3(\theta_z)] \quad (3.34)$$

3.4.6 Hay Modeli

Hay (1979) tarafından geliştirilen bu model, eğik düzleme gelen difüz radyasyonun ve F_{Hay} katsayısının bir fonksiyonudur.

$$F_{Hay} = \frac{I - I_d}{I_o} = \frac{I_b}{I_o} = \frac{I_{b,n} \cos \theta_z}{I_o} \quad (3.35)$$

Buradan β kadar eğimli bir yüzeye gelen difüz radyasyon,

$$I_{d,\beta} = I_d \left\{ \left[\frac{(I - I_d)}{I_o} \right] \left(\frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \right) + \left[\frac{(1 + \cos \beta)}{2} \right] \left[1 - \frac{(I - I_d)}{I_o} \right] \right\} \quad (3.36)$$

3.4.7 Ma ve Iqbal Modeli

Ma ve Iqbal (1983) HSM-MI (Hourly Sums Model according to Ma and Iqbal) olarak adlandırılan bir model geliştirmişlerdir. Bu model şu şekilde ifade edilmektedir,

$$I_{d,\beta} = I_d \left[k_t R_b + (1 - k_t) \cos^2 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] \quad (3.37)$$

3.4.8 Skarveit ve Olseth Modeli

Skarveit ve Olseth (1986), bulutlu günlerde difüz radyasyonun önemli bir kısmının zenitten geldiğini vurgulamışlardır. Bergen'den alınan (60°24' Kuzey, 5°10' Doğu) deneysel veriler göstermiştir ki bulutlu günlerde difüz radyasyonun %30'luk bir kısmı zenitten gelmektedir. Buna göre yazarlar Z düzeltme faktörünü içeren şu modeli önermişlerdir,

$$Z = 0,3 - 2F_{Hay} \text{ ve } F_{Hay} \geq 0,15 \text{ ise } Z = 0 \quad (3.38)$$

$$I_{d,\beta} = I_d \left[F_{Hay} R_b + Z \cos \beta + (1 - F_{Hay} - Z) \left(1 + \frac{\cos \beta}{2} \right) - S(\omega_i, \Omega_i) \right] \quad (3.39)$$

(3.39)'daki son terim engeller tarafından yansıtılan difüz radyasyonu belirtmektedir ve ihmal edilebilir.

3.4.9 Reindl Modeli

Reindl vd. (1990), Hay modeline bir f katsayısı ekleyerek modifiye etmişlerdir.

$$f = \sqrt{\frac{I_b}{I}} \quad (3.40)$$

$$I_{d,\beta} = I_d \left[(1 - F_{Hay}) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \left(1 + f \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right) + F_{Hay} R_b \right] \quad (3.41)$$

3.4.10 Muneer Modeli

Muneer (1987, 1990) yarı kapalı ve açık günler için ayrı iki model geliştirmiştir. Yarı kapalı günler için geliştirilen model şu şekildedir ve yapılan çalışmada Muneer-1 olarak adlandırılmıştır.

$$I_{d,\beta} = I_d [\cos^2(\beta/2) + f(b) * (\sin \beta - \beta \cos \beta - \pi \sin^2(\beta/2))] \quad (3.42)$$

Burada $f(b)$ fonksiyonu,

$$f(b) = \frac{2b}{\pi(3 + 2b)} \quad (3.43)$$

olarak ifade edilebilir.

Muneer $f(b)$ fonksiyonu global bazda aldığı 14 noktadan ölçümlerle şu şekilde ifade edilebileceğini belirtmiştir,

$$f(b) = 0,04 - 0,82F_{Hay} - 2,026F_{Hay}^2 \quad (3.44)$$

Yapılan çalışmada Muneer-2 olarak adlandırılan diğer model ise açık günler için oluşturulmuş olup şu denklem ile ifade edilmektedir,

$$I_{d,\beta} = I_d [T(1 - F_{Hay}) + F_{Hay} R_b] \quad (3.45)$$

Burada T , (3.42)'de köşeli parantez ile ifade edilen kısma eşittir.

3.5 Eğik Düzleme Gelen Yansıyan Güneş Radyasyonu Modeli

Eğik düzleme gelen yansıyan güneş radyasyonu şu denklem ile hesaplanabilmektedir (Liu ve Jordan, 1963).

$$I_{r,\beta} = \frac{1}{2} \rho I_t (1 - \cos \beta) \quad (3.46)$$

Burada ρ yerin yansıtma katsayısıdır ve farklı yüzeyler için Çizelge 3.1’de verilen değerleri almaktadır.

Çizelge 3.1: Farklı yüzeylerin yansıtma katsayıları (Boztepe, 2002)

Yüzey Cinsi	Ortalama yansıtma katsayısı (ρ)
Kar (Yeni yağmış veya buz kaplı)	0,75
Sonbahardaki ormanlar	0,26
Yeşil çim	0,26
Beton kaplı alan	0,22
Kuru çim	0,20
Topraklar (kil, balçık vs.)	0,14
Su yüzeyleri	0,07
Çam ormanları (kış)	0,07
Patika yolları	0,04

“6. Deneysel Yöntem” konu başlığı altında Şekil 6.2’de çalışmada incelenen PV sistemin çevre zemin yapısı görölmektedir. Çevre zeminin yeliş çim yapısında olmasından dolayı yapılan modellemede ρ katsayısı 0,26 alınmıştır.

4. PV SİSTEM MATEMATİK MODELİ

PV sistem, iki farklı model ve inverter verimi doğrultusunda modellenebilir. PV sistem enerji modeli, PV modül verim modeli ve inverter verimi sistem kayıplarının modellenmesi açısından yeterlidir.

4.1 PV Sistem Enerji Modeli

Eğik düzleme gelen toplam güneş radyasyonunun hesaplanmasının ardından PV enerji üretiminin hesaplanmasında aşağıdaki model kullanılabilir (Duffie ve Beckman, 1991).

$$E_t = A_c * I_{t,\beta} * \eta * \eta_e \quad (4.1)$$

Burada A_c PV panelin toplam yüzey alanı, $I_{t,\beta}$ β eğimli bir m^2 genişliğindeki yüzeye gelen toplam güneş radyasyonu miktarı, η PV modül verimi ve η_e inverter verimidir.

4.2 PV Modül Verim Modeli

Literatürde dış ortam sıcaklığının bir fonksiyonu olarak birçok verim modeli mevcuttur. Kou vd. (1998) bu modellerden en çok kabul görmüş olanı şu şekilde ifade etmişlerdir (Skoplaki ve Palyvos, 2009).

$$\eta = \eta_{ref} \left\{ 1 - \beta_{ref} \left[T_a - T_{ref} + (T_{NOCT} - T_a) \frac{I_{t,\beta}}{I_{NOCT}} \right] \right\} \quad (4.2)$$

Burada T_a dış ortam sıcaklığı, T_{ref} referans sıcaklık değeri, η_{ref} referans sıcaklık değerindeki hücre verimi (Çizelge 6.2’de belirtilen değer kullanılmıştır), T_{NOCT} NOCT koşullarındaki hücre sıcaklığı, I_{NOCT} NOCT koşullarındaki radyasyon değeri, β_{ref} hücre veriminin dış ortam sıcaklığından etkilenme katsayısıdır ve a-Si (Amorphus Silicon) hücre modülü için 0,0011 olarak alınmıştır (Skoplaki ve Palyvos, 2009).

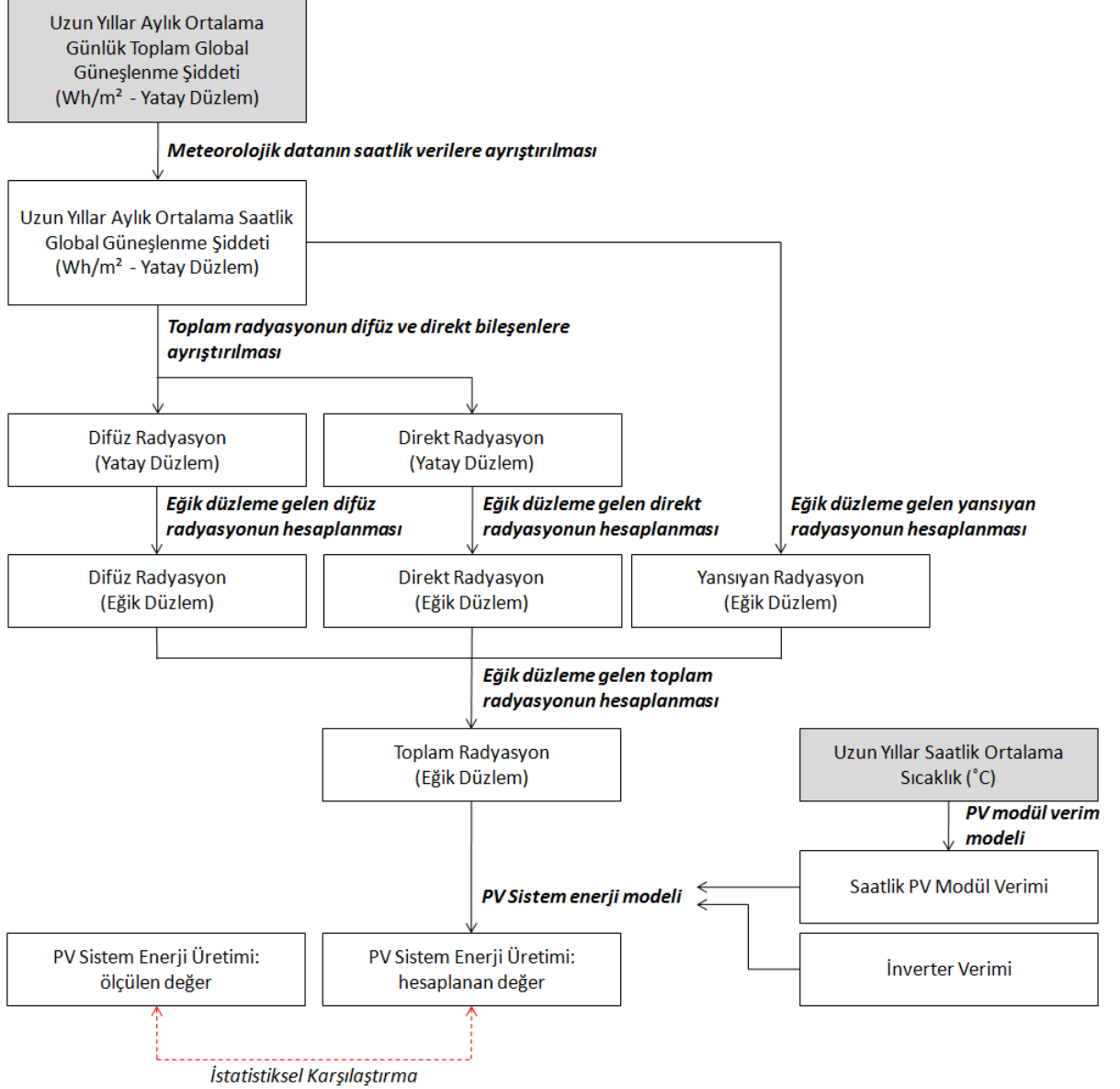
NOCT olarak belirtilen ifadeler açık devre koşullarında ve aşağıdaki değerlerde yapılan ölçümlerdir (Radyasyon değeri: $I_{NOCT} = 800 \text{ Wh/m}^2$, Hava sıcaklığı: $T_{air} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, Ortalama rüzgar hızı: $V_{wind} = 1 \text{ m/s}$).

4.3 İnverter Verimi

Üretilen doğru akımın şebekeye verilebilmesi ve kullanılabilmesi için alternatif akıma çevrilmesi sürecinde dönüştürülen enerjinin bir kısmı inverter verimi değeri (η_e) doğrultusunda kayba uğramaktadır. Yapılan çalışmada, Arçelik-LG işletmesindeki inverterin verimi sistem üzerinde yapılan ölçüm sonucu %82 olarak alınmıştır.

5. MODEL ALGORİTMASI

İncelenen matematik modellerin farklı kombinasyonlarda kullanımıyla PV sistem enerji üretiminin hesaplanması için oluşturulan model algoritması Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Model algoritması

5.1 Meteorolojik Datanın Saatlik Verilere Ayrıştırılması

Model algoritmasında yatay düzleme gelen toplam radyasyon değerlerinin difüz ve direkt bileşenlerine ayrıştırılmasından önce yatay düzleme gelen toplam radyasyon değeri verilerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu verilerin ölçüm yapılan bölgeye ait meteorolojik verilerden elde edilmesi (herhangi bir güneş ısınımı matematiksel modelinin kullanımı yerine) daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu açıdan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden (DMI) veri talebinde bulunulmuştur. DMI’den alınan veriler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelgede belirtilen “Uzun Yıllar Aylık Ortalama Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti (Wh/m²)” parametresi 2000 ile 2009 yılları arasında yapılan ölçümlerin ortalamalarına göre hesaplanmış verilerdir.

Çizelge 5.1: Kocaeli bölgesi için DMI’den alınan 2000–2009 yılları arasındaki ortalama değerlere dayanan aylık ortalama günlük toplam güneşlenme şiddeti verileri

	Uzun Yıllar Aylık Ortalama Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti (Wh/m ²)
Ocak	1201,03
Şubat	1799,04
Mart	2844,81
Nisan	3629,26
Mayıs	4910,88
Haziran	5407,25
Temmuz	5323,17
Ağustos	4550,70
Eylül	3697,41
Ekim	2512,20
Kasım	1562,49
Aralık	1126,25

Algoritmada her bir ay için Çizelge 2.1’de belirtilen ortalama gün değerleri doğrultusunda saatlik bazda güneş radyasyonu hesabı yapılmıştır. Bu açıdan günlük toplam bazda elde edilen meteorolojik verilerin de saatlik bazda tahminlenmesi gerekmektedir. Bu noktada Duffie ve Beckman (1991) tarafından belirtilen günlük toplam verilerden saatlik radyasyon tahminleme modeli kullanılmıştır (Collares-Pereira ve Rabl, 1979). Model şu şekilde ifade edilmektedir,

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (5.1)$$

Burada r_t günlük toplam radyasyonun saatlik toplam radyasyona oranıdır,

$$r_t = \frac{I_t(\text{günlük toplam radyasyon})}{I_t(\text{saatlik toplam radyasyon})} \quad (5.2)$$

Modeldeki a ve b katsayıları ise şu denklemler ile ifade edilmektedir,

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(\omega_s - 60) \quad (5.3)$$

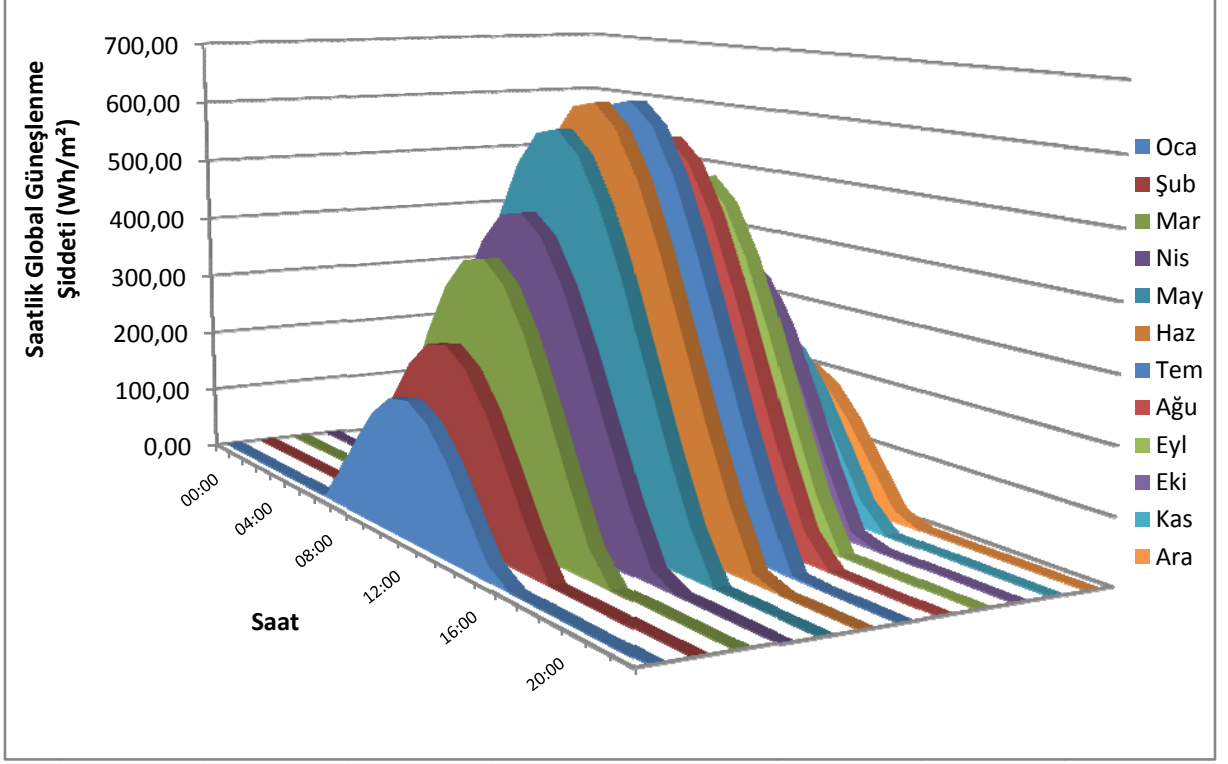
$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin(\omega_s - 60) \quad (5.4)$$

Bu model sonucu saatlik toplam datalara ayrılan meteorolojik veriler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Saatlik toplam radyasyon değerlerine ayrıştırılan meteorolojik veriler

	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
00:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,73	57,02	46,67	4,88	0,00	0,00	0,00	0,00
06:00	0,00	0,00	8,92	61,41	124,18	154,57	144,65	94,42	33,60	0,00	0,00	0,00
07:00	0,00	31,22	90,49	152,06	232,52	266,59	258,17	202,42	134,23	57,22	7,26	0,00
08:00	55,52	103,27	184,91	251,01	346,68	382,97	376,82	318,42	247,79	151,70	77,62	46,88
09:00	117,04	177,92	278,55	345,69	453,39	490,69	487,12	428,26	358,71	248,07	153,08	108,35
10:00	170,65	241,32	356,10	422,38	538,54	576,09	574,82	516,65	449,71	329,18	218,36	162,38
11:00	204,66	280,98	403,95	469,12	589,99	627,50	627,70	570,32	505,59	379,68	259,61	196,80
12:00	211,46	288,88	413,43	478,34	600,10	637,59	638,08	580,88	516,64	389,72	267,86	203,70
13:00	189,55	263,41	382,79	448,51	567,34	604,88	604,42	546,66	480,91	357,32	241,30	181,49
14:00	143,82	209,74	317,65	384,51	496,62	534,11	531,68	473,07	404,67	288,84	185,73	135,30
15:00	84,38	138,62	229,64	296,56	398,27	435,16	430,21	371,39	300,93	197,47	113,12	75,63
16:00	23,96	63,67	133,70	197,91	285,83	321,11	313,67	256,36	186,48	100,03	38,54	15,72
17:00	0,00	0,00	44,67	102,00	173,27	205,57	196,23	143,05	78,13	12,96	0,00	0,00
18:00	0,00	0,00	0,00	19,77	72,43	100,26	89,97	43,91	0,00	0,00	0,00	0,00
19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,13	2,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Günlük Toplam	1201,03	1799,04	2844,81	3629,26	4910,88	5407,25	5323,17	4550,70	3697,41	2512,20	1562,49	1126,25

Çizelge 5.2'nin grafiksel gösterimi Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2: Saatlik toplam radyasyon değerlerine ayrıştırılan meteorolojik veriler

5.2 Yatay Düzleme Gelen Toplam Radyasyonun Difüz ve Direkt Bileşenlerine Ayrıştırılması

Algoritmanın ilk adımında meteorolojik verilerin saatlik verilere ayrıştırılmasının ardından saatlik bazdaki toplam radyasyon saatlik bazda difüz ve direkt bileşenlerine ayrıştırılabilir. Oluşturulan algorithmada difüz ve direkt radyasyon ayrıştırma adımında “3.1 Yatay Düzleme Gelen Toplam Radyasyonun Difüz ve Direkt Bileşenlerine Ayrıştırılması Modelleri” konu başlığı altında incelenen 7 model kullanılmıştır.

5.3 Eğik Düzleme Gelen Difüz ve Direkt Radyasyonun Hesaplanması

Algoritmanın bir sonraki adımında β açısı kadar eğimli yüzey için ayrı ayrı direkt ve difüz radyasyon değerleri hesaplanmıştır.

Eğik düzleme gelen direkt radyasyonun hesaplanmasında ise “3.3 Eğik Düzleme Gelen Direkt Güneş Radyasyonu Modeli” konu başlığı altında incelenen model kullanılmıştır.

Eğik düzleme gelen difüz radyasyon değerleri hesaplanırken “3.4 Eğik Düzleme Gelen Difüz Güneş Radyasyonu Modelleri” konu başlığı altında incelenen 11 model kullanılmıştır.

5.4 Eğik Düzleme Gelen Yansıyan Radyasyonunun Hesaplanması

Eğik düzleme gelen yansıyan güneş radyasyonunun hesaplanmasında “3.5 Eğik Düzleme Gelen Yansıyan Güneş Radyasyonu Modeli” konu başlığı altında belirtilen model kullanılmıştır.

5.5 Eğik Düzleme Gelen Toplam Radyasyonunun Hesaplanması

Eğik düzleme gelen difüz, direkt ve yansıyan güneş radyasyonunun hesaplanmasının ardından bu radyasyon değerleri toplanarak eğik düzleme gelen toplam radyasyon değeri elde edilmiştir. İlgili model “3.2 Eğik Düzleme Gelen Toplam Güneş Radyasyonu Modeli” konu başlığı altında incelenmiştir.

5.6 PV Sistem Enerji Modeli

Eğik düzleme gelen toplam radyasyon değerinin hesaplanması adımıyla sona ulaşılana bu değerin PV sistem enerji modeline girdisi sağlanarak PV sistemin enerji çıkışı hesaplanmaktadır. İlgili model “4.1 PV Sistem Enerji Modeli” konu başlığı altında incelenmiştir.

5.7 PV Modül Verim Modeli

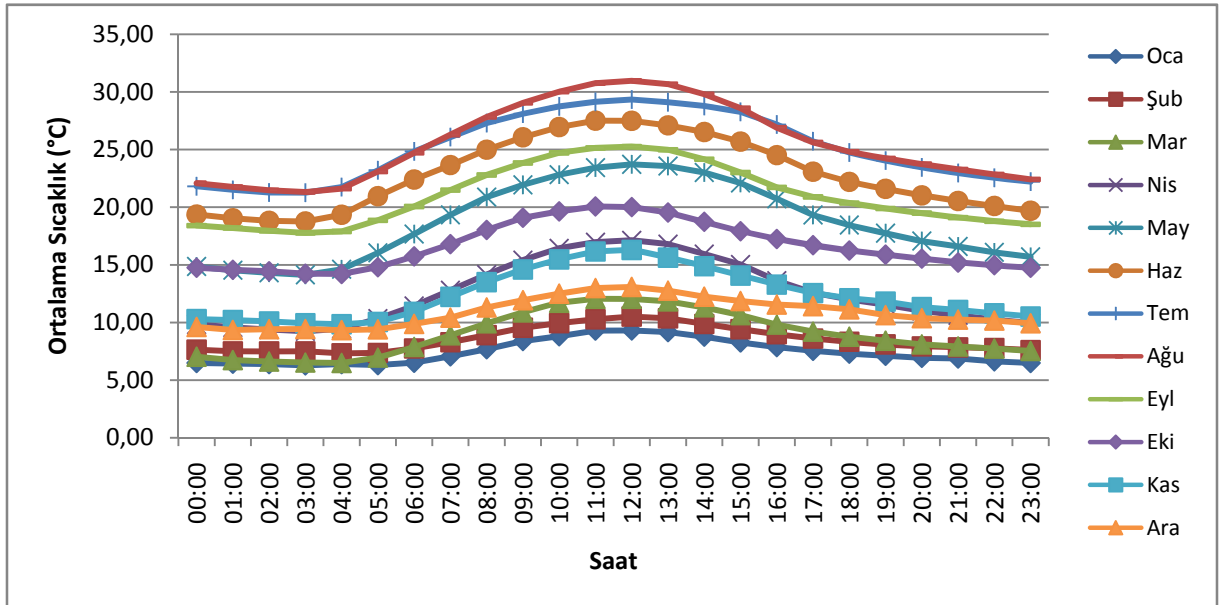
PV sistem enerji modeline bir diğer girdi ise PV modüllerinin dış ortam sıcaklığına bağlı verim modelidir. PV modül veriminin hesaplanmasında “4.2 PV Modül Verim Modeli” konu başlığı altında belirtilen model kullanılmıştır.

PV sistem verim modeli incelendiğinde, modele en önemli girdilerden biri de dış ortam sıcaklığının saatlik bazda değişimidir. Bu açıdan modele diğer bir meteorolojik girdi olan günlük saatlik bazda ortalama sıcaklık değerlerinin dahil olması gerekmektedir. DMİ’den bulunulan talep doğrultusunda 2009 Ocak – 2010 Kasım periyodu boyunca yapılan saatlik ölçüm verileri elde edilmiştir. Belirtilen tarihler arası her gün yapılan ölçümlerin aylık bazda saatlik ortalamaları alınmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 5.3’de verilmektedir.

Çizelge 5.3: Kocaeli bölgesi için DMI'den alınan 2009 Ocak–2010 Kasım dönemi için ortalama değerlere dayanan saatlik ortalama sıcaklık (°C) verileri

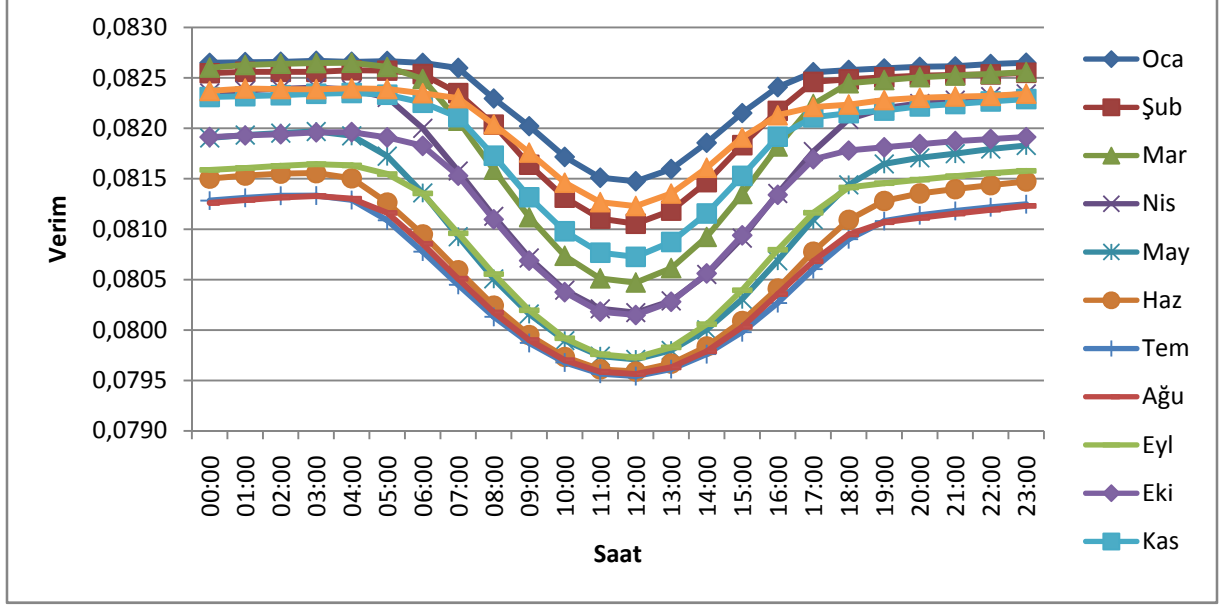
	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
00:00	6,48	7,64	7,03	9,83	14,85	19,37	21,82	22,08	18,41	14,75	10,29	9,62
01:00	6,42	7,49	6,74	9,57	14,53	19,04	21,51	21,76	18,19	14,57	10,21	9,35
02:00	6,39	7,49	6,60	9,39	14,31	18,82	21,28	21,47	17,96	14,44	10,09	9,41
03:00	6,27	7,50	6,52	9,24	14,13	18,76	21,26	21,32	17,77	14,23	9,93	9,44
04:00	6,39	7,32	6,48	9,47	14,61	19,34	21,75	21,60	17,90	14,21	9,84	9,34
05:00	6,30	7,36	6,95	10,34	16,04	20,96	23,21	23,09	18,86	14,80	10,04	9,41
06:00	6,51	7,74	7,87	11,44	17,67	22,40	24,85	24,72	20,06	15,73	10,92	9,88
07:00	7,06	8,29	8,88	12,79	19,33	23,66	26,08	26,29	21,49	16,80	12,22	10,42
08:00	7,68	8,90	9,93	14,15	20,87	24,99	27,30	27,83	22,79	18,03	13,50	11,30
09:00	8,39	9,54	10,86	15,41	21,94	26,06	28,11	29,05	23,83	19,09	14,60	11,93
10:00	8,81	9,95	11,70	16,43	22,82	26,96	28,74	30,02	24,71	19,63	15,48	12,50
11:00	9,30	10,28	12,05	16,96	23,43	27,51	29,14	30,75	25,14	20,07	16,16	12,98
12:00	9,31	10,52	12,04	17,13	23,72	27,49	29,34	30,96	25,25	20,01	16,30	13,08
13:00	9,17	10,36	11,83	16,80	23,57	27,10	29,10	30,67	24,98	19,54	15,63	12,75
14:00	8,77	9,87	11,31	15,94	23,00	26,52	28,79	29,79	24,16	18,74	14,88	12,24
15:00	8,27	9,41	10,63	15,04	22,09	25,69	28,27	28,58	23,01	17,92	14,07	11,85
16:00	7,86	8,99	9,81	13,63	20,73	24,52	27,17	26,89	21,72	17,24	13,29	11,56
17:00	7,54	8,61	9,20	12,58	19,32	23,08	25,72	25,62	20,89	16,70	12,55	11,41
18:00	7,29	8,33	8,76	12,00	18,45	22,20	24,74	24,82	20,36	16,24	12,09	11,14
19:00	7,11	8,10	8,42	11,54	17,74	21,59	24,05	24,23	19,89	15,89	11,81	10,64
20:00	6,93	7,93	8,10	11,01	17,06	21,03	23,45	23,74	19,49	15,54	11,33	10,38
21:00	6,88	7,84	7,91	10,63	16,59	20,54	22,97	23,27	19,10	15,20	11,08	10,25
22:00	6,63	7,78	7,73	10,25	16,08	20,11	22,55	22,84	18,78	14,97	10,79	10,17
23:00	6,49	7,60	7,53	9,94	15,69	19,69	22,22	22,41	18,51	14,75	10,52	9,93

Çizelge 5.3'ün grafiksel gösterimi Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Saatlik ortalama sıcaklık verileri

Örneğin “8.1 Teorik Optimizasyon” konu başlığı altında bahsedilen farklı modellerden Model 1 için saatlik bazda değişim gösteren verim eğrileri her bir ay için oluşturulmuş ve Şekil 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.4: Model 1 için oluşturulan saatlik bazda PV modül verim eğrileri

5.8 İnverter Verimi

“4.3 İnverter Verimi” konu başlığı altında belirtildiği gibi 0,82 olarak modele dahil edilmiştir.

6. DENEYSEL YÖNTEM

Deneysel veri olarak Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de görülen Arçelik-LG işletmesinde kurulu PV sisteminin (Gebze, Kocaeli, E 40,87°, B 29,42°, yükseklik 94 m) ürettiği elektrik enerjisi değerleri dikkate alınmıştır.



Şekil 6.1: Arçelik-LG PV sistemi



Şekil 6.2: Arçelik-LG PV sistemi ve çevre yapısı

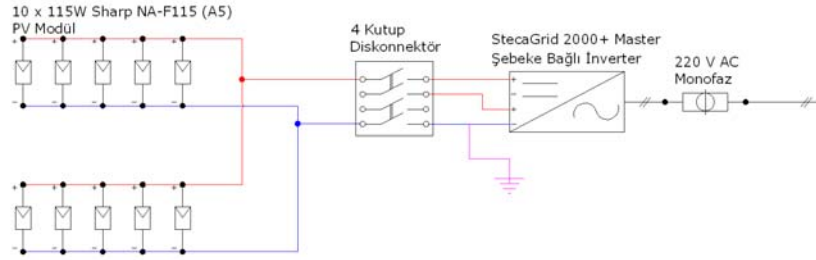
Çalışmada, 01 Kasım 2009’dan 01 Kasım 2010’a kadarki bir yıllık süreçte kayıt edilen datalar değerlendirilmiştir. Sistemin genel parametreleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Sistem genel parametreleri

Ana Sistem Parametreleri	
Sistem tipi:	Şebeke bağlı
Yüzey eğimi (β):	29°
Yüzey azimut açısı (γ):	0°
Toplam Yüzey Alanı (A_c):	14,2 m ²
PV Modül	
Marka, Model:	Sharp, NA-F115 (A5)
Toplam modül sayısı:	10
Nominal güç:	115 W
Toplam nominal güç:	1,15 kW
İnverter	
Marka / model:	Steca / StecaGrid 2000+ Master
Nominal güç:	2,00 kW AC

6.1 Sistemde Kullanılan PV Modüller

Sistemde “Sharp” marka “NA-F115 (A5)” model güneş panelleri kullanılmıştır. Her bir panelin yüzey alanı 1,42 m²’dir. Sistem Şekil 6.3’de gösterildiği gibi paralel bağlı 10 adet PV modülden oluşmaktadır. Modüllere ait elektriksel veriler Çizelge 6.2 ‘de verilmiştir.



Şekil 6.3: Arçelik-LG PV sistemi bağlantı şeması

Çizelge 6.2: Sharp NA-F115 (A5) modül özellikleri

Maksimum güç:	115 W
Açık devre voltajı:	238 V
Kısa devre akımı:	0,810 A
Maksimum güç noktasındaki voltaj değeri:	174 V
Maksimum güç noktasındaki akım değeri:	0,661 A
NOCT:	44 °C
Sıcaklık katsayısı - açık devre voltajı:	-0,30 %/ °C
Sıcaklık katsayısı - kısa devre voltajı:	+0,07 %/ °C
Sıcaklık katsayısı – güç:	-0,24 %/ °C
Modül:	Amorphus Silicon (a-Si)
Modül verimi (η_{ref}):	8.1%
* Elektriksel data verileri standart test koşullarında elde edilmiştir; 1000 W/m ² radyasyon, ışık spektrumu AM 1,5 ve 25 °C hücre sıcaklığı. * NOCT koşulları: 800 W/m ² radyasyon, ortam sıcaklığı 20 °C ve rüzgar hızı 1 m/s.	

6.2 Sistemde Kullanılan İnverter

İnverter, PV modüllerde üretilen doğru akımı alternatif akıma çeviren cihazdır. İnverterler iki gruba ayrılabilir. Bunlardan birincisi şebekeden bağımsız inverterler, şebekeden izole sistemlerde kullanılmaktadır. Diğer tip inverter şebeke bağlı inverterlerdir, bu tip inverterler dönüştürdüğü enerjinin kullanım fazlasını şebekeye iletmektedirler.

Arçelik-LG işletmesindeki PV sistemde Şekil 6.4’de görülen “Steca” marka “StecaGrid 2000+ Master” model bir şebeke bağlı inverter kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.3’de verilmektedir.



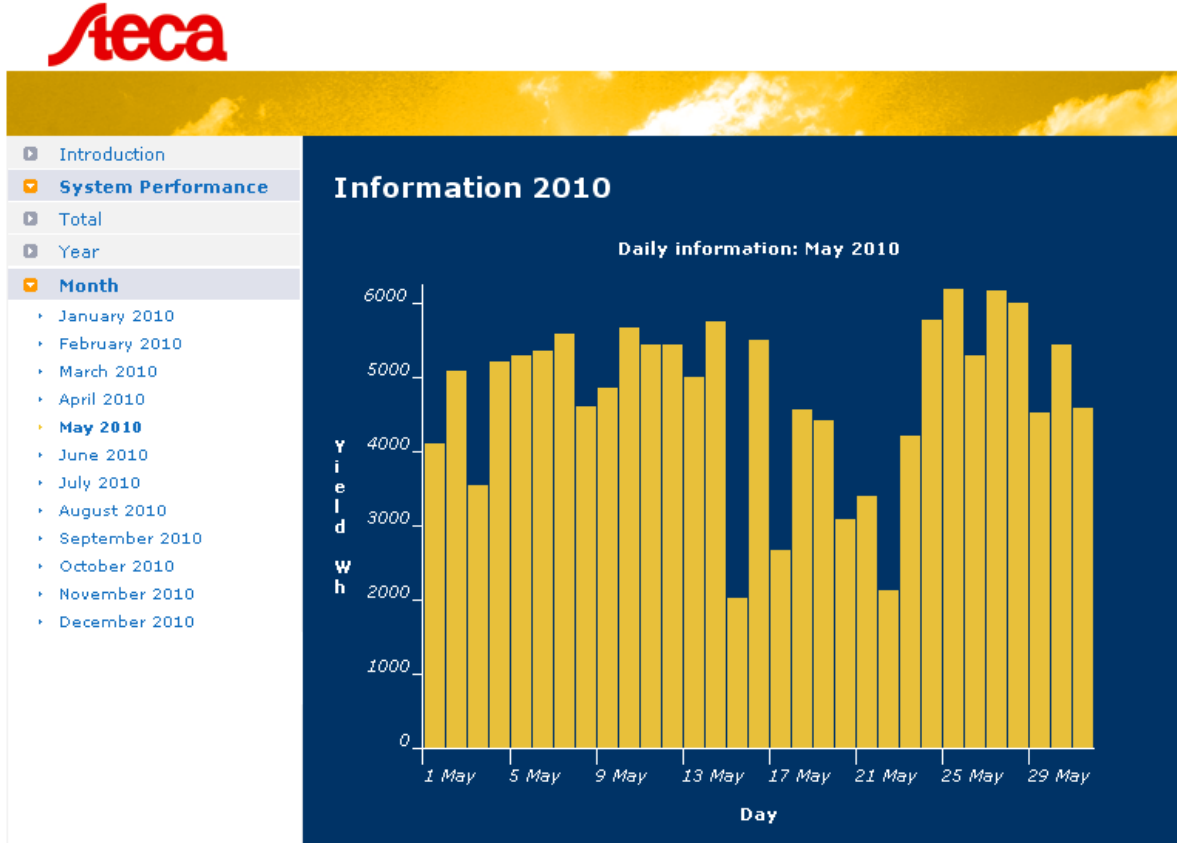
Şekil 6.4: Arçelik-LG işletmesindeki PV sistemde kullanılan inverter

Çizelge 6.3: StecaGrid 2000+ Master teknik özellikleri

İnverter marka/model: Steca / StecaGrid 2000+ Master	
DC giriş spesifikasyonları	
Giriş voltaj aralığı	80 V - 450 V
MPPT aralığı	80 V - 400 V
Maksimum başlama voltajı	410 V
Maksimum giriş gücü	1075 W tek giriş ya da 2150 W iki paralel giriş
Maksimum giriş akımı	2x8 A (inverter sınırlı) ya da 1x16 A (paralel giriş)
DC bağlantısı	MultiContact MC 4 (Solarline 2)
AC çıkış spesifikasyonları	
Çıkış	2000 W
Voltaj	195 V – 265 V (bölgesel özelliklere bağlı)
Şebeke tipi	L/N + PE, tek fazlı
Şebeke frekansı	47,5 – 52 Hz (bölgesel özelliklere bağlı)
Verim (ölçülen değer)	82,0%
Genel spesifikasyonları	
İzolasyon prensibi	Galvanik izolasyonlu HF transformatör
Ölçüler (YxGxD)	515x140x351 mm
Ortam sıcaklığı aralığı	-25°C ... +60°C
Ortam nem aralığı	%95 bağıl neme kadar
Ses seviyesi	< 32 dB
Diğer	
Data kayıt	cihaz entegre (toplam üretilen elektrik enerjisi)

6.3 Veri Kaydetme ve Değerlendirme Sistemi

Sistemde kullanılan inverter aynı zamanda alternatif akıma dönüştürülen elektrik enerjisinin data kaydını gerçekleştirmektedir. Şekil 6.5’de invertere bağlı bir bilgisayardan erişilebilen veri kayıt ara yüzü görülmektedir. Sistem günlük bazda toplam dönüştürülen elektrik enerjisi miktarını kayıt altına almaktadır.



Şekil 6.5: Veri kayıt sistemi ara yüzü

7. İSTATİSTİKSEL YÖNTEM

Oluşturulan modelleri karşılaştırmak için Iqbal (1983) ve Notton vd. (2004) tarafından önerilen istatistiksel değerler kullanılmıştır; göreceli ortalama sapma hatası (relative mean square error – MBE), göreceli ortalama kare hatası (relative root mean square error – RMSE) ve korelasyon katsayısı (correlation coefficient – CC).

MBE, RMSE ve CC şu şekilde ifade edilmektedir,

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N \bar{x}} \quad (7.1)$$

$$RMSE = \frac{\left[\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N} \right]^{0,5}}{\bar{x}} \quad (7.2)$$

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\left\{ \left[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right] \right\}^{0,5}} \quad (7.3)$$

Burada; y_i hesaplanan değer, x_i ölçülen değer, $\bar{y}$ hesaplanan değerlerin ortalaması ve $\bar{x}$ ölçülen değerlerin ortalamasıdır.

MBE değeri kullanılan modelin ölçülen değere göre düşük yaklaşım veya yüksek yaklaşım yaptığı hakkında fikir vermektedir. İdealde MBE değeri sıfıra yakınsamalıdır (Notton vd., 2004).

RMSE değeri ise modelin uygunluğu (yeterliliği) hakkında fikir vermektedir. Yapılan benzer çalışmalarda RMSE değeri, uygun modeller için %10 değerinin altında olduğu gözlemlenmiştir (Notton vd., 2004).

CC değeri ise modelin eğri karakteristiğinin ölçümün eğri karakteristiği ile uyumunu gösteren bir parametredir.

8. OPTİMİZASYON

Çalışmada incelenen modeller ve oluşturulan model algoritması doğrultusunda, oluşturulan farklı model kombinasyonları incelenmiş ve bu adım “8.1 Teorik Optimizasyon” konu başlığı altında sunulmuştur.

Teorik optimizasyon sonucu belirlenen en iyi model kombinasyonu, “8.2 Parametrik Optimizasyon” konu başlığı altında dizayn parametrelerindeki değişkenliğin sistem çıktısına etkisinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

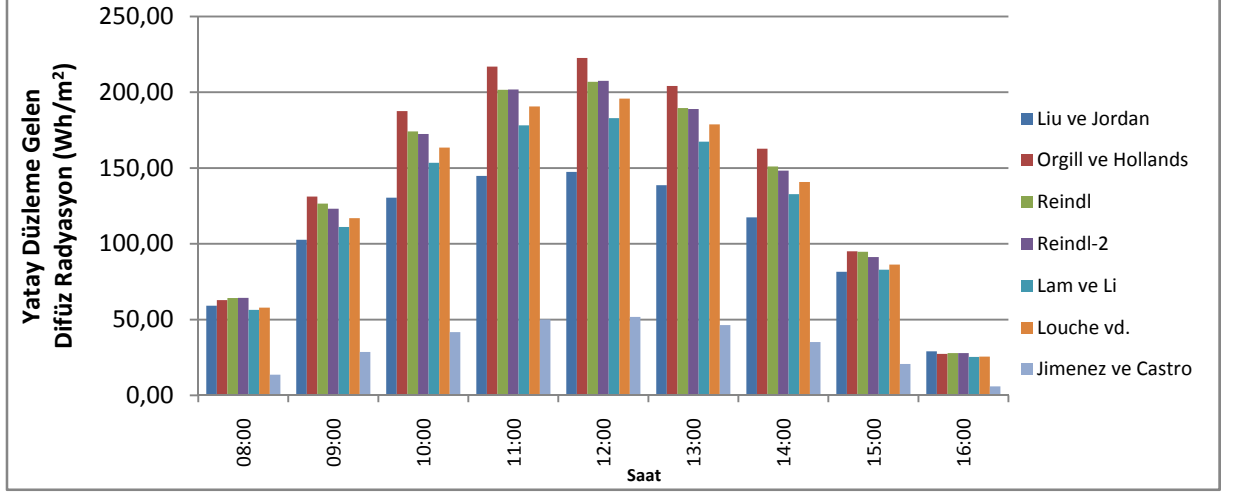
8.1 Teorik Optimizasyon

Önceki bölümlerde, algoritmada oluşturulan her adım için kullanılan, literatürde kabul görmüş matematik modeller ortaya konulmuştur. Bu modellerin, eğik düzleme gelen toplam güneş radyasyonu hesabında farklı kombinasyonlarının kullanımı ile PV sistem üretilen toplam enerji modelinin hiçbir model kombinasyonunu açıkta bırakmayacak şekilde 77 farklı kombinasyonunu türetmek mümkündür. Çizelge 8.1’de ilgili parametrenin hesaplamalarında kullanılan modeller verilmektedir. Oluşturulan tüm model kombinasyonları Ek 1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1: Kullanılan matematik modeller

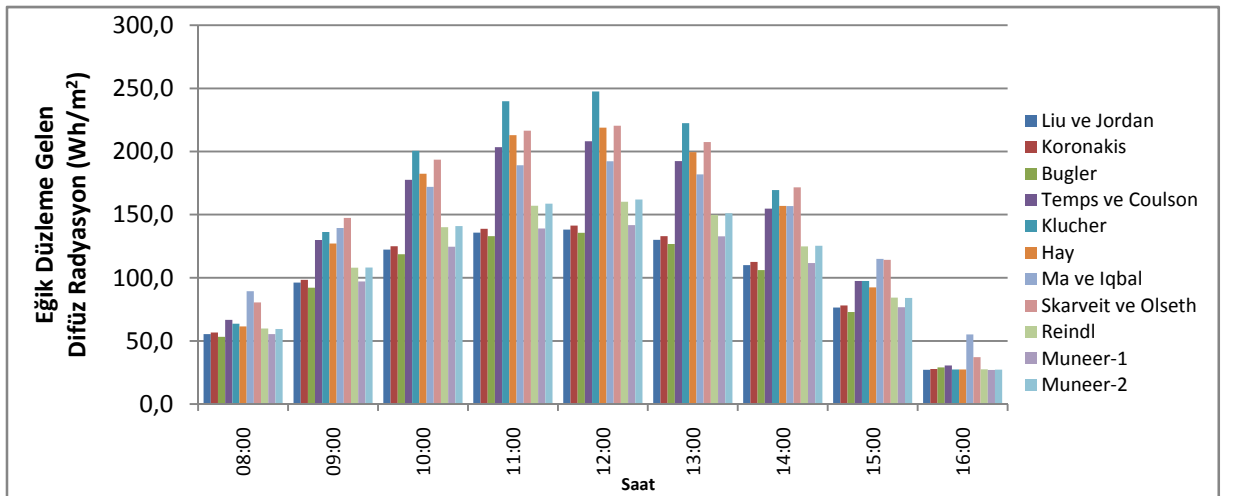
Difüz - Direkt Ayrıştırma Modelleri	
Liu ve Jordan	Lam ve Li
Orgill ve Hollands	Louche vd.
Reindl vd.	Jimenez ve Castro
Reindl-2	-
Eğik Düzlem Difüz Radyasyon Modelleri ($I_{d,\beta}$)	
Liu ve Jordan	Ma ve Iqbal
Koronakis	Skarveit ve Olseth
Bugler	Reindl
Temps ve Coulson	Muneer-1
Klucher	Muneer-2
Hay	-
Eğik Düzlem Toplam Radyasyon Modeli ($I_{t,\beta}$)	
Liu ve Jordan	
Eğik Düzlem Direkt Radyasyon Modeli ($I_{b,\beta}$)	
Liu ve Jordan	
Eğik Düzlem Yansıyan Radyasyon Modeli ($I_{r,\beta}$)	
Liu ve Jordan	
PV Sistem Enerji Modeli (E_t)	
Duffie ve Beckman	
PV Verim Modeli (η)	
Kou vd.	

Algoritmanın ilk adımı olan toplam radyasyonun difüz ve direkt bileşenlerine ayrıştırılması, model çıktısına doğrudan etki etmektedir. Bu açıdan PV sistemin bulunduğu konum (Gebze, Kocaeli, E 40,87°, B 29,42°, yükseklik 94 m) için teorik optimizasyonun daha doğru bir şekilde yapılabilmesi difüz-direkt ayrıştırma modellerinin geniş bir aralığı tarıyor olmasına bağlıdır (Şekil 8.1). Tüm aylar için oluşturulan grafikler Ek 2’de verilmiştir.



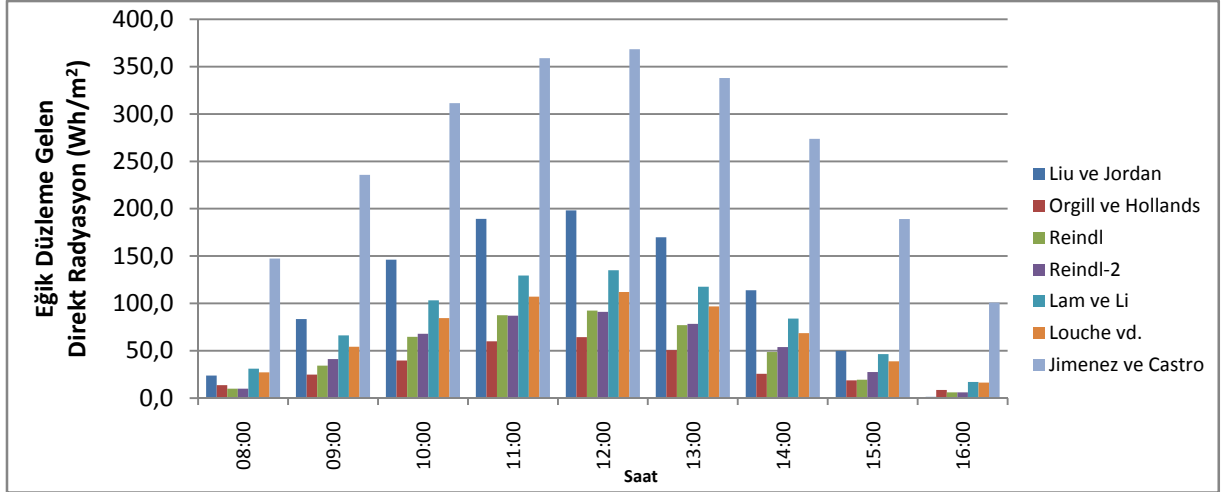
Şekil 8.1: Algoritmada kullanılan 7 farklı ayrıştırma modeli için hesaplanan yatay düzleme gelen difüz radyasyon değerleri (Ocak)

Algoritmada eğik düzleme gelen difüz radyasyonun hesaplanması adımı 11 farklı eğik düzlem difüz radyasyon modeli kullanılmıştır. Şekil 8.2’de Liu ve Jordan ayrıştırma modelinden elde edilen direkt bileşene göre oluşturulan grafikte görülebileceği gibi difüz radyasyon modelleri ayrıştırma modellerine benzer şekilde geniş bir veri aralığını taramaktadır.



Şekil 8.2: Algoritmada kullanılan 11 farklı eğik düzlem difüz radyasyon modeli için hesaplanan eğik düzleme gelen difüz radyasyon değerleri (Ocak, Liu ve Jordan ayrıştırma modeli)

Algoritmada kullanılan eğik düzlem direkt radyasyon modeli, 7 farklı ayrıştırma modelinden elde edilen yatay düzlem direkt radyasyon değerlerine uygulandığında eğik düzleme gelen direkt radyasyon çıktıları Şekil 8.3’de görüldüğü gibi geniş bir aralıkta varyasyon göstermektedir. Tüm aylar için oluşturulan grafikler Ek 3’de verilmiştir.



Şekil 8.3: Algoritmada kullanılan eğik düzlem direkt radyasyon modeli için hesaplanan eğik düzleme gelen direkt radyasyon değerleri (Ocak, 7 farklı ayrıştırma modeli için)

Eğik düzleme gelen yansıyan radyasyon modeline tek girdi toplam radyasyon değeridir. Meteorolojiden elde edilen toplam radyasyon değeri modele uygulandığında Ocak ayı için Şekil 8.4’de görüldüğü gibi günlük bazda bir değişim gözlemlenmektedir.



Şekil 8.4: Algoritmada kullanılan eğik düzlem yansıyan radyasyon modeli için hesaplanan eğik düzleme gelen yansıyan radyasyon değerleri (Ocak)

Model karşılaştırılması için, deneysel verilerin günlük toplam bazda olmasından dolayı, yıllık bazda model optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Modellenen saatlik verilerden günlük toplam değerler elde edilmiş ve bu verilerden de aylık toplam değerlere ulaşılmıştır. Deneysel veri

toplamda 365 günlük veriden oluşmaktadır. Bu verilerin ay bazında toplamaları modellerin karşılaştırılmasına olanak vermektedir.

“5. Model Algoritması” konu başlığı altında belirtilen algoritma ve “7. İstatistiksel Yöntem” konu başlığı altında incelenen yöntem uyarınca modellerin MBE, RMSE ve CC değerleri Çizelge 8.2’de verildiği gibi hesaplanmıştır. Ayrıca bu değerlerin en büyük MBE değerine göre sıralanmış olanı Ek 5’de, RMSE değerine göre sıralanmış olanı Ek 6’da ve CC değerine göre sıralanmış olanı Ek 7’de verilmiştir.

Çizelge 8.2: Oluşturulan model kombinasyonlarının MBE, RMSE ve CC değerleri

Model Kombinasyonları	MBE	RMSE	CC	Model Kombinasyonları	MBE	RMSE	CC
Model 1	-0,51%	6,07%	99,61%	Model 40	-0,91%	7,24%	99,50%
Model 2	-5,72%	9,09%	99,05%	Model 41	-1,83%	7,31%	99,40%
Model 3	-4,99%	8,19%	99,26%	Model 42	12,03%	20,12%	99,24%
Model 4	-5,57%	8,74%	99,25%	Model 43	6,80%	11,56%	99,55%
Model 5	-2,73%	7,69%	99,36%	Model 44	4,51%	9,31%	99,55%
Model 6	-3,53%	8,04%	99,25%	Model 45	4,78%	9,46%	99,59%
Model 7	10,57%	18,73%	99,35%	Model 46	4,58%	9,43%	99,59%
Model 8	0,50%	5,87%	99,62%	Model 47	5,96%	10,95%	99,58%
Model 9	-4,18%	7,98%	99,06%	Model 48	5,59%	10,55%	99,57%
Model 10	-3,54%	7,17%	99,26%	Model 49	13,07%	20,69%	99,22%
Model 11	-4,06%	7,60%	99,25%	Model 50	19,37%	19,70%	99,69%
Model 12	-1,45%	7,01%	99,36%	Model 51	23,64%	26,05%	99,19%
Model 13	-2,17%	7,23%	99,25%	Model 52	23,28%	25,11%	99,40%
Model 14	10,96%	18,81%	99,35%	Model 53	23,82%	25,97%	99,31%
Model 15	1,19%	5,97%	99,60%	Model 54	23,47%	24,29%	99,52%
Model 16	-1,34%	6,65%	99,04%	Model 55	23,70%	24,85%	99,44%
Model 17	-1,02%	6,12%	99,22%	Model 56	18,18%	22,72%	99,36%
Model 18	-1,39%	6,32%	99,19%	Model 57	1,69%	6,47%	99,62%
Model 19	0,13%	6,40%	99,31%	Model 58	-4,04%	7,71%	99,19%
Model 20	-0,27%	6,43%	99,22%	Model 59	-3,14%	6,71%	99,41%
Model 21	8,00%	16,36%	99,45%	Model 60	-3,86%	7,32%	99,40%
Model 22	10,03%	12,70%	99,53%	Model 61	-0,47%	7,05%	99,50%
Model 23	9,74%	11,63%	99,45%	Model 62	-1,39%	7,08%	99,40%
Model 24	9,66%	11,58%	99,49%	Model 63	12,19%	20,16%	99,24%
Model 25	9,57%	11,53%	99,50%	Model 64	1,03%	5,41%	99,59%
Model 26	10,26%	12,65%	99,51%	Model 65	-5,06%	8,59%	99,00%
Model 27	10,20%	12,44%	99,49%	Model 66	-4,12%	7,49%	99,22%
Model 28	14,35%	21,04%	99,23%	Model 67	-4,87%	8,12%	99,21%
Model 29	8,40%	9,89%	99,59%	Model 68	-1,54%	6,86%	99,32%
Model 30	2,75%	6,20%	99,28%	Model 69	-2,48%	7,27%	99,20%
Model 31	3,96%	6,17%	99,48%	Model 70	11,95%	18,91%	99,35%
Model 32	3,21%	5,87%	99,46%	Model 71	2,47%	6,25%	99,61%
Model 33	7,05%	8,90%	99,52%	Model 72	-3,91%	7,61%	99,15%
Model 34	6,02%	8,08%	99,45%	Model 73	-2,85%	6,46%	99,38%
Model 35	15,25%	21,38%	99,24%	Model 74	-3,68%	7,14%	99,37%
Model 36	1,33%	6,50%	99,62%	Model 75	0,07%	6,69%	99,47%
Model 37	-4,46%	8,02%	99,20%	Model 76	-0,96%	6,75%	99,36%
Model 38	-3,57%	7,03%	99,42%	Model 77	12,92%	20,28%	99,25%
Model 39	-4,29%	7,67%	99,40%				

Modeller MBE değerlerine göre -%2,00 ile +%2,00 aralığında filtrelendiğinde ve büyük MBE değerinden küçük MBE değerine doğru sıralandığında Çizelge 8.3'deki tablo elde edilmektedir.

Çizelge 8.3: MBE değeri -2,00% ile +2,00% arasında olan modeller

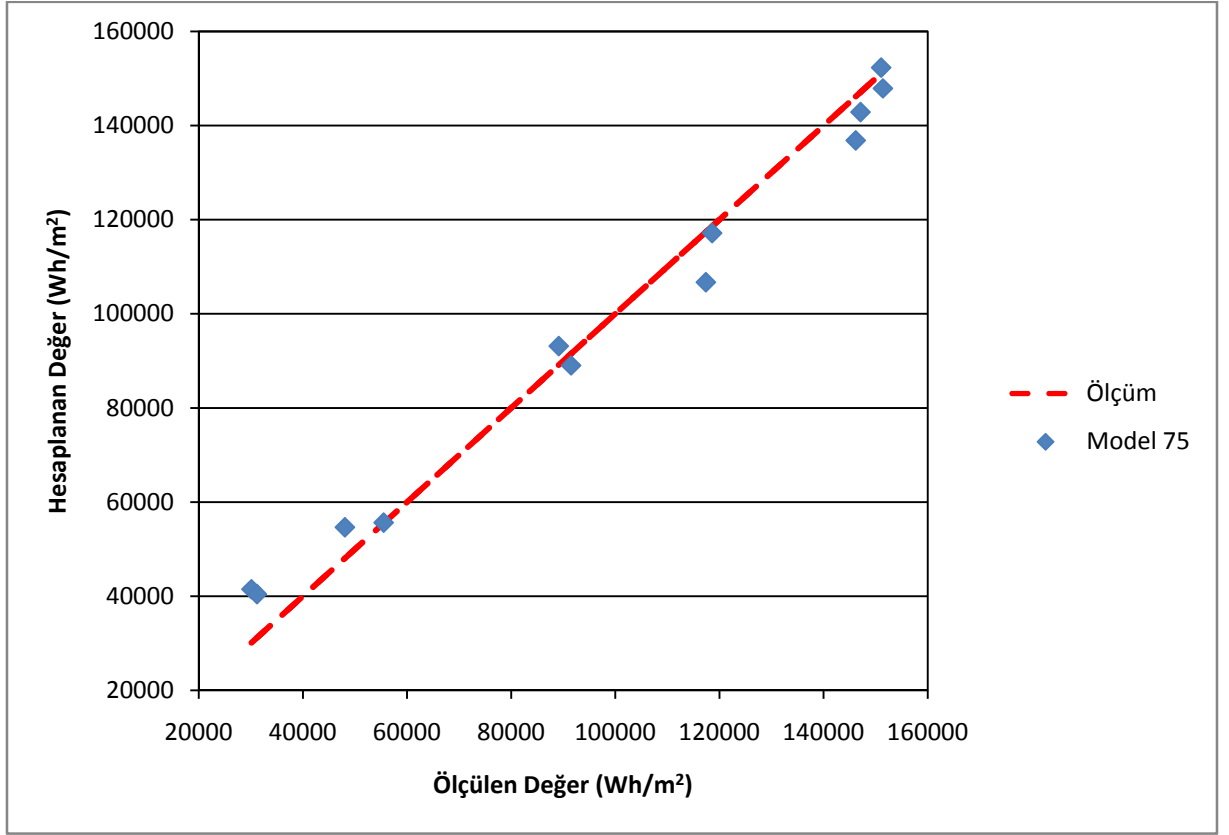
Model Kombinasyonları	MBE	RMSE	CC
Model 57	1,69%	6,47%	99,62%
Model 36	1,33%	6,50%	99,62%
Model 15	1,19%	5,97%	99,60%
Model 64	1,03%	5,41%	99,59%
Model 8	0,50%	5,87%	99,62%
Model 19	0,13%	6,40%	99,31%
Model 75	0,07%	6,69%	99,47%
Model 20	-0,27%	6,43%	99,22%
Model 61	-0,47%	7,05%	99,50%
Model 1	-0,51%	6,07%	99,61%
Model 40	-0,91%	7,24%	99,50%
Model 76	-0,96%	6,75%	99,36%
Model 17	-1,02%	6,12%	99,22%
Model 16	-1,34%	6,65%	99,04%
Model 18	-1,39%	6,32%	99,19%
Model 62	-1,39%	7,08%	99,40%
Model 12	-1,45%	7,01%	99,36%
Model 68	-1,54%	6,86%	99,32%
Model 41	-1,83%	7,31%	99,40%

Bu değerlere göre yıllık bazda en küçük MBE değeri “Model 75” olarak adlandırılmış kombinasyonda elde edilmektedir. Oluşturulan model kombinasyonunun kullandığı alt modeller Çizelge 8.4’de verilmektedir. Çizelge 8.4 incelendiğinde, MBE değeri %-0,5 ile %0,5 aralığında olan beş modelden üçünün “Lam ve Li” ayrıştırma modeli kullandığı dikkat çekmektedir.

Çizelge 8.4: Model 8, Model 19, Model 75, Model 20 ve Model 61; MBE, RMSE, CC değerleri ve kullanılan alt modeller (soldan sağa MBE değerine göre sıralanmış)

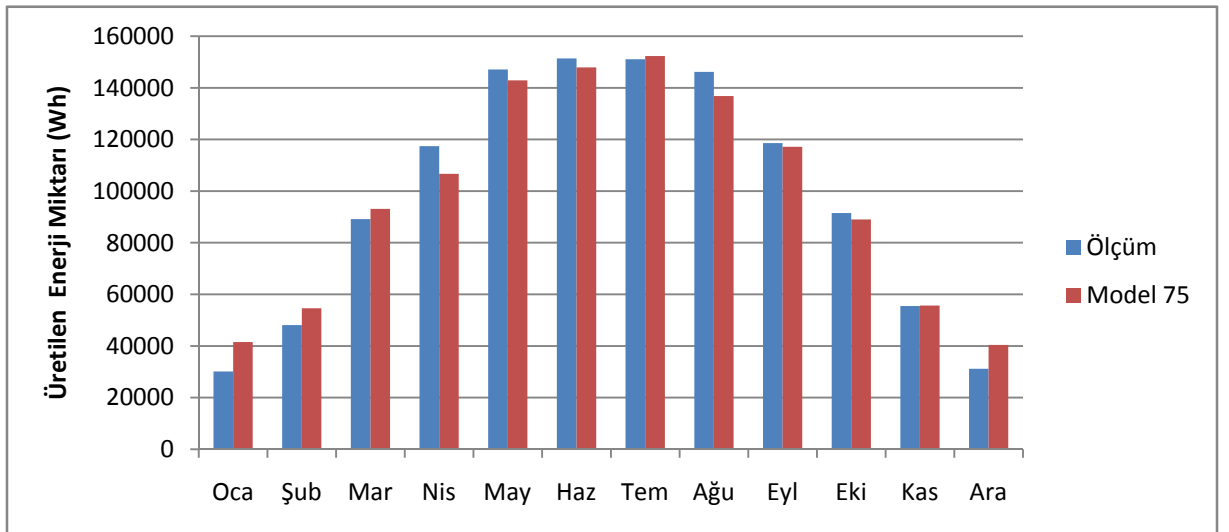
	Model 8	Model 19	Model 75	Model 20	Model 61
MBE	0,50%	0,13%	0,07%	-0,27%	-0,47%
RMSE	5,87%	6,40%	6,69%	6,43%	7,05%
CC	99,62%	99,31%	99,47%	99,22%	99,50%
Ayrıştırma Modeli	Liu ve Jordan	Lam ve Li	Lam ve Li	Louche vd.	Lam ve Li
I_{d,β} Modeli	Koronakis	Bugler	Muneer-2	Bugler	Reindl
Diğer modeller	I _{b,β} Modeli: Liu ve Jordan, I _{r,β} Modeli: Liu ve Jordan, I _{t,β} Modeli: Liu ve Jordan, PV Sistem Enerji Modeli: Duffie ve Beckman, PV Modül Verim Modeli: Kou vd.				

Model 75 için deneysel veriler ile hesaplanan verilerin karşılaştırılması Şekil 8.5’de verilmektedir. Bu modelin MBE değeri %0,07, RMSE değeri %6,69 ve CC değeri %99,47’dir.



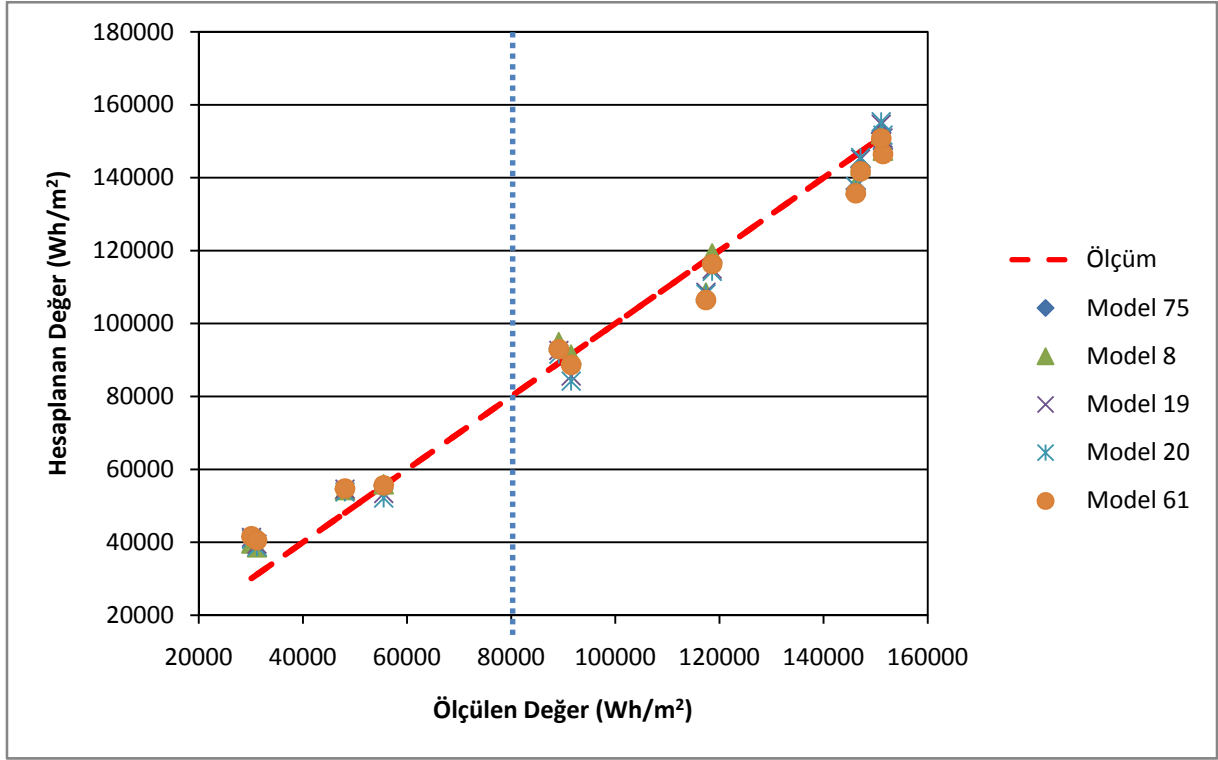
Şekil 8.5: Model 75 için hesaplanan değerler

Kolon grafik gösterimi ile ölçüm ve “Model 75” arasındaki fark Şekil 8.6’daki gibi olmaktadır.



Şekil 8.6: Model 75 ve ölçüm verilerinin karşılaştırılması

Şekil 8.7’de “Model 8”, “Model 19”, “Model 20”, “Model 61” ve “Model 75”e ait hesaplanan veriler tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. MBE değerlerinden de öngörülebileceği gibi modeller birbirlerine çok yakın sonuçlar vermektedir. Modellerin farklılıkları grafikten gözlemlenebildiği gibi 80000’den sonraki verilerin sapmaların diğer noktalara göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.



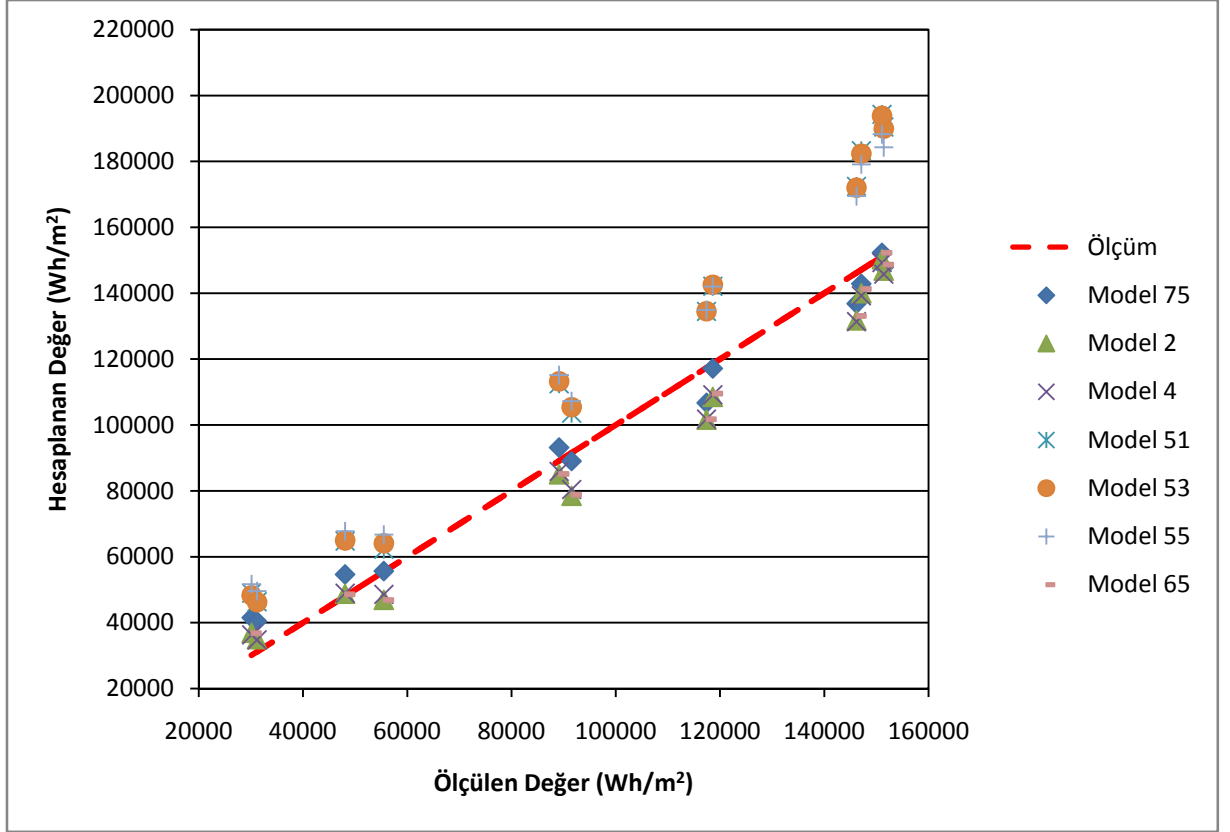
Şekil 8.7: Model 8, Model 19, Model 20, Model 61 ve Model 75 için hesaplanan değerler

Oluşturulan model kombinasyonlarının MBE, RMSE ve CC değerleri Çizelge 8.2’ye göre MBE değeri en yüksek ve en düşük olan üçer model Çizelge 8.5’de verilmiştir. MBE değeri en yüksek çıkan üç modelde de “Skarveit ve Olseth” eğik düzlem difüz radyasyon modeli kullanılmış olması dikkat çekmektedir. MBE değeri en düşük çıkan üç modelden ikisinde de “Liu ve Jordan” eğik düzlem difüz radyasyon modeli kullanılmıştır.

Çizelge 8.5: MBE değeri en yüksek ve en düşük modeller (soldan sağa MBE değerine göre sıralanmış)

	Model 53	Model 55	Model 51	Model 65	Model 4	Model 2
MBE	23,82%	23,70%	23,64%	-5,06%	-5,57%	-5,72%
RMSE	25,97%	24,85%	26,05%	8,59%	8,74%	9,09%
CC	99,31%	99,44%	99,19%	99,00%	99,25%	99,05%
Ayrıştırma Modeli	Reindl-2	Louche vd.	Orgill ve Hollands	Orgill ve Hollands	Reindl-2	Orgill ve Hollands
$I_{d,\beta}$ Modeli	Skarveit ve Olseth	Skarveit ve Olseth	Skarveit ve Olseth	Muneer-1	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan
Diğer modeller	$I_{b,\beta}$ Modeli: Liu ve Jordan, $I_{r,\beta}$ Modeli: Liu ve Jordan, $I_{t,\beta}$ Modeli: Liu ve Jordan, PV Sistem Enerji Modeli: Duffie ve Beckman, PV Modül Verim Modeli: Kou vd.					

Çizelge 8.5’de belirtilen modellerin hesaplanan verileri tek bir grafikte ölçüm değerleri ile karşılaştırıldığında Şekil 8.8’deki grafik oluşmaktadır. “Model 51”, “Model 53”, ve “Model 55” ölçüm değerinden daha yüksek sonuçlar vermektedir. “Model 2”, “Model 4” ve “Model 65” ölçüm değerinden daha düşük sonuçlar vermektedir.



Şekil 8.8: Model 2, Model 4, Model 51, Model 53, Model 55, Model 65 ve Model 75 hesaplanan değerler

8.2 Parametrik Optimizasyon

PV panel üzerine düşen toplam radyasyon daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi üç bileşenden oluşmaktadır; difüz, direkt ve yansıyan. Difüz radyasyon PV panel üzerine herhangi bir açıdan yaklaşabilirken, direkt radyasyon yalnızca tek doğrultu üzerinden panel üzerine gelmektedir. Atmosferik bileşenler toplam radyasyonun bir kısmını kırdığı sürece hava açık olsa bile bir miktar difüz radyasyon oluşur.

Yeryüzünde herhangi bir yüzeyin oryantasyonu iki farklı açı ile tanımlanabilir; yüzey eğim açısı (β) ve yüzey azimut açısı (γ). Yüzey eğimi açısı daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi yüzeyin yatay düzleme göre ne kadar eğimli olduğunu tanımlarken yüzey azimut açısı ise yüzeyin kuzey-güney ve doğu-batı koordinatlarına göre hangi yöne baktığını tanımlar (güneye bakan 0° , doğu -90° , kuzey 180° ve batı 90°). Kuzey yarım küredeki bir sistem için optimum azimut açısı 0° , güney yarım küredeki bir sistem için ise optimum azimut açısı 180° dir.

Kocaeli – Gebze, Arçelik – LG işletmesinde kurulu PV sistemin yüzey eğim açısı 29° , yüzey azimut açısı 0° dir. PV sistem $40,87^\circ$ enlem ve $29,42^\circ$ boylam koordinatlarında bulunmaktadır ve deniz seviyesinden 94 m yüksekliktedir. Bu optimizasyon çalışmasının amacı, “8.1 Teorik Optimizasyon” konu başlığı altında belirlenen sistemin enerji üretimini en iyi açıklayan model kombinasyonunun (Model 75) kullanımıyla yıllık bazda ve aylık bazda optimum yüzey eğim açısının belirlenmesi, alt modellerinin kullanımıyla da ise yüzey eğim açısının difüz, direkt ve yansıyan radyasyon değerlerine etkisinin incelenmesidir.

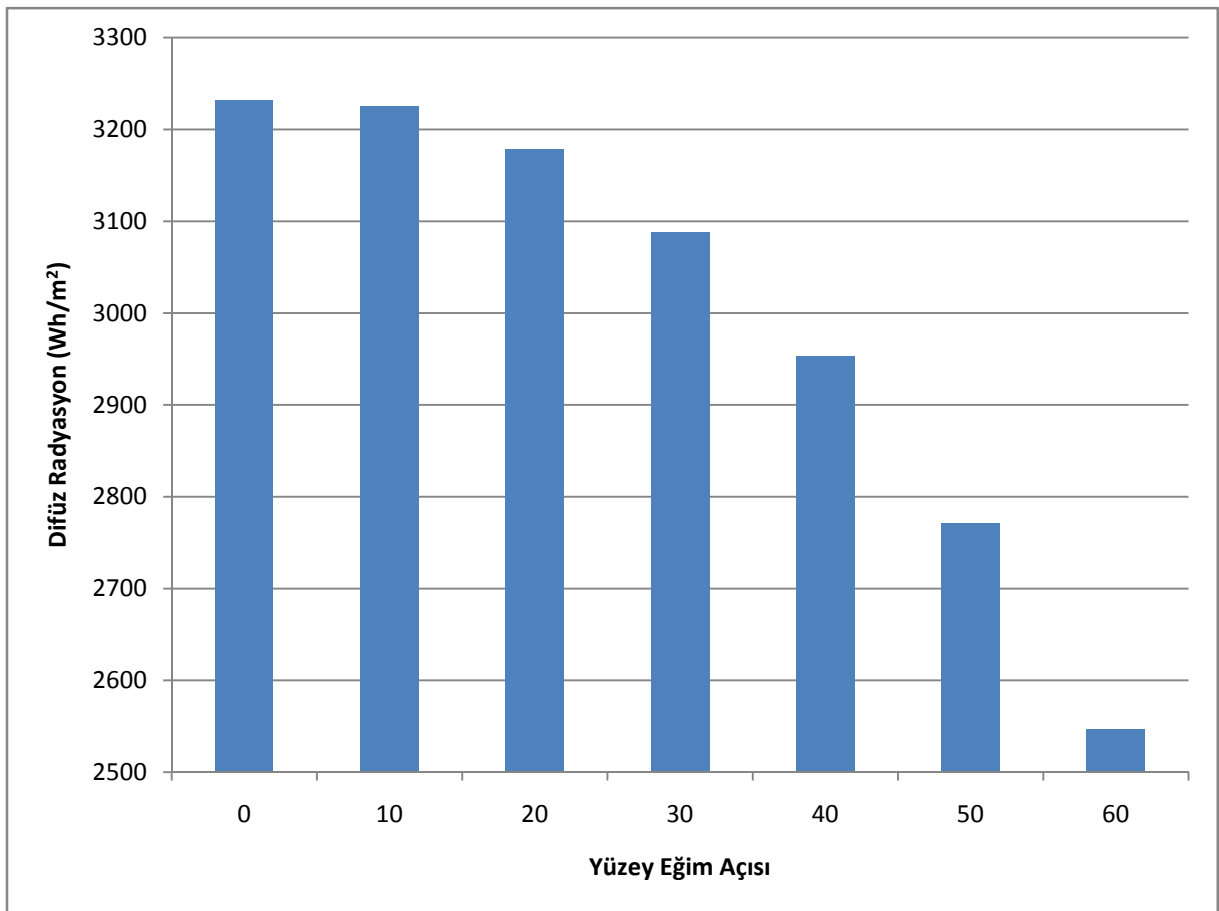
Bununla birlikte literatürde yapılan benzer çalışmalar bulunmaktadır. Buresch (1983) yaptığı çalışmada güneye bakan bir sistem için optimum eğim açısının sistemin bulunduğu enleme bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Buresch’e göre bir PV sistemden maksimum enerji elde edilmek isteniyorsa, kış ayları için yüzey eğim açısı enlem açısından yaklaşık 11° fazla, yaz ayları için ise 11° düşük olmalıdır.

Gong ve Kulkarni (2005) ise Illinois’de kurulu bir PV sistem için PV enerji modeli oluşturarak yüzey eğim açısının mevsimsel bazda ve yıllık bazda PV sistem enerji üretimine etkisini incelemiştir.

8.2.1 Yüzey Eğim Açısının Difüz Radyasyon Bileşenine Etkisi

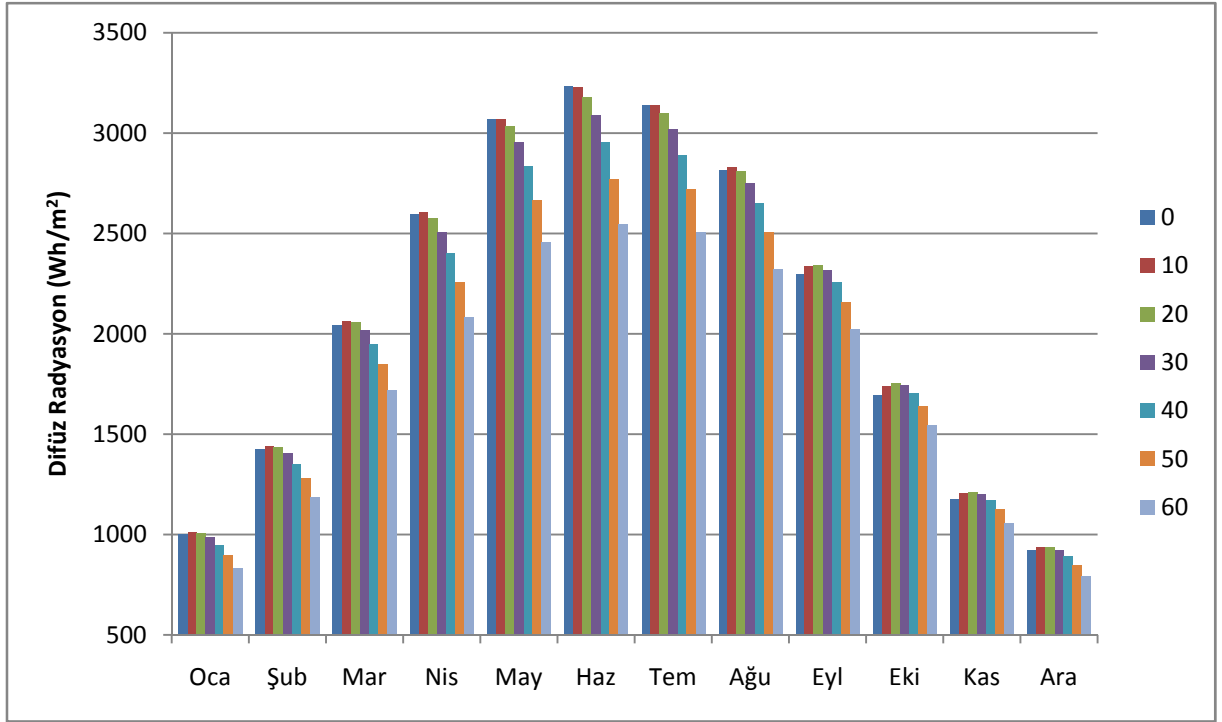
Bu bölümde yüzey eğim açısının difüz radyasyona etkisi incelenmiştir. Bu etki incelenirken, “Muneer-2” eğik düzlem difüz radyasyon modeli ve “Lam ve Li” ayrıştırma modelinden gelen yatay düzlem difüz radyasyon bileşeni (Model 75’ ait alt modeller) kullanılmıştır.

Sistemin en yüksek seviyede enerji ürettiği ay olan Haziran ayı için ortalama günlük toplam verilerin yüzey eğim açısı ile değişimi Şekil 8.9’da verilmektedir. Grafikten de görülebileceği gibi Haziran ayı için maksimum difüz radyasyon değerine yaklaşık 0° yüzey eğim açısında ulaşılmaktadır. Difüz radyasyon değeri yüzey eğim açısı arttıkça azalmaktadır. Fakat bu durum diğer aylar için değişkenlik göstermektedir.



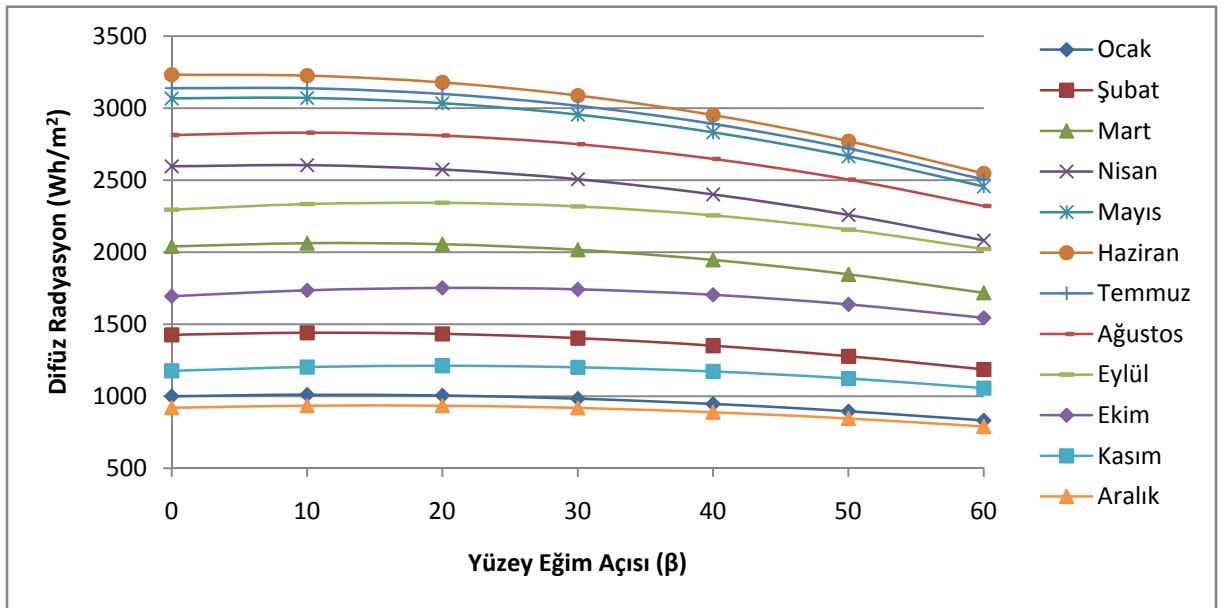
Şekil 8.9: Haziran ayı için günlük toplam bazda yüzey eğim açısının difüz radyasyon miktarına etkisi (Çizelge 2.1’e göre haziran ayı için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplanan günlük bazda toplamaları)

Diğer aylar için de difüz radyasyon değerleri göz önüne alındığında Şekil 8.10’daki grafik oluşmaktadır. Haziran ayı için maksimum difüz radyasyon oranı yaklaşık 0° yüzey eğim açısında gözlemlenirken Ocak ve Aralık yönünde ilerledikçe bu değer benzer karakteristikte değişmektedir. Grafikten görülebileceği gibi maksimum difüz radyasyon miktarı diğer aylar için yaklaşık 5° ile 25° derece aralığında varyasyon göstermektedir.



Şekil 8.10: Tüm aylar için yüzey eğim açısının yüzeye gelen difüz radyasyon miktarına etkisi (Çizelge 2.1'e göre her ay için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplamaların günlük bazda toplamaları)

Şekil 8.10 tek bir grafik ile serpmeye diyagramı ile ifade edilirse Şekil 8.11'deki grafik oluşmaktadır. Bu grafikteki her bir eğri farklı aylar için yüzey eğim açısının difüz radyasyona etkisini ifade etmektedir. Her eğri için bir korelasyon oluşturulduğunda Çizelge 8.6'daki ifadeler ortaya çıkmaktadır.



Şekil 8.11: Tüm aylar için yüzey eğim açısı-difüz radyasyon miktarı eğrisi

Çizelge 8.6'da belirtilen korelasyonlara göre her bir ay için maksimum difüz radyasyon değerine ulaşılan yüzey eğim açısı değeri aynı tabloda verilmiştir.

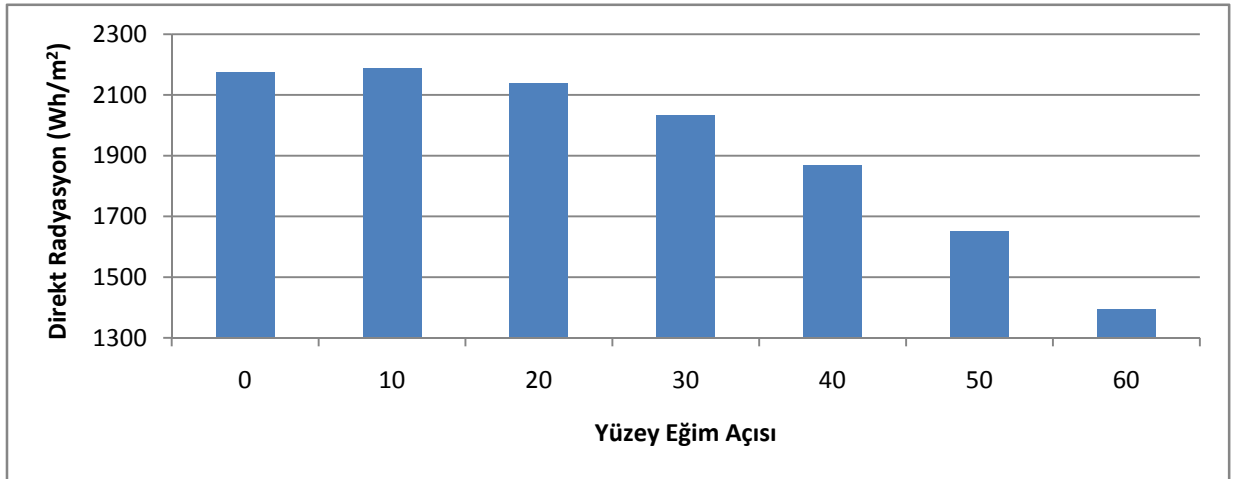
Çizelge 8.6: Tüm aylar için difüz radyasyon ile yüzey eğim açısı arasındaki ilişki ve optimum yüzey eğim açısı değerleri

Ay	Korelasyon	Optimum β
Ocak	$I_{d,\beta,A} = 0,0001\beta^3 - 0,0874\beta^2 + 1,9541\beta + 999,75$	11,40°
Şubat	$I_{d,\beta,A} = 0,0002\beta^3 - 0,1209\beta^2 + 2,6796\beta + 1426,60$	11,40°
Mart	$I_{d,\beta,A} = 0,00008\beta^3 - 0,1596\beta^2 + 3,9361\beta + 2039,60$	12,44°
Nisan	$I_{d,\beta,A} = 0,00002\beta^3 - 0,2019\beta^2 + 2,8975\beta + 2596,20$	7,18°
Mayıs	$I_{d,\beta,A} = -0,00008\beta^3 - 0,2072\beta^2 + 2,5297\beta + 3067,60$	5,44°
Haziran	$I_{d,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,2066\beta^2 + 1,5362\beta + 3231,60$	3,69°
Temmuz	$I_{d,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,1975\beta^2 + 2,0443\beta + 3138,50$	5,13°
Ağustos	$I_{d,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,1882\beta^2 + 3,6400\beta + 2813,30$	9,52°
Eylül	$I_{d,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,1552\beta^2 + 5,5927\beta + 2295,20$	17,43°
Ekim	$I_{d,\beta,A} = -0,0001\beta^3 - 0,1259\beta^2 + 5,4460\beta + 1694,50$	21,09°
Kasım	$I_{d,\beta,A} = 0,00002\beta^3 - 0,0964\beta^2 + 3,7150\beta + 1175,80$	19,38°
Aralık	$I_{d,\beta,A} = 0,0004\beta^3 - 0,0797\beta^2 + 2,2536\beta + 920,13$	16,08°

8.2.2 Yüzey Eğim Açısının Direkt Radyasyon Bileşenine Etkisi

Yüzey eğim açısının direkt radyasyona etkisi incelenirken “Liu ve Jordan” eğik düzlem direkt radyasyon modeli ve “Lam ve Li” ayrıştırma modelinden gelen yatay düzlem direkt radyasyon bileşeni (Model 75’e ait alt modeller) kullanılmıştır.

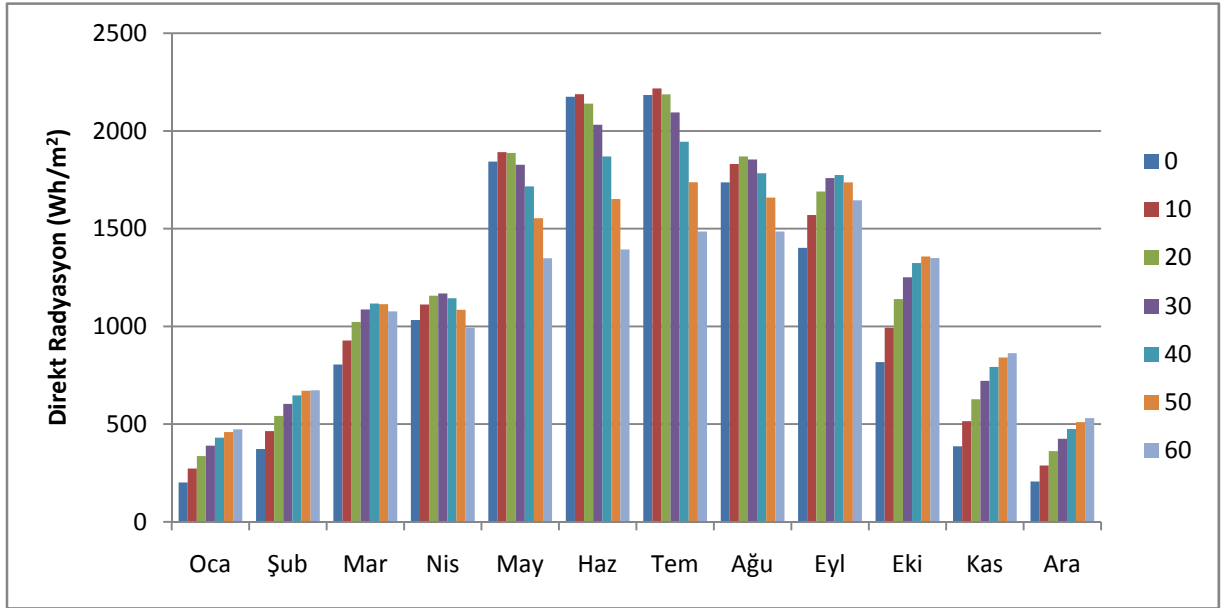
Haziran ayında üretilen ortalama günlük toplam verilerin yüzey eğim açısı ile değişimi Şekil 8.21’de verilmektedir. Haziran ayı için maksimum direkt radyasyon değerine yaklaşık 10° yüzey eğim açısında ulaşılmaktadır.



Şekil 8.12: Haziran ayı için günlük toplam bazda yüzey eğim açısının direkt radyasyona etkisi (Çizelge 2.1’e göre haziran ayı için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplamaların günlük bazda toplamaları)

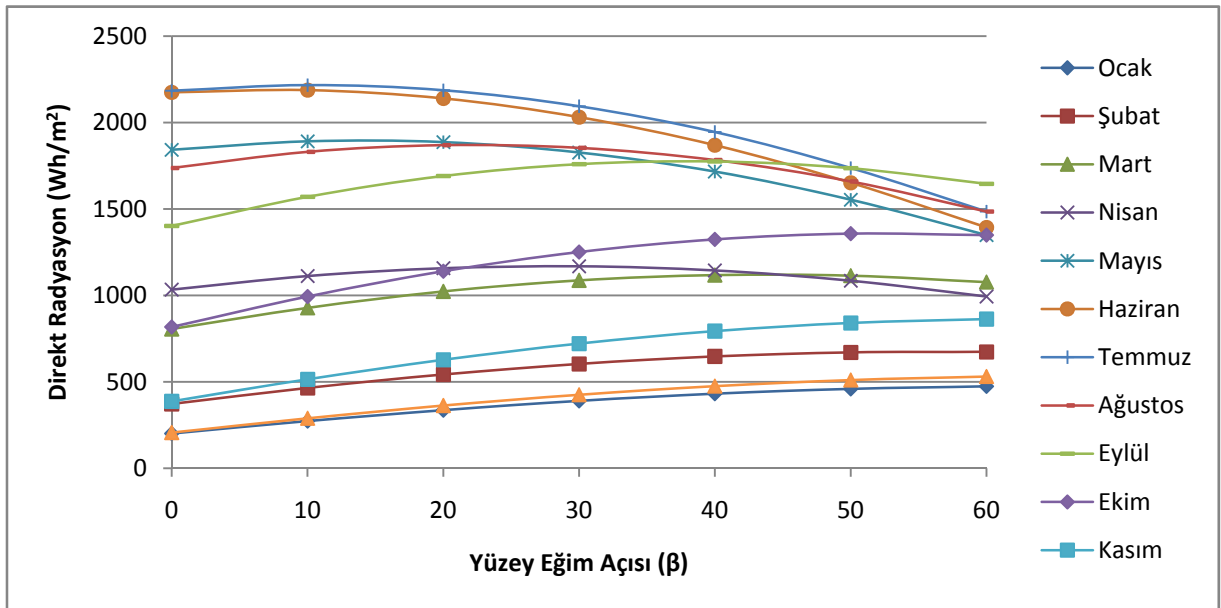
Yılın diğer ayları için direkt radyasyonun yüzey eğim açısına bağlı değişkenliği Şekil 8.13’de görülmektedir. Burada dikkat çeken difüz radyasyondaki aylara bağlı değişkenliğin aksine,

direkt radyasyonda aylara bağılı değişkenlik karakteristiğinin belirli aylar için farklılık gösterdiğidir.



Şekil 8.13: Tüm aylar için yüzey eğim açısının yüzeye gelen direkt radyasyon miktarına etkisi (Çizelge 2.1'e göre her ay için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplamaların günlük bazda toplamaları)

Şekil 8.13 yine tek bir grafikte serpmme diyagramı ile ifade edilirse Şekil 8.14'deki grafik oluşmaktadır. Bu grafikten de görülebileceği gibi difüz radyasyon için oluşturulan Şekil 8.11'deki grafiğin aksine iki farklı eğri karakteristiği mevcuttur.



Şekil 8.14: Tüm aylar için yüzey eğim açısı-direkt radyasyon miktarı eğrisi

Çizelge 8.7'da belirtilen korelasyonlara göre her bir ay için maksimum direkt radyasyon miktarına ulaşılan yüzey eğim açısı aynı tabloda verilmiştir.

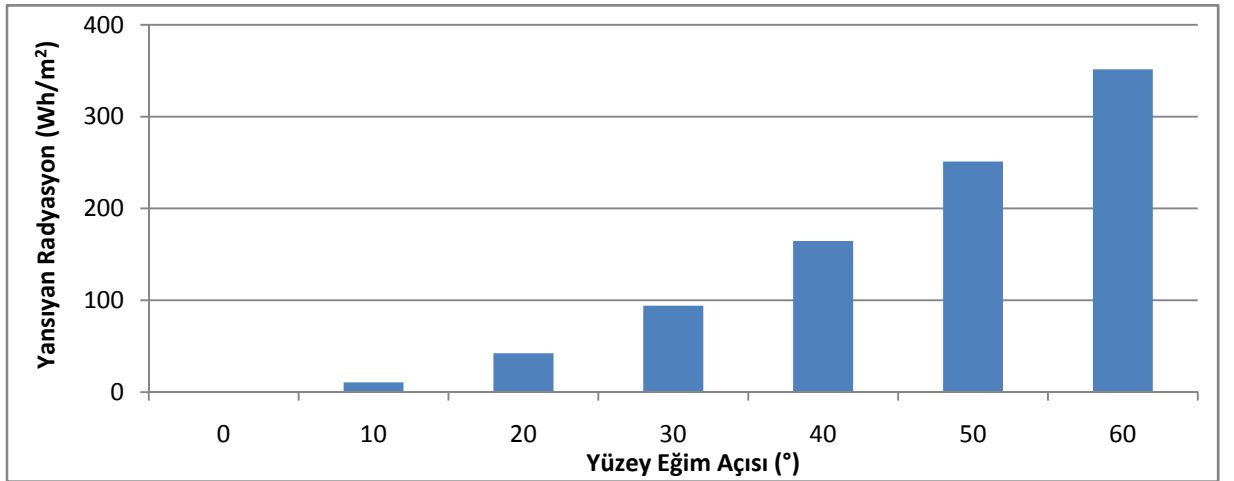
Çizelge 8.7: Tüm aylar için direkt radyasyon ile yüzey eğim açısı arasındaki ilişki ve optimum yüzey eğim açısı değerleri

Ay	Korelasyon	Optimum β
Ocak	$I_{b,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,0366\beta^2 + 7,5881\beta + 201,11$	66,93°
Şubat	$I_{b,\beta,A} = -0,0003\beta^3 - 0,0661\beta^2 + 9,9310\beta + 372,14$	54,72°
Mart	$I_{b,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,1402\beta^2 + 13,7970\beta + 804,80$	44,89°
Nisan	$I_{b,\beta,A} = -0,000005\beta^3 - 0,1718\beta^2 + 9,6583\beta + 1032,60$	28,17°
Mayıs	$I_{b,\beta,A} = 0,0004\beta^3 - 0,2938\beta^2 + 7,9252\beta + 1842,40$	13,88°
Haziran	$I_{b,\beta,A} = 0,0007\beta^3 - 0,3368\beta^2 + 4,7076\beta + 2174,80$	7,14°
Temmuz	$I_{b,\beta,A} = 0,0006\beta^3 - 0,3452\beta^2 + 6,8046\beta + 2183,90$	10,12°
Ağustos	$I_{b,\beta,A} = 0,0002\beta^3 - 0,2851\beta^2 + 12,2810\beta + 1736,80$	22,04°
Eylül	$I_{b,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,2424\beta^2 + 19,3640\beta + 1401,60$	38,14°
Ekim	$I_{b,\beta,A} = -0,0005\beta^3 - 0,1443\beta^2 + 19,1830\beta + 817,28$	52,26°
Kasım	$I_{b,\beta,A} = -0,0004\beta^3 - 0,0699\beta^2 + 13,6220\beta + 386,39$	63,17°
Aralık	$I_{b,\beta,A} = -0,0003\beta^3 - 0,0378\beta^2 + 8,6877\beta + 205,94$	64,85°

8.2.3 Yüzey Eğim Açısının Yansıyan Radyasyon Bileşenine Etkisi

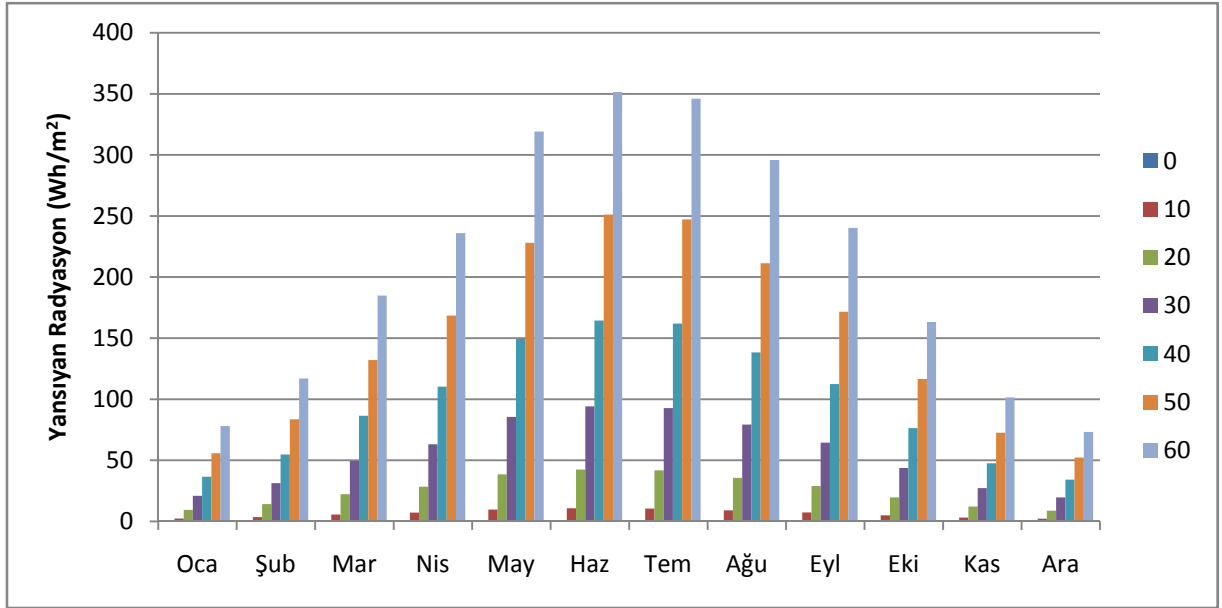
Yüzey eğim açısının yansıyan radyasyona etkisi incelenirken “Liu ve Jordan” yansıyan radyasyon modeli (Model 75’e ait alt model) kullanılmıştır.

Haziran ayında üretilen ortalama günlük toplam verilerin yüzey eğim açısı ile değişimi Şekil 8.15’de verilmektedir. Yüzey eğim açısı arttıkça yansıyan radyasyon bileşeninde artış gözlemlenmektedir.



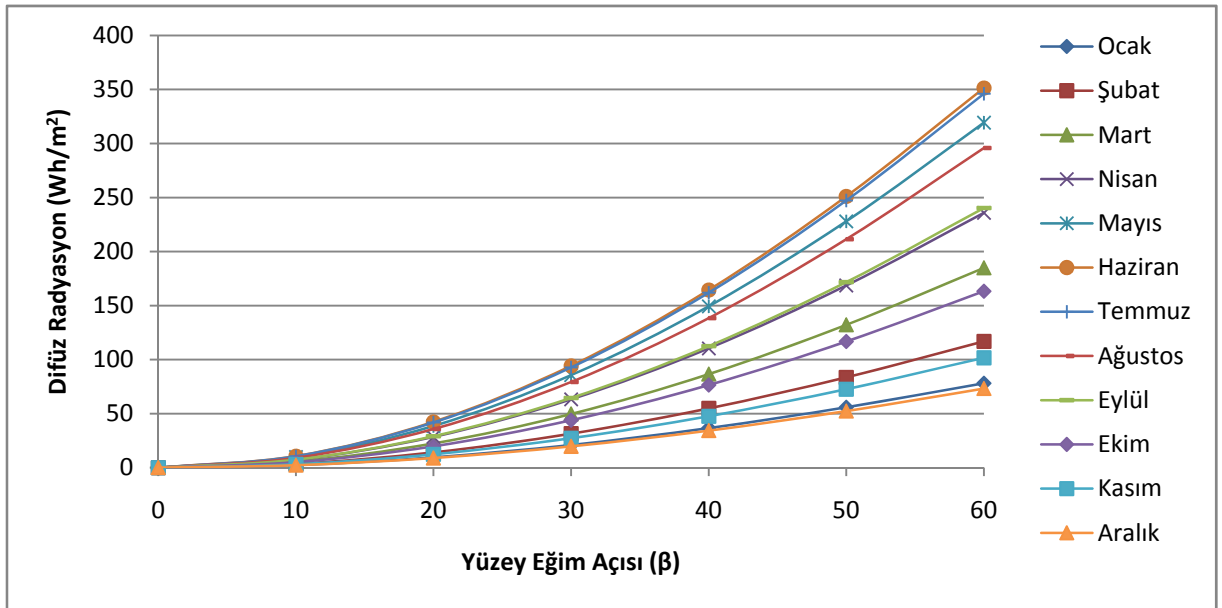
Şekil 8.15: Haziran ayı için günlük toplam bazda yüzey eğim açısının direkt radyasyona etkisi (Çizelge 2.1’e göre haziran ayı için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplamaların günlük bazda toplamaları)

Yılın diğer ayları için yansıyan radyasyon değerinin yüzey eğim açısına bağlı değişkenliği Şekil 8.16’de görülmektedir. Yansıyan radyasyon değişim karakteristiği tüm aylar için aynıdır.



Şekil 8.16: Tüm aylar için yüzey eğim açısının yüzeye gelen yansıyan radyasyon miktarına etkisi (Çizelge 2.1'e göre her ay için ortalama gün değerinde yapılan, saatlik bazda hesaplamaların günlük bazda toplamaları)

Şekil 8.16 tek bir grafikte serpm diyagramı ile ifade edilirse Şekil 8.17'deki grafik oluşmaktadır.

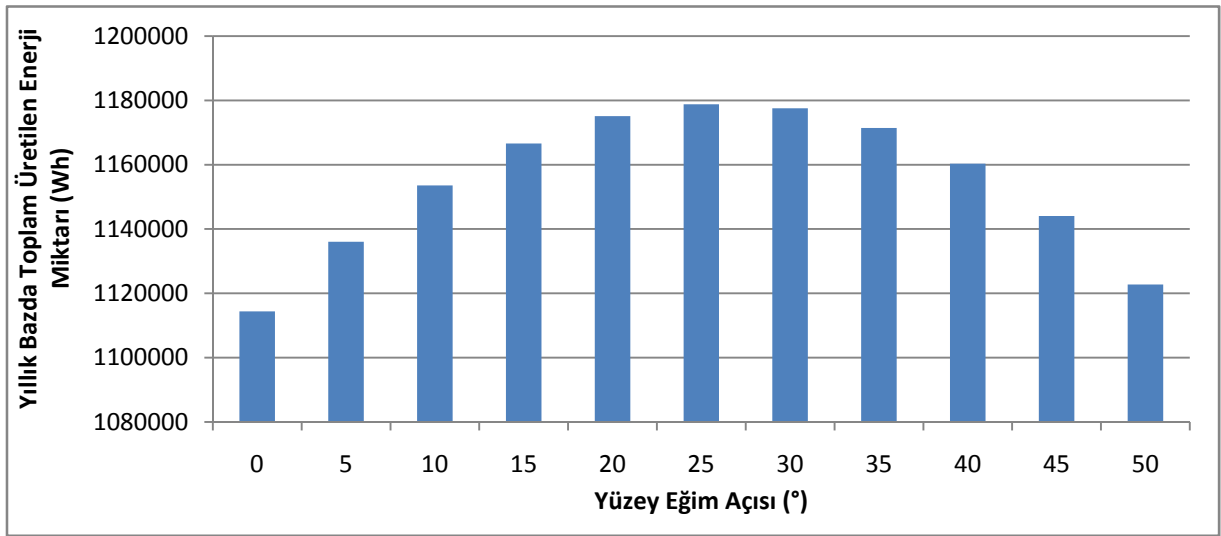


Şekil 8.17: Tüm aylar için yüzey eğim açısı-yansıyan radyasyon miktarı eğrisi

8.2.4 Yüzey Eğim Açısının Aylık ve Yıllık Toplam Üretilen Enerji Miktarına Etkisi

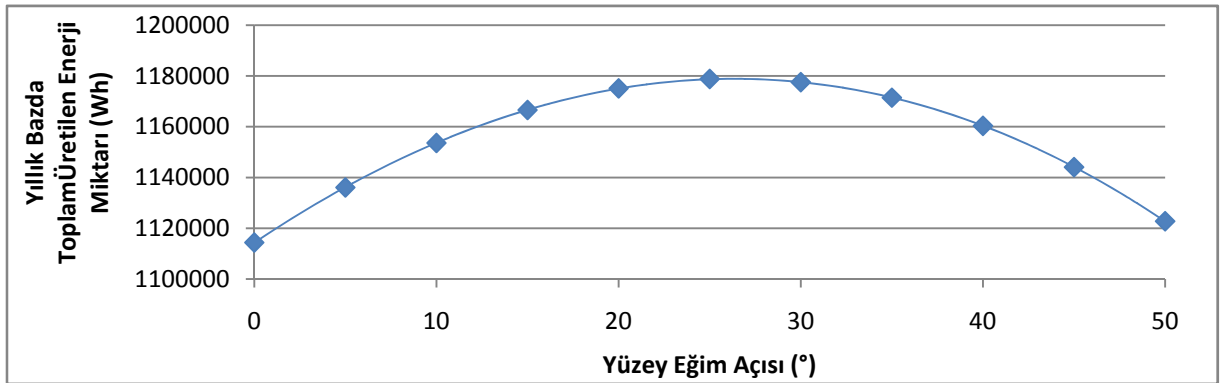
Direkt, difüz ve yansıyan radyasyonun ortalama günlük bazda yüzey eğim açısı ile ilişkisinin incelenmesinin ardından yüzey eğim açısının PV sistem yıllık bazda üretilen enerji miktarı ve aylık bazda üretilen enerji miktarı ile ilişkisi incelenmiştir.

“Model 75” baz alınarak yapılan çalışmalarda ilk olarak PV sistemin yıllık bazda üretilen toplam enerji miktarının yüzey eğim açısı ile değişkenliği incelenmiştir. Şekil 8.18’de görülen grafik yüzey eğim açısı ile yıllık bazda üretilen toplam enerji miktarı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu grafiğe göre maksimum enerji yaklaşık 25° yüzey eğim açısı değerinde elde edilmektedir.



Şekil 8.18: Farklı yüzey eğim açısı değerleri için yıllık toplam bazda üretilen enerji miktarı

Şekil 8.18 serpiye diyagramına aktarırsa Şekil 8.19’deki grafik elde edilir. Bu grafikteki eğrinin tepe noktası yıllık bazda maksimum üretilen enerji miktarı için yüzey eğim açısını vermektedir. (8.1) denkleminde Şekil 8.19’deki eğrinin korelasyonu verilmiştir. Bu eğrinin tepe noktası (maksimum çıktı noktasındaki yüzey eğim açısı değeri) 26,33°’dir.



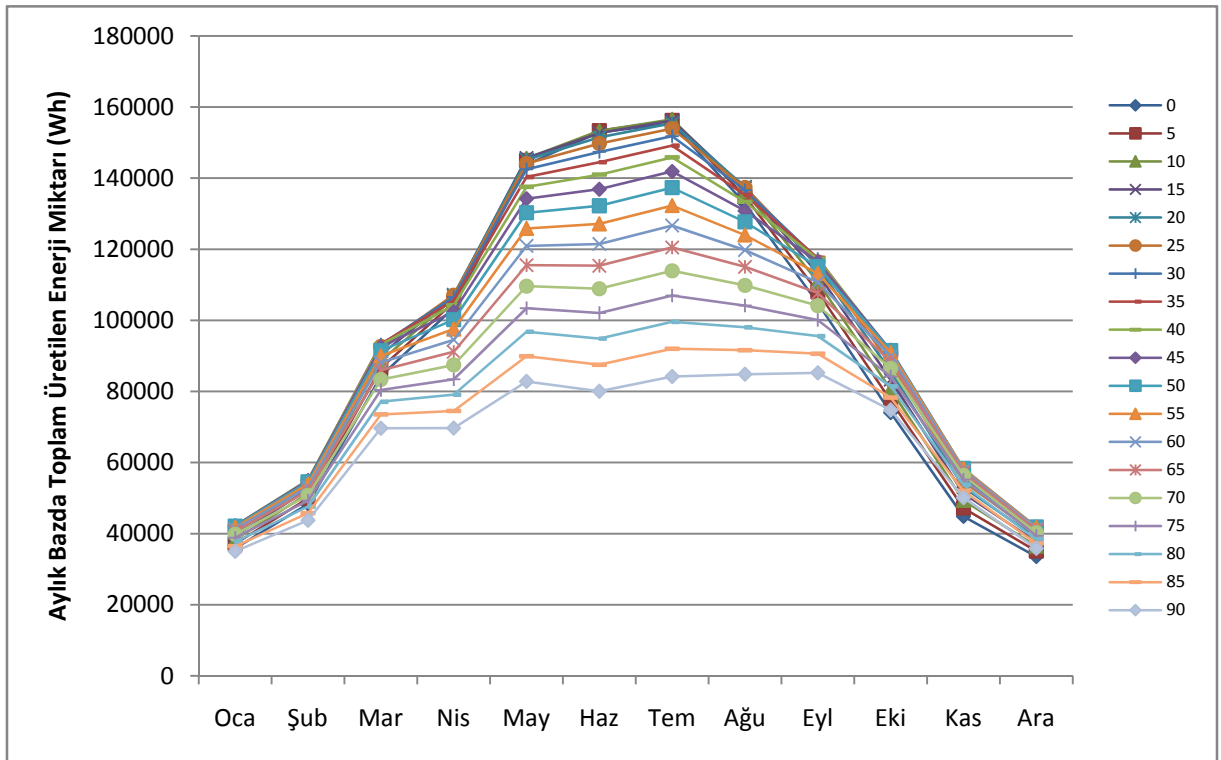
Şekil 8.19: Yüzey eğim açısı-yıllık bazda toplam üretilen enerji miktarı eğrisi

Yıllık bazda üretilen toplam enerji miktarı ($E_{t,y}$)

$$= -0,1425\beta^3 - 85,646\beta^2 + 4806,10\beta + 10^6 \quad (8.1)$$

Mevcut durumda Arçelik – LG işletmesinde kurulu PV sistemin yüzey eğim açısı 29° 'dir ve mevcut durumdaki yıllık enerji üretimi "Model 75"e göre 1178175 Wh'dir. Mevcut yüzey eğim açısı optimum değere oldukça yakın bir değerdir, bununla birlikte yüzey eğim açısı tam $26,33^\circ$ değerinde olsaydı yıllık enerji üretimi yine "Model 75"e göre 1178939 Wh olacaktı. Bu iki değer arasındaki fark, 29° yüzey eğim açısındaki yıllık enerji üretimi miktarının yalnızca %0,065'idir. Bu açıdan mevcut yüzey eğim açısı optimum değer olarak kabul edilebilir.

Bununla birlikte yüzey eğim açısının optimum değeri mevsimsel bazda sabit bir değer değildir. Şekil 8.20'de 0° den 90° ye kadar farklı yüzey eğim açılarının tüm aylar için verdiği aylık toplam üretilen enerji miktarı grafiğe dökülmüştür.



Şekil 8.20: Farklı yüzey eğim açısı değerleri için aylık bazda üretilen enerji miktarları

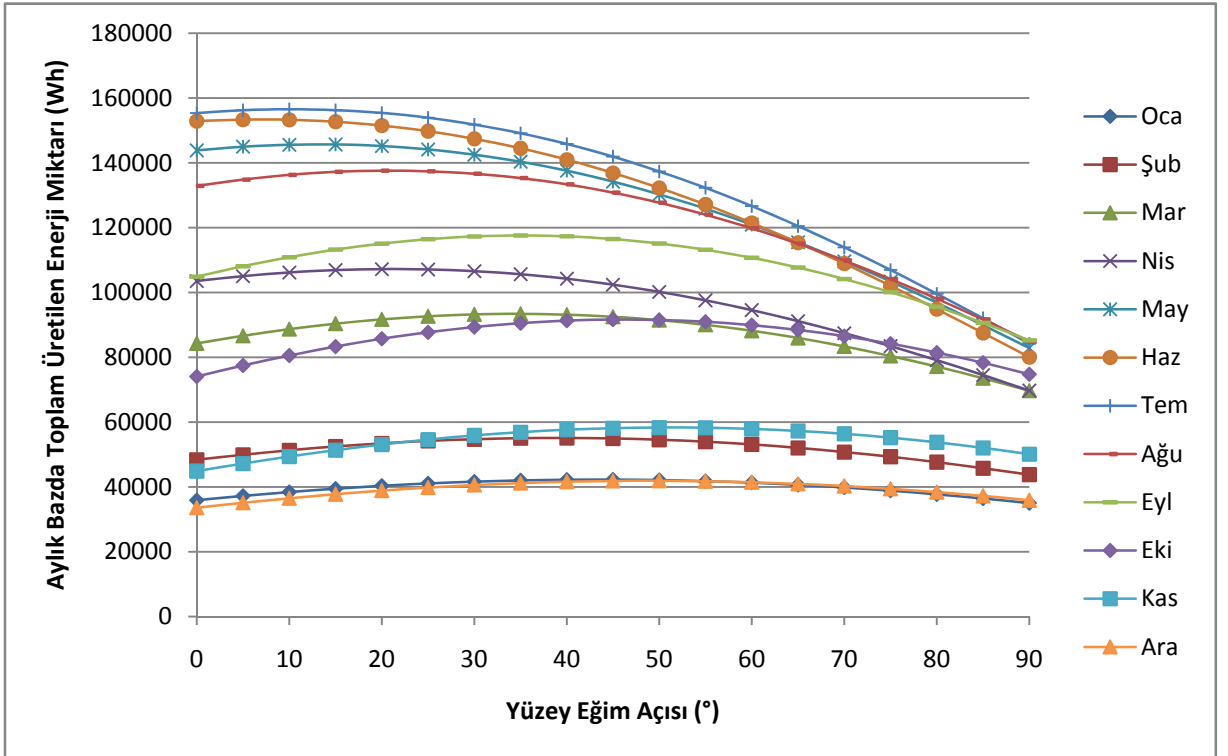
Şekil 8.20'deki değerler tabloya döküldüğünde ve her bir hücre içindeki değere göre renklendirdiğinde (yeşil minimum değer, kırmızı maksimum değer) Çizelge 8.8 oluşmaktadır. Çizelge 8.8 incelendiğinde renklendirilmiş tablo şunu ortaya koymaktadır, aylık bazda optimum yüzey eğim açısı değeri yaklaşık 43° ile yaklaşık 12° arasında değişkenlik

göstermektedir. Bu değer yaz ayları için 12°'ye yakınsamakta, kış ayları için ise 43°'ye yakınsamaktadır (belirtilen yüzey eğim açısı değerleri tablodan öngörülen yaklaşık değerlerdir).

Çizelge 8.8: Farklı yüzey eğim açısı değerleri için aylık bazda üretilen enerji miktarları (yeşilden kırmızıya, minimum değerden maksimum değere göre renklendirilmiştir)

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
Oca	35891	37214	38401	39441	40326	41051	41608	41995	42207	42244	42104	41789	41300	40642	39819	38836	37702	36425	35013
Şub	48382	49937	51306	52479	53445	54196	54726	55030	55104	54947	54560	53944	53104	52044	50772	49298	47630	45782	43766
Mar	84265	86633	88675	90371	91703	92657	93222	93389	93152	92510	91463	90015	88173	85949	83355	80409	77130	73541	69668
Nis	103545	105054	106174	106891	107200	107098	106569	105609	104221	102410	100184	97556	94540	91161	87455	83426	79102	74514	69695
May	143832	144977	145577	145666	145201	144144	142502	140333	137569	134216	130289	125857	120941	115520	109626	103422	96827	89897	82832
Haz	152879	153343	153305	152670	151501	149754	147383	144477	140994	136908	132235	127134	121500	115360	108921	102053	94881	87518	80060
Tem	155356	156241	156549	156249	155420	153948	151825	149151	145846	141903	137336	132274	126665	120510	113944	106981	99597	92025	84211
Ağu	132868	134824	136292	137219	137585	137379	136635	135294	133356	130821	127699	124003	119790	115073	109852	104160	98045	91627	84863
Eyl	104868	108081	110874	113217	115080	116439	117275	117572	117317	116504	115130	113198	110715	107694	104149	100105	95585	90622	85249
Eki	74065	77454	80542	83298	85697	87716	89335	90535	91305	91632	91511	90937	89913	88441	86530	84190	81438	78292	74774
Kas	44860	47207	49373	51338	53087	54604	55877	56894	57647	58128	58333	58259	57904	57271	56363	55186	53748	52059	50132
Ara	33558	35090	36490	37748	38853	39797	40573	41174	41595	41834	41887	41755	41438	40939	40259	39405	38383	37200	35864

Eğer Çizelge 8.8 serpm diyagramına dökülürse her bir ay için yüzey eğim açısı eğrisi Şekil 8.21'deki gibi oluşmaktadır. Bu eğrilere ait korelasyonlar Çizelge 8.9'da verilmiştir.



Şekil 8.21: Tüm aylar için yüzey eğim açısı-aylık bazda toplam üretilen enerji miktarı eğrisi

Çizelge 8.9: Tüm aylar için aylık bazda üretilen toplam enerji miktarı ile yüzey eğim açısı arasındaki ilişki ve optimum yüzey eğim açısı değerleri

Ay	Korelasyon	Optimum β
Ocak	$E_{t,a} = 0,0003\beta^3 - 3,4022\beta^2 + 294,13\beta + 35835$	43,48°
Şubat	$E_{t,a} = 0,0015\beta^3 - 4,602\beta^2 + 350,47\beta + 48308$	38,81°
Mart	$E_{t,a} = 0,0034\beta^3 - 8,158\beta^2 + 544,51\beta + 84129$	34,10°
Nisan	$E_{t,a} = 0,0136\beta^3 - 9,656\beta^2 + 382,83\beta + 103393$	20,73°
Mayıs	$E_{t,a} = 0,0234\beta^3 - 13,509\beta^2 + 348,45\beta + 143585$	13,36°
Haziran	$E_{t,a} = 0,0305\beta^3 - 14,266\beta^2 + 227,08\beta + 152593$	8,17°
Temmuz	$E_{t,a} = 0,0276\beta^3 - 14,691\beta^2 + 307,86\beta + 155080$	10,81°
Ağustos	$E_{t,a} = 0,0154\beta^3 - 12,962\beta^2 + 508,01\beta + 132632$	20,33°
Eylül	$E_{t,a} = 0,0004\beta^3 - 10,680\beta^2 + 739,84\beta + 104669$	34,70°
Ekim	$E_{t,a} = -0,0063\beta^3 - 7,677\beta^2 + 749,73\beta + 73914$	46,20°
Kasım	$E_{t,a} = -0,005\beta^3 - 4,595\beta^2 + 512,38\beta + 44770$	51,44°
Aralık	$E_{t,a} = -0,0018\beta^3 - 3,285\beta^2 + 355,82\beta + 33500$	51,94°

9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Oluşturulan 77 model kombinasyonu arasından en düşük MBE hatasını veren model kombinasyonu “Model 75”dir. Bu kombinasyonun MBE, RMSE, CC değerleri ve kullandığı alt modeller Çizelge 9.1’de verilmiştir. “Model 75” %0,07 MBE hatası ile PV sistem enerji üretimini hesaplayabilmektedir. RMSE ve CC değerleri sırasıyla %6,69 ve %99,47 olarak gerçekleşmektedir. “Model 75”de; difüz-direkt ayrıştırma modeli olarak “Lam ve Li”, eğik düzlem difüz radyasyon modeli olarak “Muneer-2”, eğik düzlem direkt radyasyon modeli olarak “Liu ve Jordan”, eğik düzlem yansıyan radyasyon modeli olarak “Liu ve Jordan”, eğik düzlem toplam radyasyon modeli olarak “Liu ve Jordan”, PV sistem enerji modeli olarak “Duffie ve Beckman” ve PV modül verim modeli olarak “Kou vd” kullanılmaktadır.

Çizelge 9.1: Model 75; MBE, RMSE, CC değerleri ve kullanılan alt modeller

	Model 75
MBE	0,07%
RMSE	6,69%
CC	99,47%
Ayrıştırma Modeli	Lam ve Li
$I_{d,\beta}$ Modeli	Muneer-2
$I_{b,\beta}$ Modeli	Liu ve Jordan
$I_{r,\beta}$ Modeli	Liu ve Jordan
$I_{t,\beta}$ Modeli	Liu ve Jordan
PV Sistem Enerji Modeli	Duffie ve Beckman
PV Modül Verim Modeli	Kou vd.

“Model 75”in ardından PV sistem üretilen enerji değerini en düşük hatalar ile hesaplayan diğer 4 model kombinasyonu ve bu kombinasyonların MBE, RMSE, CC değerleri ile kullandıkları alt modeller Çizelge 9.2’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre +%0.5 ile -%0.5 MBE aralığında “Model 75” dahil toplamda 5 model kombinasyonu bulunmaktadır.

Çizelge 9.2: Model 8, Model 19, Model 20, Model 61; MBE RMSE, CC değerleri ve kullanılan alt modeller

	Model 8	Model 19	Model 20	Model 61
MBE	0,50%	0,13%	-0,27%	-0,47%
RMSE	5,87%	6,40%	6,43%	7,05%
CC	99,62%	99,31%	99,22%	99,50%
Ayrıştırma Modeli	Liu ve Jordan	Lam ve Li	Louche vd.	Lam ve Li
$I_{d,\beta}$ Modeli	Koronakis	Bugler	Bugler	Reindl
Diğer modeller	$I_{b,\beta}$ Modeli: Liu ve Jordan, $I_{r,\beta}$ Modeli: Liu ve Jordan, $I_{t,\beta}$ Modeli: Liu ve Jordan, PV Sistem Enerji Modeli: Duffie ve Beckman, PV Modül Verim Modeli: Kou vd.			

[illegible]

Eğik düzlem difüz radyasyon modelleri incelendiğinde 5 farklı majör etkisi olan eğik düzlem difüz radyasyon modeli belirlenmiştir. Bu modellerden dördü ölçülen değerden daha yüksek çıktı vermekte biri ise hesaplanan değerden daha düşük çıktı vermektedir. Fakat ayrıştırma modelleri incelendiğinde MBE hata oranı sıralaması baz alındığında yalnızca bir ayrıştırma modelinin (Jimenez ve Castro) belirli bir hata oranı çevresinde yığılma yaptığı görülmüştür. Bu durum, PV sistem enerji üretimi hesaplanmasında, eğik düzlem difüz radyasyon modellerinin ayrıştırma modellerine göre sonucu daha çok etkileyen bir adım olması olarak yorumlanabilir. Kısaca, PV sistem enerji üretimi hesaplanmasında eğik düzlem difüz radyasyon modelinin doğru belirlenmesi daha fazla önem taşımaktadır.

Parametrik optimizasyon adımıyla yüzey eğim açısının difüz ve direkt radyasyon bileşenlerine etkisi incelenmiştir;

Yapılan çalışmada yüzey eğim açısının difüz ve direkt radyasyonla olan ilişkisi ortaya konulmuş ve her bir ay için yüzey eğim açısına bağlı korelasyonlar oluşturulmuştur. Oluşturulan korelasyonlar PV sistem yüzey alanından bağımsız, genel ifadelerdir bu açıdan Gebze – Kocaeli bölgesi için yapılacak mühendislik uygulamalarında kullanılabilir.

Çizelge 9.9’da Ocak ayından Aralık ayına Gebze – Kocaeli bölgesinde geçerli olan difüz radyasyon ile yüzey eğim açısı arasındaki korelasyonlar verilmektedir. $I_{d,\beta,A}$ (Wh/m²), β kadar eğimli bir yüzey için bir metrekare alana gelen aylık toplam difüz radyasyon miktarıdır.

Çizelge 9.9: Tüm aylar için yüzey eğim açısı ile aylık toplam difüz radyasyon miktarı arasındaki korelasyonlar

Ay	Korelasyon
Ocak	$I_{d,\beta,A} = 0,0001\beta^3 - 0,0874\beta^2 + 1,9541\beta + 999,75$
Şubat	$I_{d,\beta,A} = 0,0002\beta^3 - 0,1209\beta^2 + 2,6796\beta + 1426,60$
Mart	$I_{d,\beta,A} = 0,00008\beta^3 - 0,1596\beta^2 + 3,9361\beta + 2039,60$
Nisan	$I_{d,\beta,A} = 0,00002\beta^3 - 0,2019\beta^2 + 2,8975\beta + 2596,20$
Mayıs	$I_{d,\beta,A} = -0,00008\beta^3 - 0,2072\beta^2 + 2,5297\beta + 3067,60$
Haziran	$I_{d,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,2066\beta^2 + 1,5362\beta + 3231,60$
Temmuz	$I_{d,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,1975\beta^2 + 2,0443\beta + 3138,50$
Ağustos	$I_{d,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,1882\beta^2 + 3,6400\beta + 2813,30$
Eylül	$I_{d,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,1552\beta^2 + 5,5927\beta + 2295,20$
Ekim	$I_{d,\beta,A} = -0,0001\beta^3 - 0,1259\beta^2 + 5,4460\beta + 1694,50$
Kasım	$I_{d,\beta,A} = 0,00002\beta^3 - 0,0964\beta^2 + 3,7150\beta + 1175,80$
Aralık	$I_{d,\beta,A} = 0,0004\beta^3 - 0,0797\beta^2 + 2,2536\beta + 920,13$

Çizelge 9.10’da tüm aylar için Gebze – Kocaeli bölgesinde geçerli olan direkt radyasyon ile yüzey eğim açısı arasındaki korelasyonlar verilmektedir. $I_{b,\beta,A}$ (Wh/m²), β kadar eğimli bir yüzey için bir metrekare alana gelen aylık toplam direkt radyasyon miktarıdır.

Çizelge 9.10: Tüm aylar için yüzey eğim açısı ile aylık toplam direkt radyasyon miktarı arasındaki korelasyonlar

Ay	Korelasyon
Ocak	$I_{b,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,0366\beta^2 + 7,5881\beta + 201,11$
Şubat	$I_{b,\beta,A} = -0,0003\beta^3 - 0,0661\beta^2 + 9,9310\beta + 372,14$
Mart	$I_{b,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,1402\beta^2 + 13,7970\beta + 804,80$
Nisan	$I_{b,\beta,A} = -0,000005\beta^3 - 0,1718\beta^2 + 9,6583\beta + 1032,60$
Mayıs	$I_{b,\beta,A} = 0,0004\beta^3 - 0,2938\beta^2 + 7,9252\beta + 1842,40$
Haziran	$I_{b,\beta,A} = 0,0007\beta^3 - 0,3368\beta^2 + 4,7076\beta + 2174,80$
Temmuz	$I_{b,\beta,A} = 0,0006\beta^3 - 0,3452\beta^2 + 6,8046\beta + 2183,90$
Ağustos	$I_{b,\beta,A} = 0,0002\beta^3 - 0,2851\beta^2 + 12,2810\beta + 1736,80$
Eylül	$I_{b,\beta,A} = -0,0002\beta^3 - 0,2424\beta^2 + 19,3640\beta + 1401,60$
Ekim	$I_{b,\beta,A} = -0,0005\beta^3 - 0,1443\beta^2 + 19,1830\beta + 817,28$
Kasım	$I_{b,\beta,A} = -0,0004\beta^3 - 0,0699\beta^2 + 13,6220\beta + 386,39$
Aralık	$I_{b,\beta,A} = -0,0003\beta^3 - 0,0378\beta^2 + 8,6877\beta + 205,94$

Çizelge 9.9 ve Çizelge 9.10’da belirtilen korelasyonlar; 2000 ile 2009 yılları arasındaki “Uzun Yıllar Aylık Ortalama Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti (Wh/m²)” meteorolojik verileri baz alınarak oluşturulmuştur.

Çizelge 9.9’da belirtilen korelasyonlar, çalışmanın teorik optimizasyon adımı belirlenen en iyi model kombinasyonunun (Model 75) kullandığı eğik düzlem difüz radyasyon modeli (Muneer-2) ve difüz-direkt ayrıştırma modeli (Lam ve Li) baz alınarak oluşturulmuştur.

Çizelge 9.10’da belirtilen korelasyonlar ise çalışmanın teorik optimizasyon adımı belirlenen en iyi model kombinasyonunun kullandığı eğik düzlem direkt radyasyon modeli (Liu ve Jordan) ve difüz-direkt ayrıştırma modeli (Lam ve Li) baz alınarak oluşturulmuştur.

Çizelge 9.9 ve Çizelge 9.10’da verilen korelasyonlar ile difüz ve direkt radyasyon bileşenleri için optimum yüzey eğim açısı değerleri belirlenmiştir. Çizelge 9.11’de difüz ve direkt radyasyon için optimum yüzey eğim açısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 9.11: Difüz ve direkt radyasyon için optimum yüzey eğim açısı değerleri

Ay	Difüz Radyasyon için Optimum β	Direkt Radyasyon için Optimum β
Ocak	11,40°	66,93°
Şubat	11,40°	54,72°
Mart	12,44°	44,89°
Nisan	7,18°	28,17°
Mayıs	5,44°	13,88°
Haziran	3,69°	7,14°
Temmuz	5,13°	10,12°
Ağustos	9,52°	22,04°
Eylül	17,43°	38,14°
Ekim	21,09°	52,26°
Kasım	19,38°	63,17°
Aralık	16,08°	64,85°

Parametrik optimizasyon adımımda Arçelik – LG’ de kurulu sistemin yüzey eğim açısı parametresine göre değişkenliği oraya konulmuştur;

Yıllık bazda üretilen toplam enerji miktarının ($E_{t,y}$, Wh) yüzey eğim açısı ile değişimi ortaya konulmuştur ve aşağıdaki korelasyona ulaşılmıştır.

$$E_{t,y} = -0,1425\beta^3 - 85,646\beta^2 + 4806,10\beta + 10^6 \quad (9.1)$$

Bu korelasyonun pozitif tepe noktası yıllık bazda optimum yüzey eğim açısı değerini vermektedir ve mevcut enlem (40,87° K) için bu değer 26,33° bulunmuştur. Arçelik – LG’ de kurulu sistemin yüzey eğim açısı 29°dir. Bu değer optimum yüzey eğim açısına eşit olsaydı yıllık bazda %0,065 daha fazla enerji üretimi gerçekleşmesi öngörülmektedir. Bu değer optimum değere oldukça yakın bir değer olduğundan mevcut yüzey eğim açısı optimum değer olarak kabul edilebilir.

Yapılan çalışmada optimum yüzey eğim açısı değerinin aylık bazda toplam üretilen enerji miktarı baz alındığında yıllık bazda değişimi ortaya konulmuştur. Çizelge 9.12’de farklı yüzey eğim açısı değerlerinde her ay için aylık toplam enerji üretimi miktarları (Wh) verilmiştir. Bu tabloda her bir hücre, barındırdığı değer doğrultusunda renklendirilmiştir (kırmızı maksimum, yeşil minimum). Bu açıdan Çizelge 9.12, yıllık bazda optimum yüzey eğim açısının değişkenliğini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Çizelge 9.12: Farklı yüzey eğim açı değerleri için aylık bazda üretilen toplam enerji miktarları (Wh)

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
Oca	35891	37214	38401	39441	40326	41051	41608	41995	42207	42244	42104	41789	41300	40642	39819	38836	37702	36425	35013
Şub	48382	49937	51306	52479	53445	54196	54726	55030	55104	54947	54560	53944	53104	52044	50772	49298	47630	45782	43766
Mar	84265	86633	88675	90371	91703	92657	93222	93389	93152	92510	91463	90015	88173	85949	83355	80409	77130	73541	69668
Nis	103545	105054	106174	106891	107200	107098	106569	105609	104221	102410	100184	97556	94540	91161	87455	83426	79102	74514	69695
May	143832	144977	145577	145666	145201	144144	142502	140333	137569	134216	130289	125857	120941	115520	109626	103422	96827	89897	82832
Haz	152879	153343	153305	152670	151501	149754	147383	144477	140994	136908	132235	127134	121500	115360	108921	102053	94881	87518	80060
Tem	155356	156241	156549	156249	155420	153948	151825	149151	145846	141903	137336	132274	126665	120510	113944	106981	99597	92025	84211
Ağu	132868	134824	136292	137219	137585	137379	136635	135294	133356	130821	127699	124003	119790	115073	109852	104160	98045	91627	84863
Eyl	104868	108081	110874	113217	115080	116439	117275	117572	117317	116504	115130	113198	110715	107694	104149	100105	95585	90622	85249
Eki	74065	77454	80542	83298	85697	87716	89335	90535	91305	91632	91511	90937	89913	88441	86530	84190	81438	78292	74774
Kas	44860	47207	49373	51338	53087	54604	55877	56894	57647	58128	58333	58259	57904	57271	56363	55186	53748	52059	50132
Ara	33558	35090	36490	37748	38853	39797	40573	41174	41595	41834	41887	41755	41438	40939	40259	39405	38383	37200	35864

Çizelge 9.12’de verilen değerler doğrultusunda her bir ay için optimum yüzey eğim açısı değerleri Çizelge 9.13’de verilmiştir.

Çizelge 9.13: Aylık bazda üretilen toplam enerji miktarı için optimum yüzey eğim açısı değerleri

Ay	Optimum β
Ocak	43,48°
Şubat	38,81°
Mart	34,10°
Nisan	20,73°
Mayıs	13,36°
Haziran	8,17°
Temmuz	10,81°
Ağustos	20,33°
Eylül	34,70°
Ekim	46,20°
Kasım	51,44°
Aralık	51,94°

KAYNAKLAR

- Bilgen, E., (2004), "Domestic hydrogen production using renewable energy", *Solar Energy*, 77:47-55.
- Boztepe, M., (2002), "İzmir (Bornova) koşullarında şebekeye bağlı bir fotovoltaik enerji sisteminin tasarımı ve denenmesi", Doktora tezi, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.
- Buresch, M., (1983), *Photovoltaic Energy Systems*, McGraw-Hill Book Company, ISBN 0-07-008952-3.
- Bugler, J.W., (1977), "The determination of hourly insolation on an inclined plane using a diffuse irradiance model based on hourly measured global horizontal insolation", *Solar Energy*, 19(6):477-491.
- Cartwright, T.J., (1993), Here comes the Sun: solar energy from a flat-plate collector. In: *Modeling the world in a spreadsheet-environmental simulation on a microcomputer*, London: The Johns Hopkins University Press, 121-144.
- Collares-Pereira, M. ve Rabl, A., (1979), "The Average Distribution of Solar Radiation – Correlations between Diffuse and Hemispherical and between Daily and Hourly Insolation Values", *Solar Energy*, 22:155.
- Cooper, P.I., (1969), "The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills", *Solar Energy*, 12:3.
- Duffie, J.A. ve Beckman, W.A., (1991), *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons.
- E. Skoplaki ve J.A. Palyvos, (2009), "On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations", *Solar Energy*, 83:614-624.
- Gong, X. ve Kulkarni, M., (2005), "Design optimization of a large scale rooftop photovoltaic system", *Solar Energy*, 78(3):362-374.
- Hay, J.E., (1979), "Study of shortwave radiation on non-horizontal surfaces", *Atmospheric Environment Service*, 79-12.
- Iqbal, M., (1983), *An introduction to solar radiation*, Canada: Academic Press, ISBN 0-12-373752-4.
- Jimenez, J.I. ve Castro, Y., (1986), "National assembly of geophysics and geodesy", vol. II: 805.
- Klein, S.A., (1977), "Calculation of Monthly Average Insolation on Tilted Surfaces.", *Solar Energy*, 19:325.
- Klucher, T.M., (1979), "Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces", *Solar Energy*, 23(2):111-114.
- Koronakis, P.S., (1986), "On the choice of the angle of tilt for south facing solar collectors in the Athens basin area", *Solar Energy*, 36(3):217-225.

- Kou, Q., Klein, S.A., Beckman, W.A., (1998), "A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems", *Solar Energy*, 64:33-40.
- Lam, J.C., ve Li, D.H.W., (1996), "Correlation between global solar-radiation and its direct and diffuse components", *Building and Environment*, 31(6):527-535.
- Li, D.H.W. ve Lam, J.C., (2000), "Evaluation of slope irradiance and illuminance models against measured Hong Kong data", *Build Environment*, 35:501-509.
- Li, D.H.W. ve Lam, J.C., (2000), "Solar heat gain factors and the implications for building designs in subtropical regions", *Energy and Buildings*, 32(1):47-55.
- Liu, B.Y.H. ve Jordan, R. C., (1960), "The inter-relationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation", *Solar Energy*, 4(3):1-19.
- Liu, B.Y.H. ve Jordan, R. C., (1963), "The Long-Term Average Performance of Flat-Plate Solar Energy Collectors", *Solar Energy*, 7:53.
- Louche, A., Notton, G., Poggi, P. ve Simonnot, G., (1991), "Correlations for direct normal and global horizontal irradiations on a French Mediterranean site", *Solar Energy*, 46(4):261-266.
- Lu, Z., Piedrahita, R.H. ve Neto, C.D.S., (1998), "Generation of daily and hourly solar radiation values for modeling water quality in aquaculture ponds" *Transactions of the ASAE*, 41(6):1853-1859.
- Ma, C.C.Y. ve Iqbal, M., (1983), "Statistical comparison of models for estimating solar radiation on inclined surfaces", *Solar Energy*, 31(3):313-317.
- Machler, M.A., Iqbal, M., (1985), "A modification of the ASHRAE clear-sky irradiation model", *ASHRAE Transactions*, 91(1a):106-115.
- Miguel, A. D., Bilbao, J., Aguiar, R., Kambezidis, H. ve Negro, E., (2001), "Diffuse Solar Irradiation Model Evaluation in The North Mediterranean Belt Area", *Solar Energy*, 70(2):143-153.
- Muneer, T., (1987), "Solar radiation modelling for the United Kingdom", PhD thesis, CNAA, London.
- Muneer, T., (1990), "Solar radiation model for Europe", *Build Services Eng Res Technology*, 11(4):153-163.
- Notton, G., Cristofari, C., Muselli, M., Poggi, P., (2004), "Calculation on an hourly basis of solar diffuse irradiations from global data for horizontal surfaces in Ajaccio", *Energy Conversion and Management*, 45:2849-2866.
- Orgill, J.F. ve Hollands, K.G.T., (1977), "Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface", *Solar Energy*, 19(4):357-359.
- Reindl, D.T., Beckman, W.A. ve Duffie, J.A., (1990), "Diffuse fraction corrections", *Solar Energy*, 45(1):1-7.

Reindl, D.T., Beckman, W.A., Duffie, J.A., (1990), "Evaluation of hourly tilted surface radiation models", *Solar Energy*, 45(1):9–17.

Skartveit, A. ve Olseth, J.A., (1986), "Modeling slope irradiance at high latitudes", *Solar Energy*, 36(4):333-344.

Temps, R.C. ve Coulson, K.L., (1977), "Solar radiation incident upon slopes of different orientation", *Solar Energy*, 19(2):179-184.

Trujillo, J.H.S., (1998), "Solar performance and shadow behaviour in buildings — case study with computer modelling of a building in Loranca, Spain", *Building and Environment*, 33(2-3):117–130.

Wong, L.T. ve Chow, W.K., (2001), "Solar radiation model", *Applied Energy*, 69:191-224.

EKLER

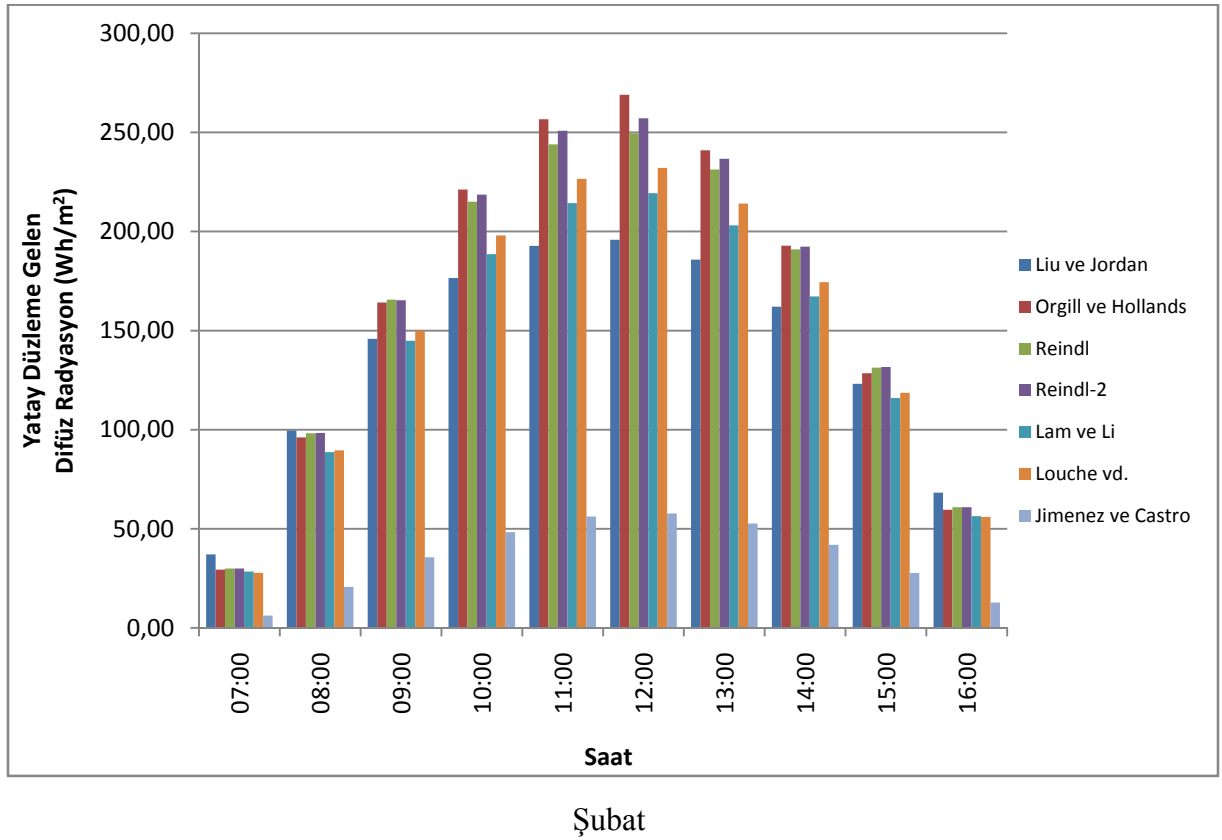
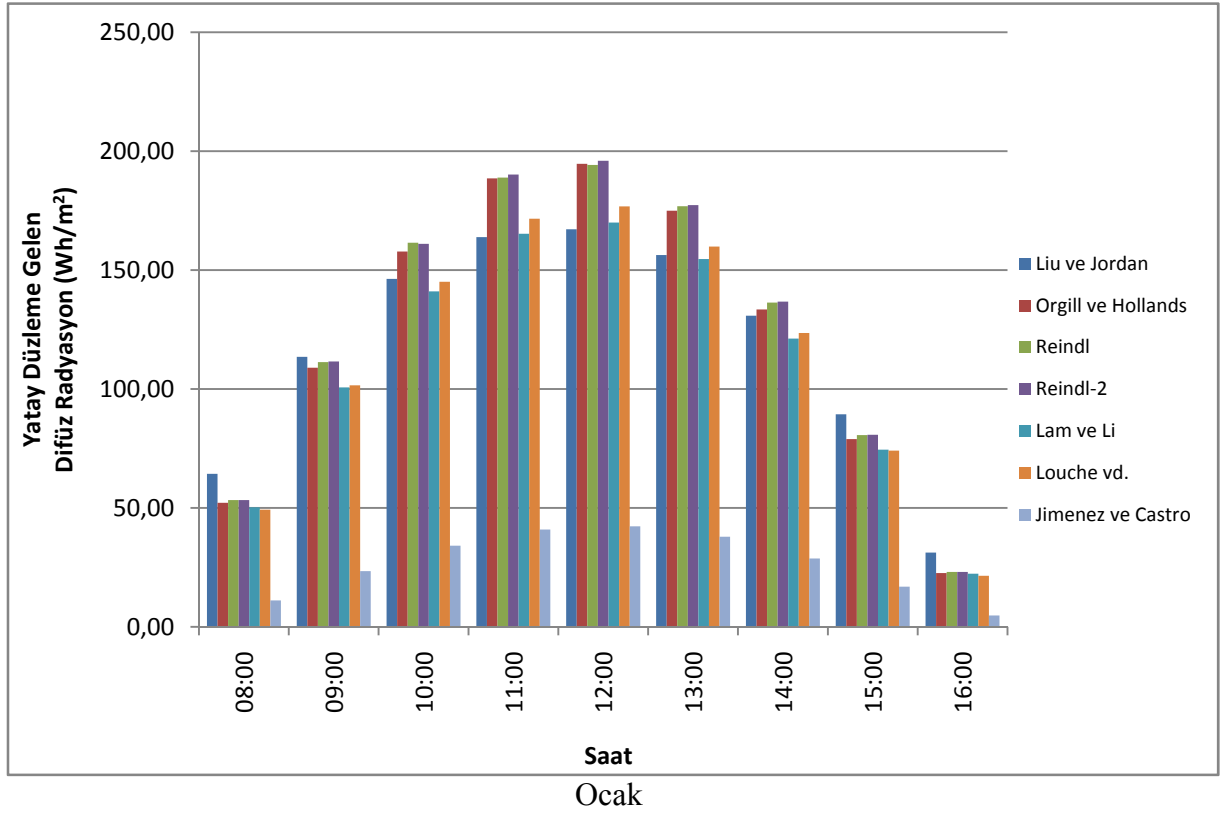
- Ek 1 Algoritma doğrultusunda oluşturulan model kombinasyonları
- Ek 2 Algoritmada kullanılan 7 farklı ayrıştırma modelinin tüm aylar için hesapladıkları yatay düzleme gelen difüz radyasyon değerleri
- Ek 3 Algoritmada kullanılan eğik düzlem direkt radyasyon modelinin (Liu ve Jordan) tüm ayrıştırma modellerinden gelen yatay düzlem direkt radyasyon değeri ve tüm aylar için hesapladıkları eğik düzleme gelen direkt radyasyon değerleri
- Ek 4 Algoritmada kullanılan eğik düzlem yansıyan radyasyon modelinin (Liu ve Jordan) tüm aylar için hesapladığı eğik düzleme gelen yansıyan radyasyon değerleri
- Ek 5 Tüm modellerin MBE, RMSE ve CC değerleri (En büyük MBE değerinden en küçük MBE değerine doğru sıralanmış)
- Ek 6 Tüm modellerin MBE, RMSE ve CC değerleri (En büyük RMSE değerinden en küçük RMSE değerine doğru sıralanmış)
- Ek 7 Tüm modellerin MBE, RMSE ve CC değerleri (En büyük CC değerinden en küçük CC değerine doğru sıralanmış)

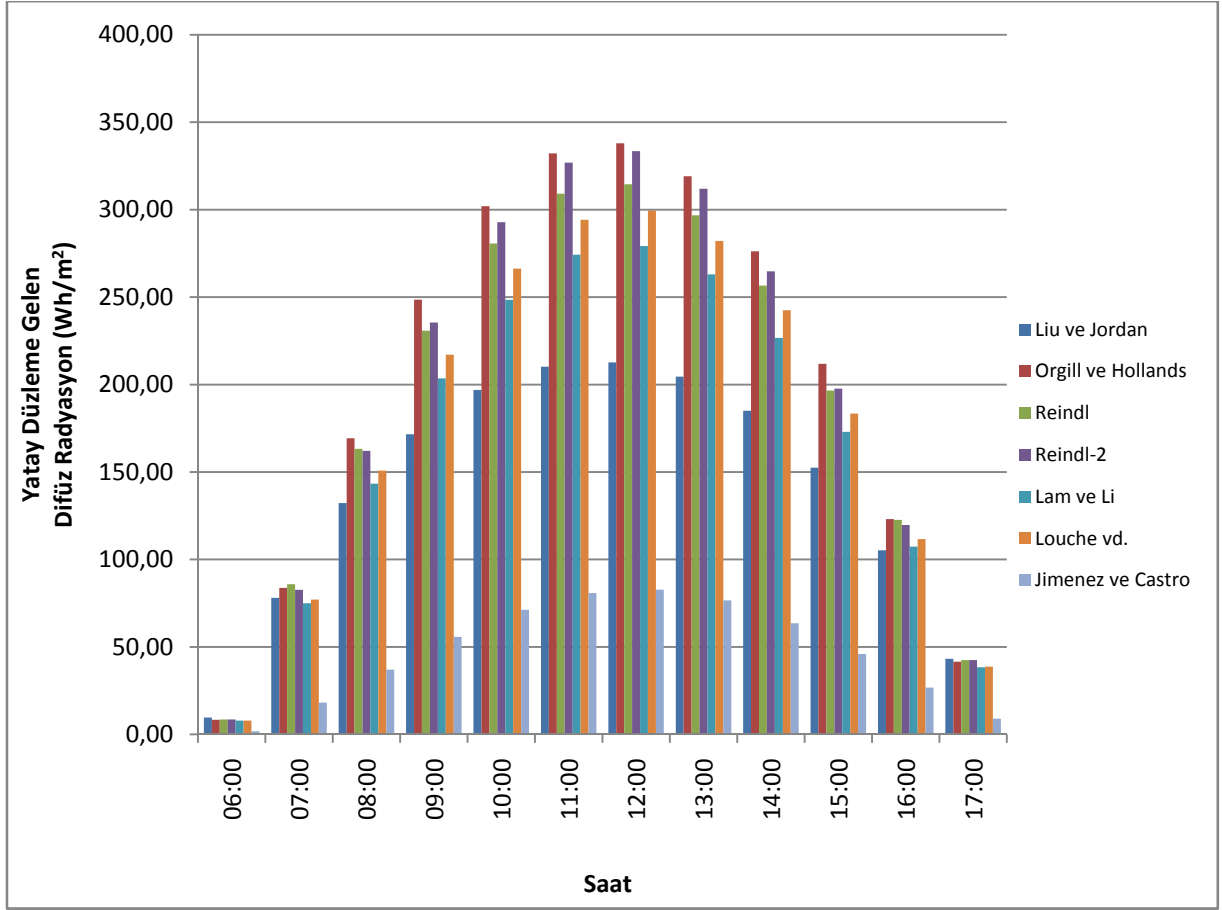
Ek 1 Algoritma doğrultusunda oluşturulan model kombinasyonları

	Ayrıştırma Modeli	$I_{d,\beta}$	$I_{b,\beta}$	$I_{r,\beta}$	$I_{t,\beta}$	PV Verim Modeli
Model 1	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 2	Orgill ve Hollands	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 3	Reindl vd.	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 4	Reindl-2	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 5	Lam ve Li	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 6	Louche vd.	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 7	Jimenez ve Castro	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 8	Liu ve Jordan	Koronakis	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 9	Orgill ve Hollands	Koronakis	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 10	Reindl vd.	Koronakis	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 11	Reindl-2	Koronakis	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 12	Lam ve Li	Koronakis	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 13	Louche vd.	Koronakis	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 14	Jimenez ve Castro	Koronakis	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 15	Liu ve Jordan	Bugler	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 16	Orgill ve Hollands	Bugler	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 17	Reindl vd.	Bugler	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 18	Reindl-2	Bugler	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 19	Lam ve Li	Bugler	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 20	Louche vd.	Bugler	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 21	Jimenez ve Castro	Bugler	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 22	Liu ve Jordan	Temps ve Coulson	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 23	Orgill ve Hollands	Temps ve Coulson	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 24	Reindl vd.	Temps ve Coulson	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 25	Reindl-2	Temps ve Coulson	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 26	Lam ve Li	Temps ve Coulson	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 27	Louche vd.	Temps ve Coulson	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 28	Jimenez ve Castro	Temps ve Coulson	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 29	Liu ve Jordan	Klucher	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 30	Orgill ve Hollands	Klucher	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 31	Reindl vd.	Klucher	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 32	Reindl-2	Klucher	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 33	Lam ve Li	Klucher	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 34	Louche vd.	Klucher	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 35	Jimenez ve Castro	Klucher	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 36	Liu ve Jordan	Hay	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 37	Orgill ve Hollands	Hay	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 38	Reindl vd.	Hay	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 39	Reindl-2	Hay	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.

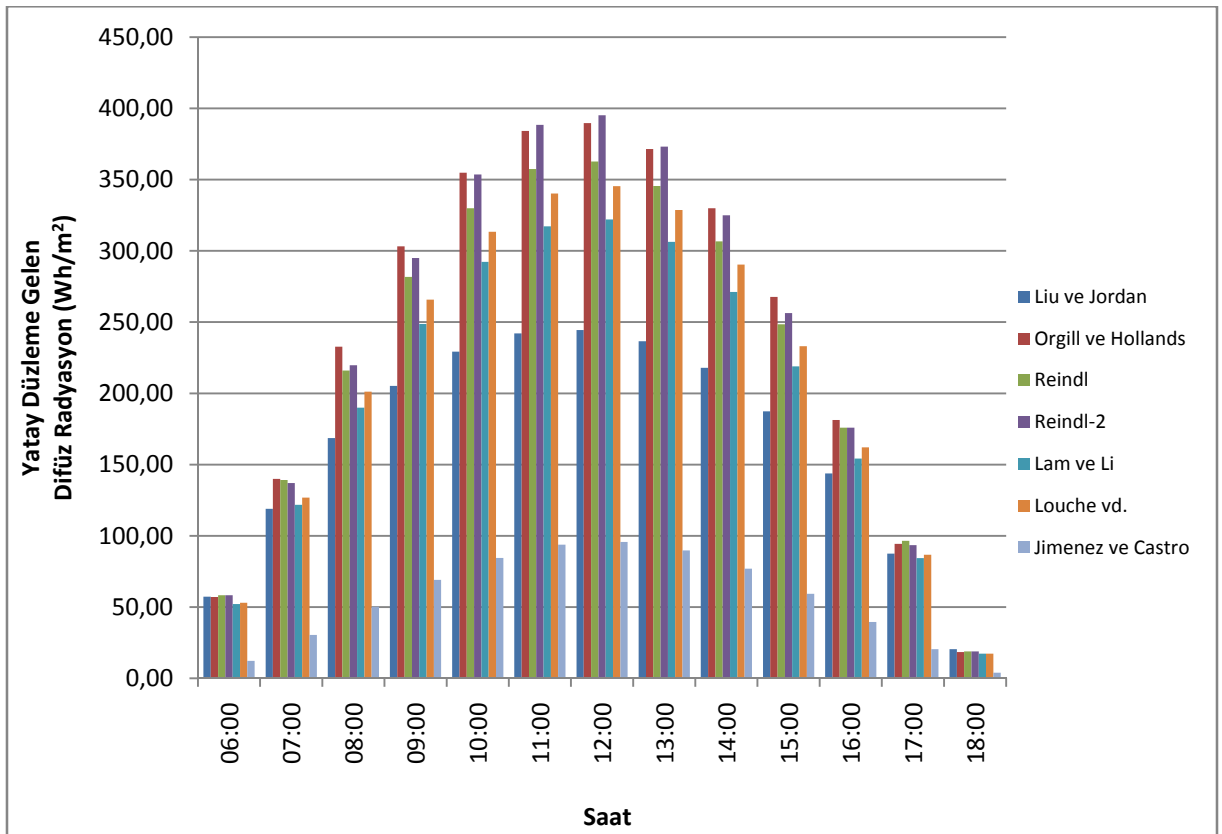
	Ayrıştırma Modeli	$I_{d,\beta}$	$I_{b,\beta}$	$I_{r,\beta}$	$I_{t,\beta}$	PV Verim Modeli
Model 40	Lam ve Li	Hay	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 41	Louche vd.	Hay	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 42	Jimenez ve Castro	Hay	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 43	Liu ve Jordan	Ma ve Iqbal	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 44	Orgill ve Hollands	Ma ve Iqbal	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 45	Reindl vd.	Ma ve Iqbal	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 46	Reindl-2	Ma ve Iqbal	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 47	Lam ve Li	Ma ve Iqbal	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 48	Louche vd.	Ma ve Iqbal	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 49	Jimenez ve Castro	Ma ve Iqbal	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 50	Liu ve Jordan	Skarveit ve Olseth	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 51	Orgill ve Hollands	Skarveit ve Olseth	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 52	Reindl vd.	Skarveit ve Olseth	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 53	Reindl-2	Skarveit ve Olseth	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 54	Lam ve Li	Skarveit ve Olseth	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 55	Louche vd.	Skarveit ve Olseth	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 56	Jimenez ve Castro	Skarveit ve Olseth	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 57	Liu ve Jordan	Reindl	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 58	Orgill ve Hollands	Reindl	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 59	Reindl vd.	Reindl	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 60	Reindl-2	Reindl	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 61	Lam ve Li	Reindl	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 62	Louche vd.	Reindl	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 63	Jimenez ve Castro	Reindl	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 64	Liu ve Jordan	Muneer-1	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 65	Orgill ve Hollands	Muneer-1	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 66	Reindl vd.	Muneer-1	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 67	Reindl-2	Muneer-1	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 68	Lam ve Li	Muneer-1	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 69	Louche vd.	Muneer-1	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 70	Jimenez ve Castro	Muneer-1	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 71	Liu ve Jordan	Muneer-2	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 72	Orgill ve Hollands	Muneer-2	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 73	Reindl vd.	Muneer-2	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 74	Reindl-2	Muneer-2	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 75	Lam ve Li	Muneer-2	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 76	Louche vd.	Muneer-2	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.
Model 77	Jimenez ve Castro	Muneer-2	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Liu ve Jordan	Kou vd.

Ek 2 Algoritmada kullanılan 7 farklı ayrıştırma modelinin tüm aylar için hesapladıkları yatay düzleme gelen difüz radyasyon değerleri

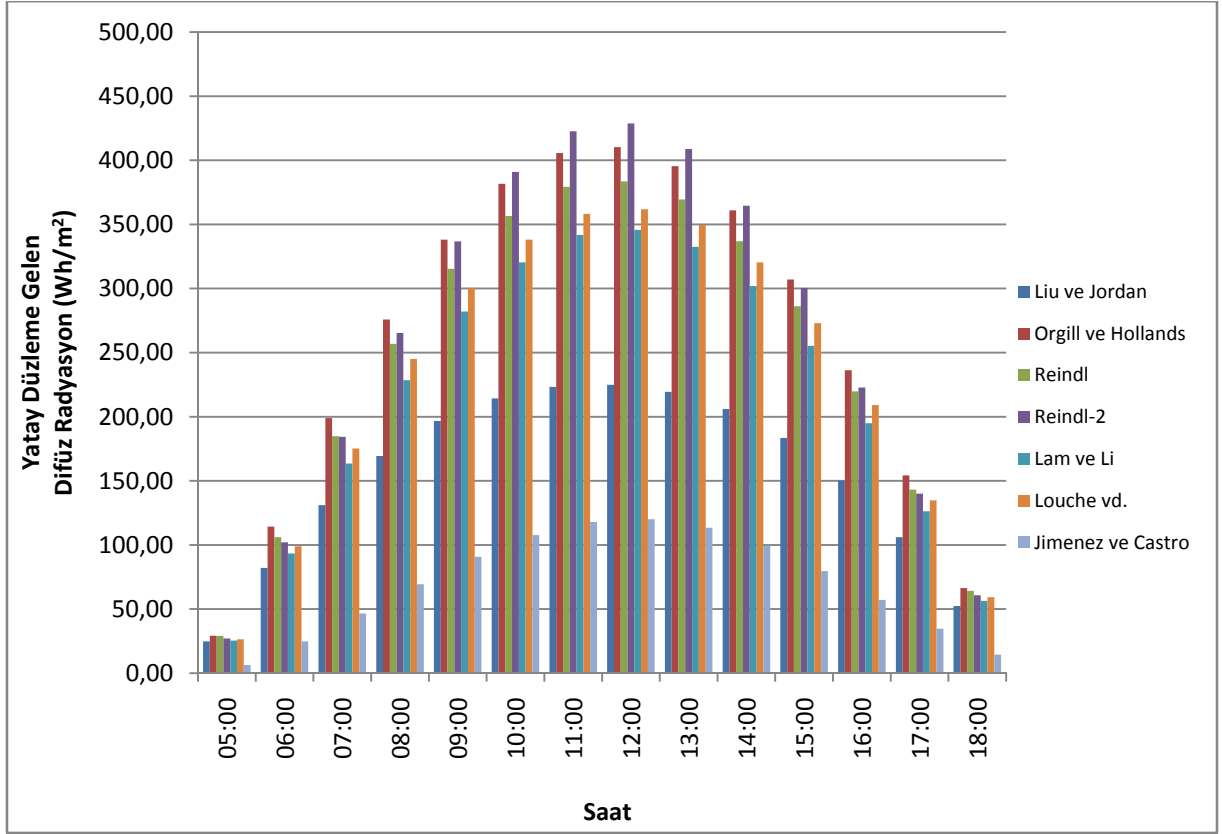




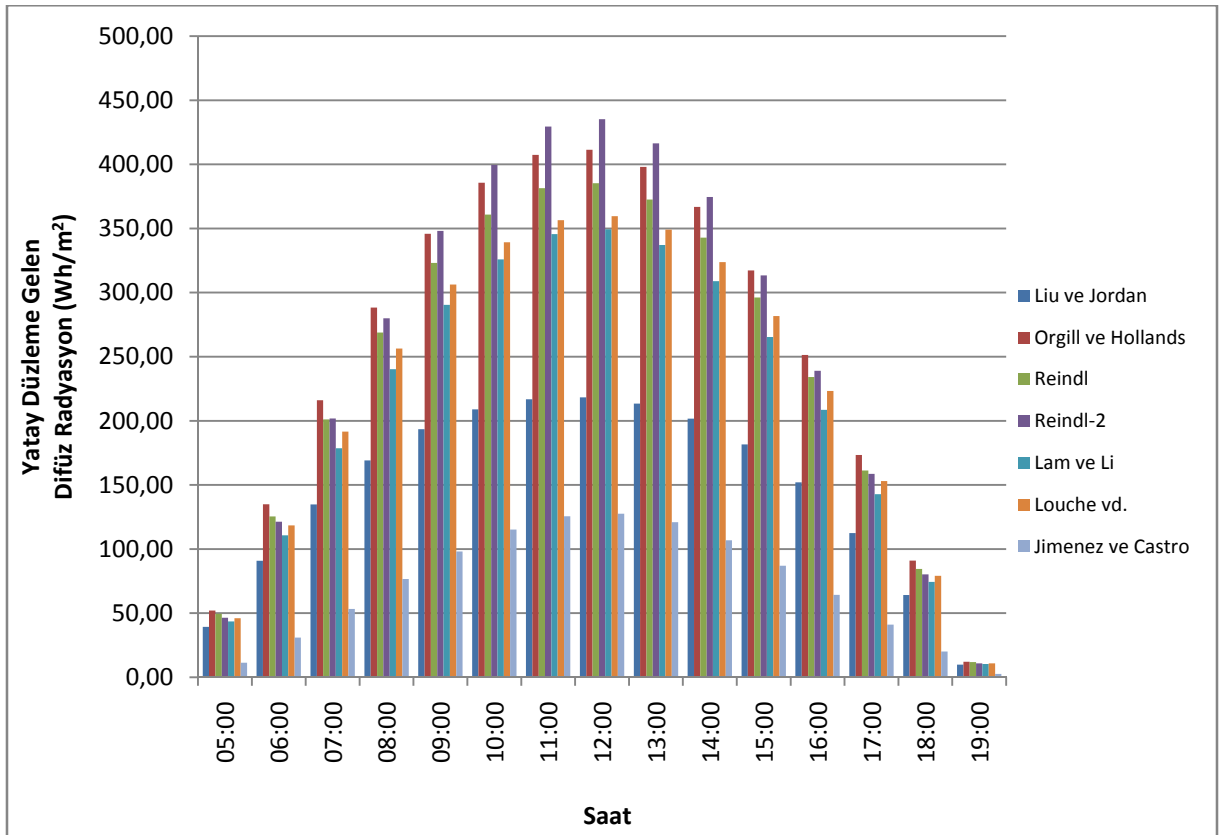
Mart



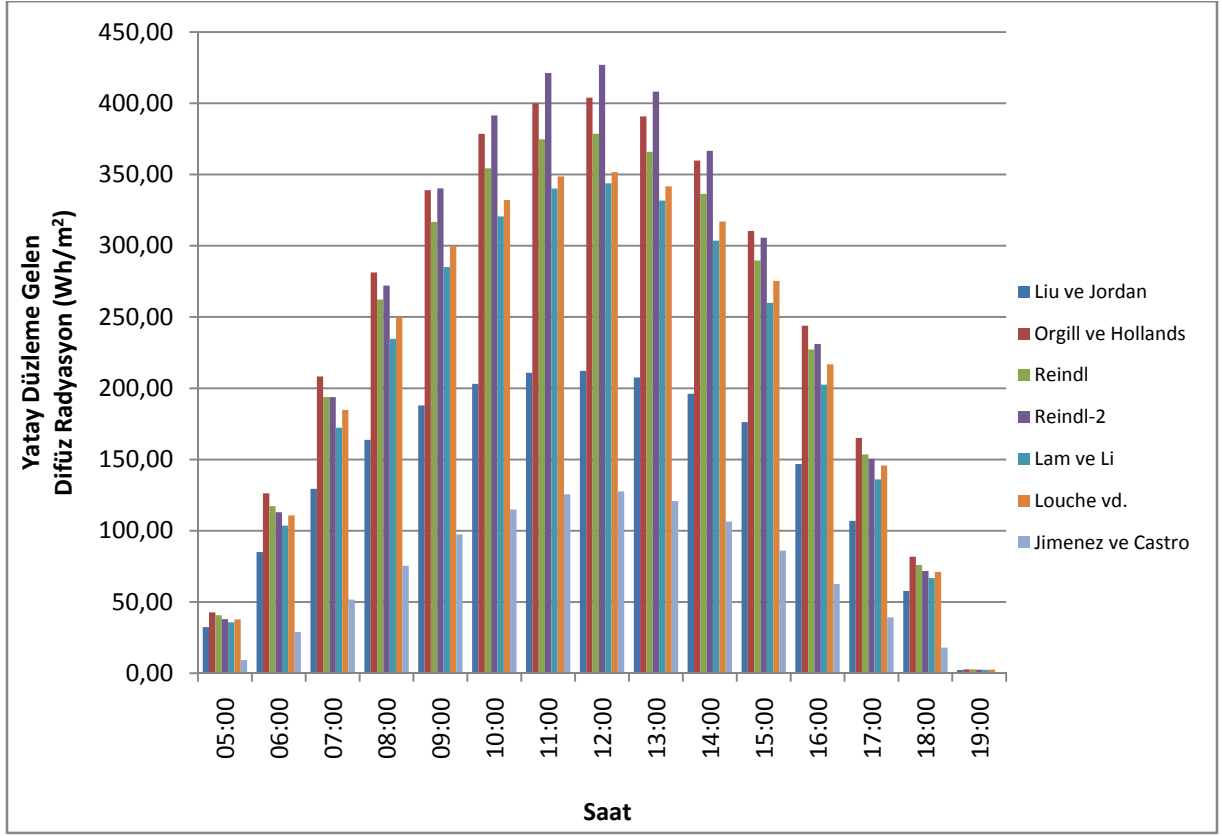
Nisan



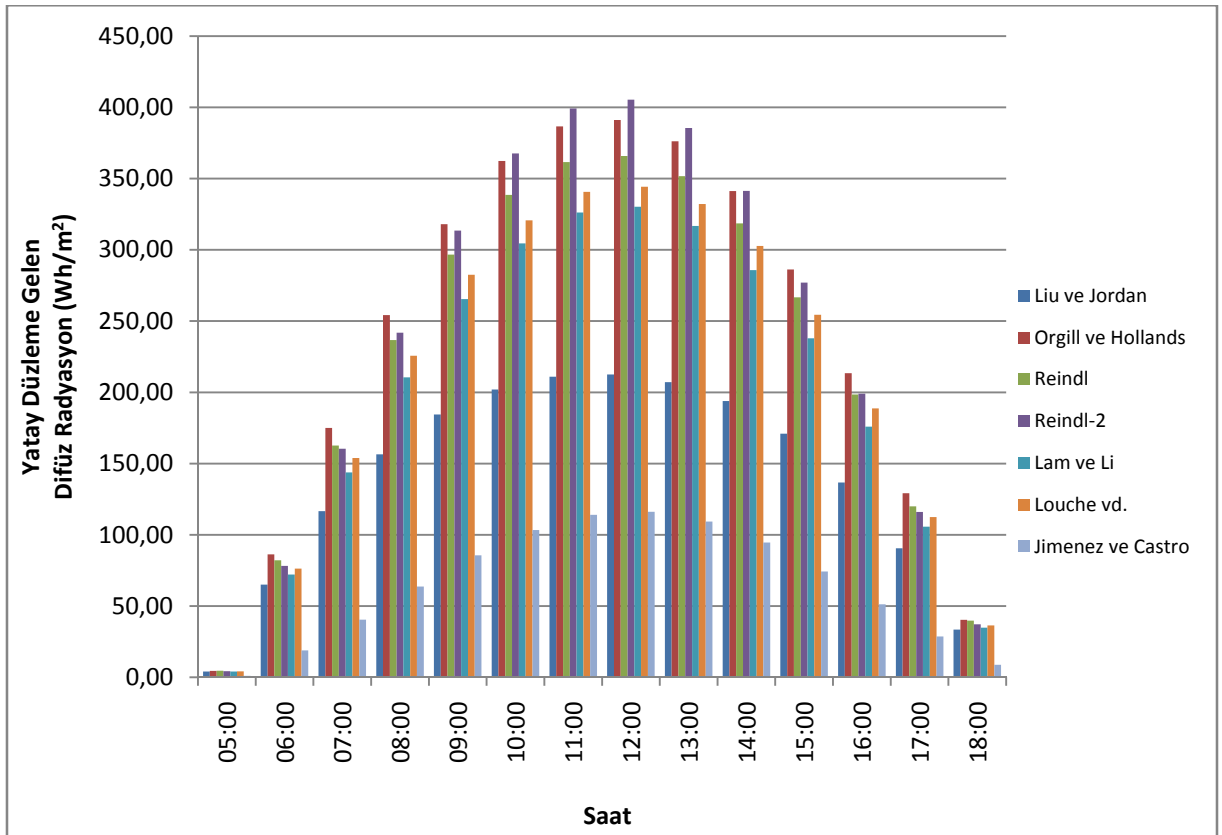
Mayıs



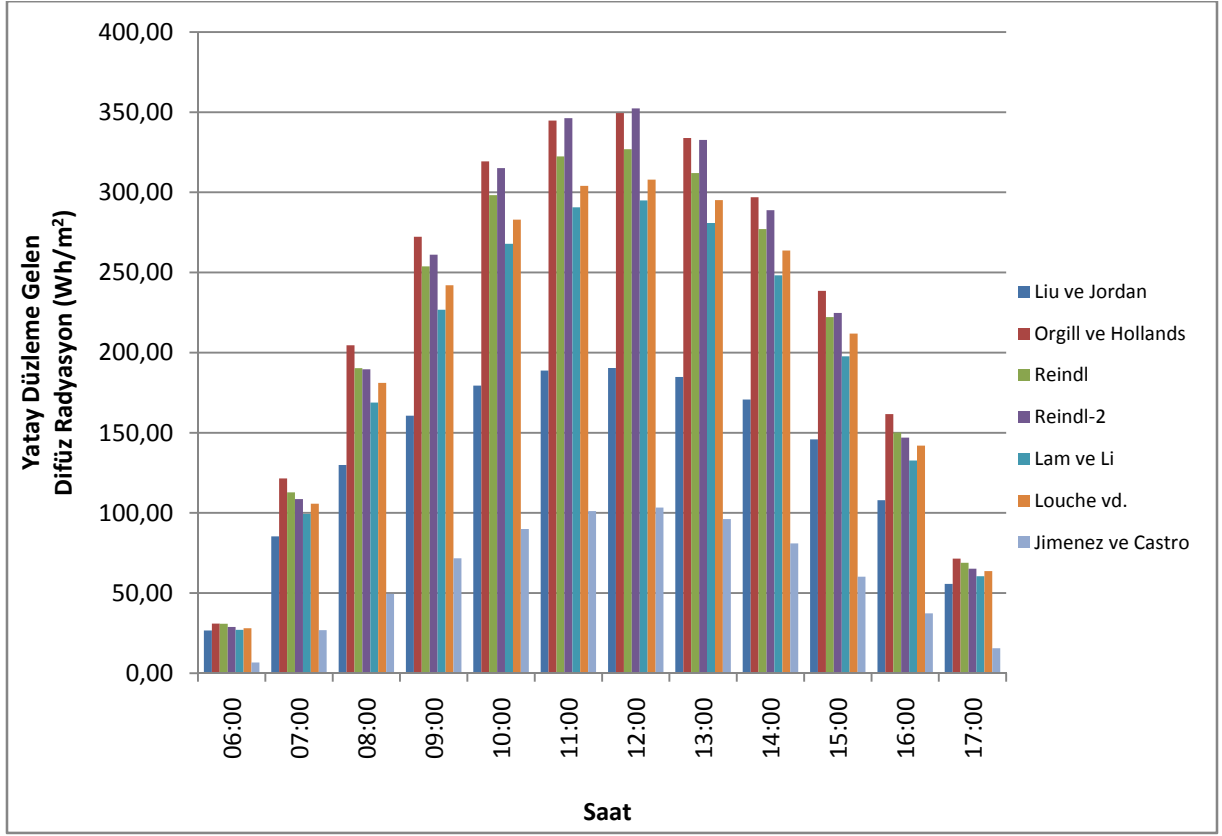
Haziran



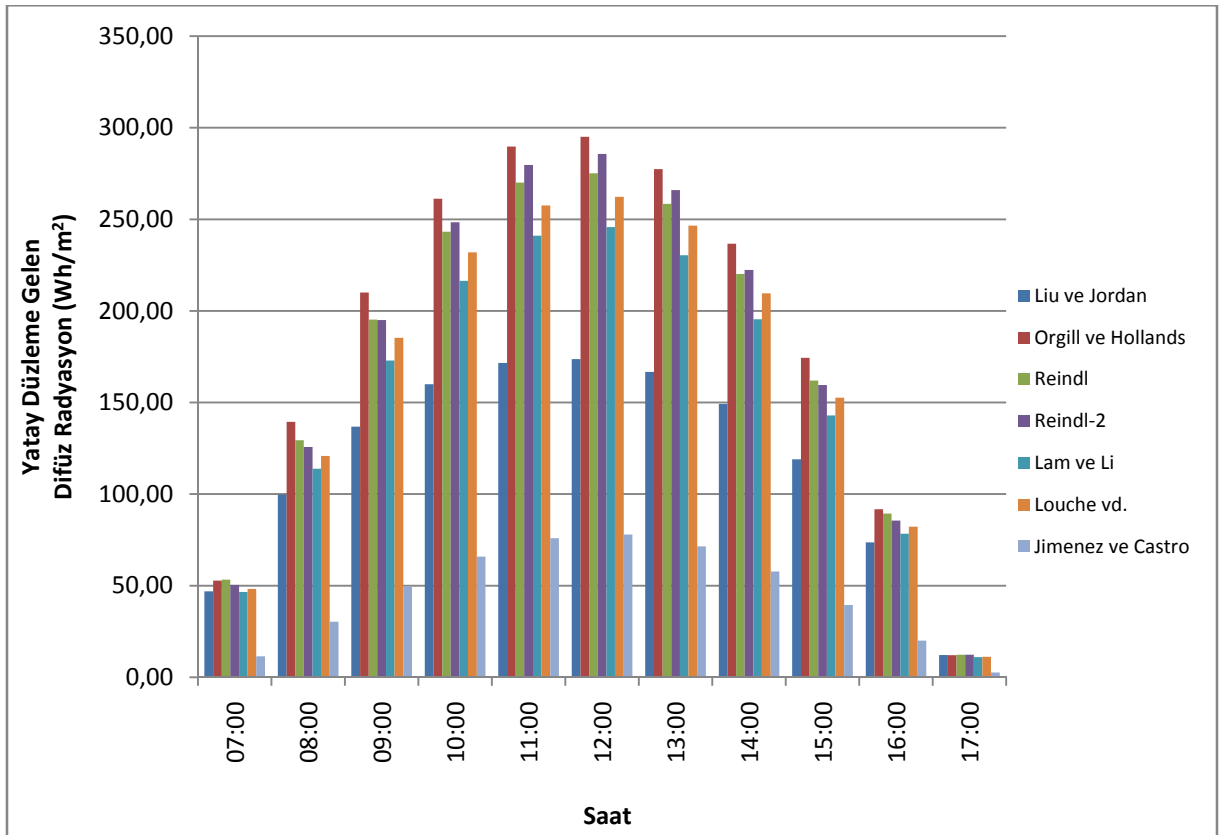
Temmuz



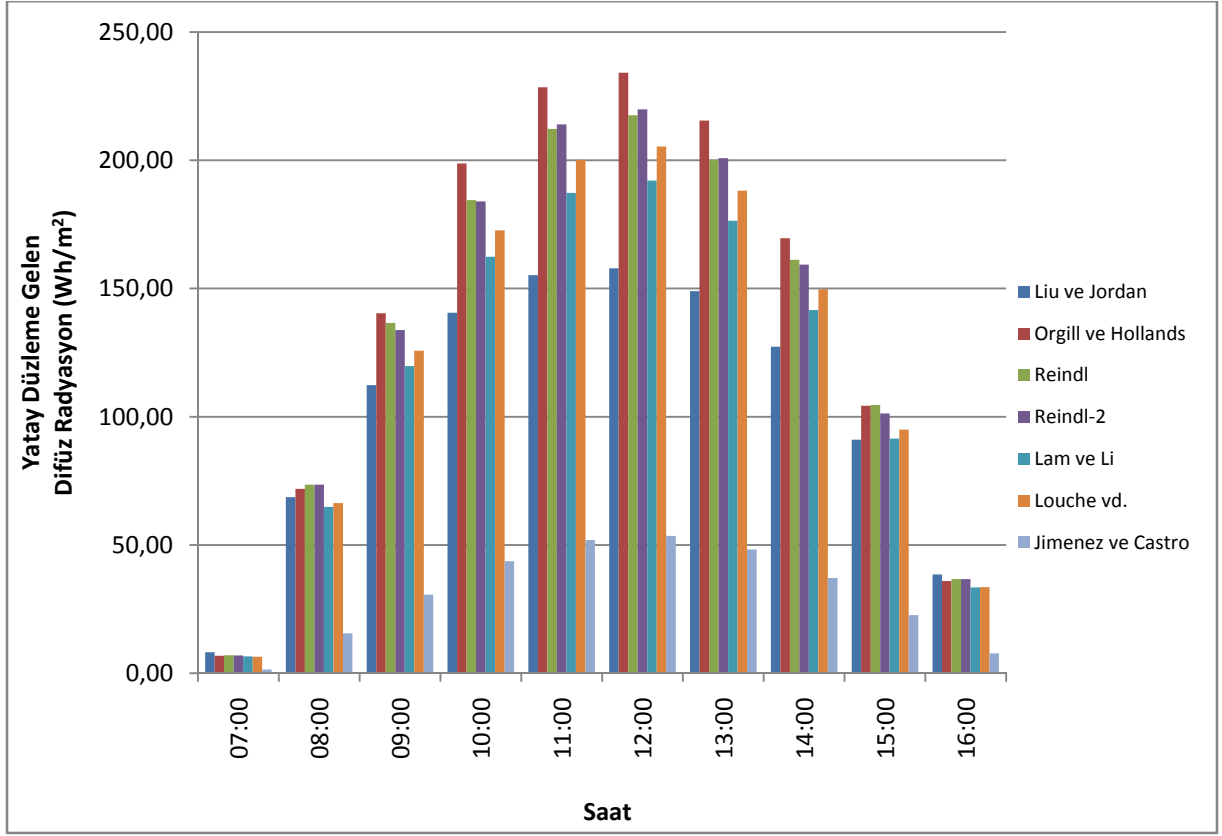
Ağustos



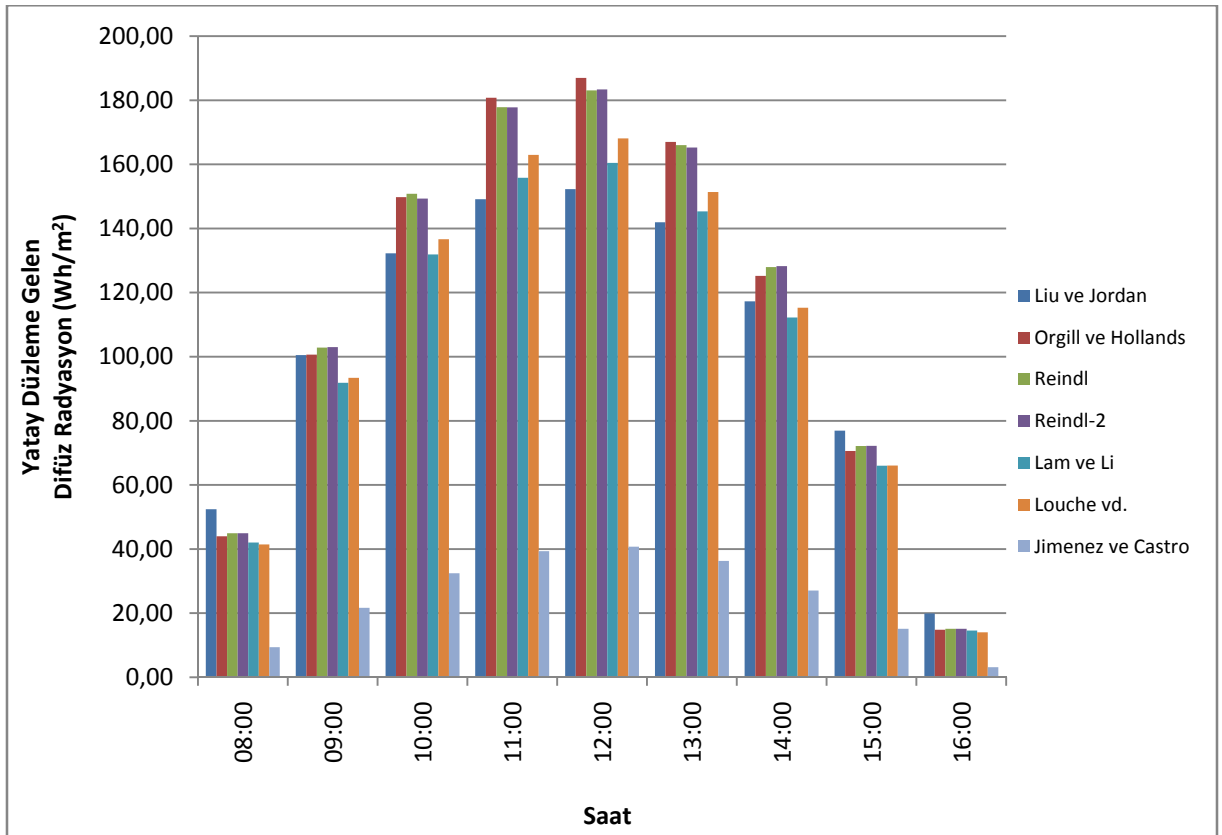
Eylül



Ekim

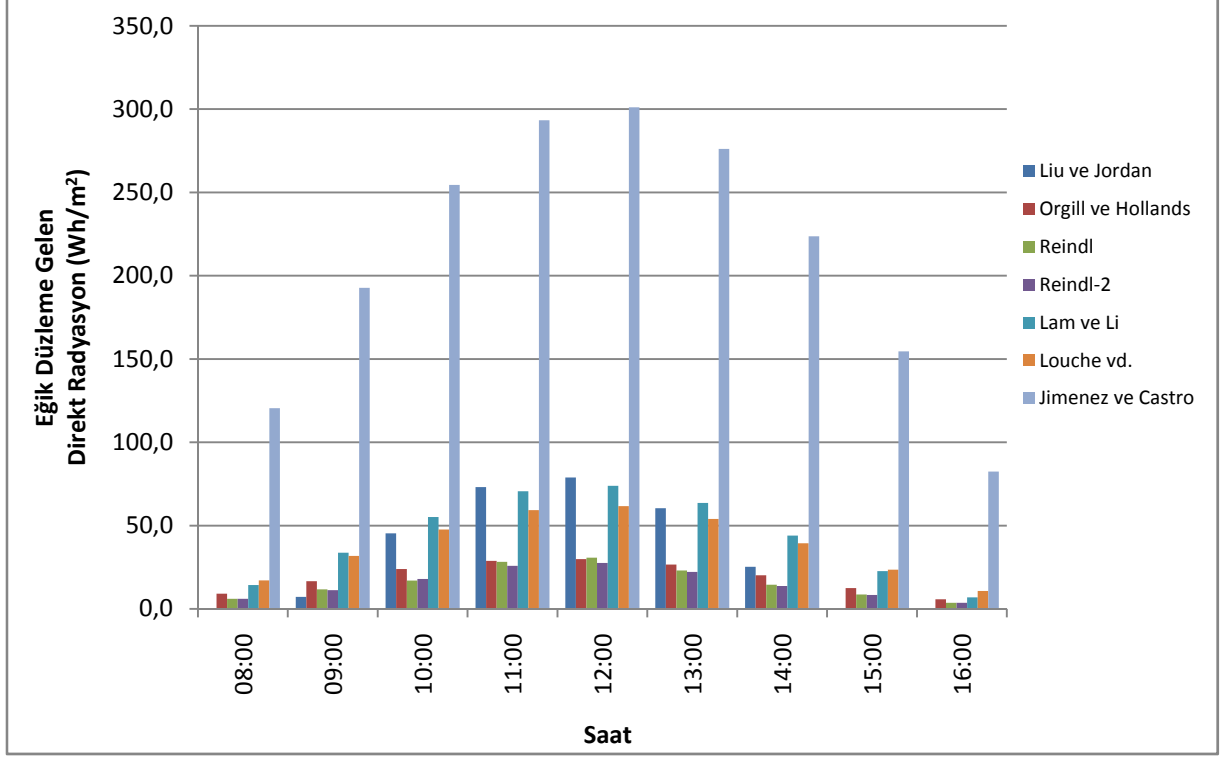


Kasım

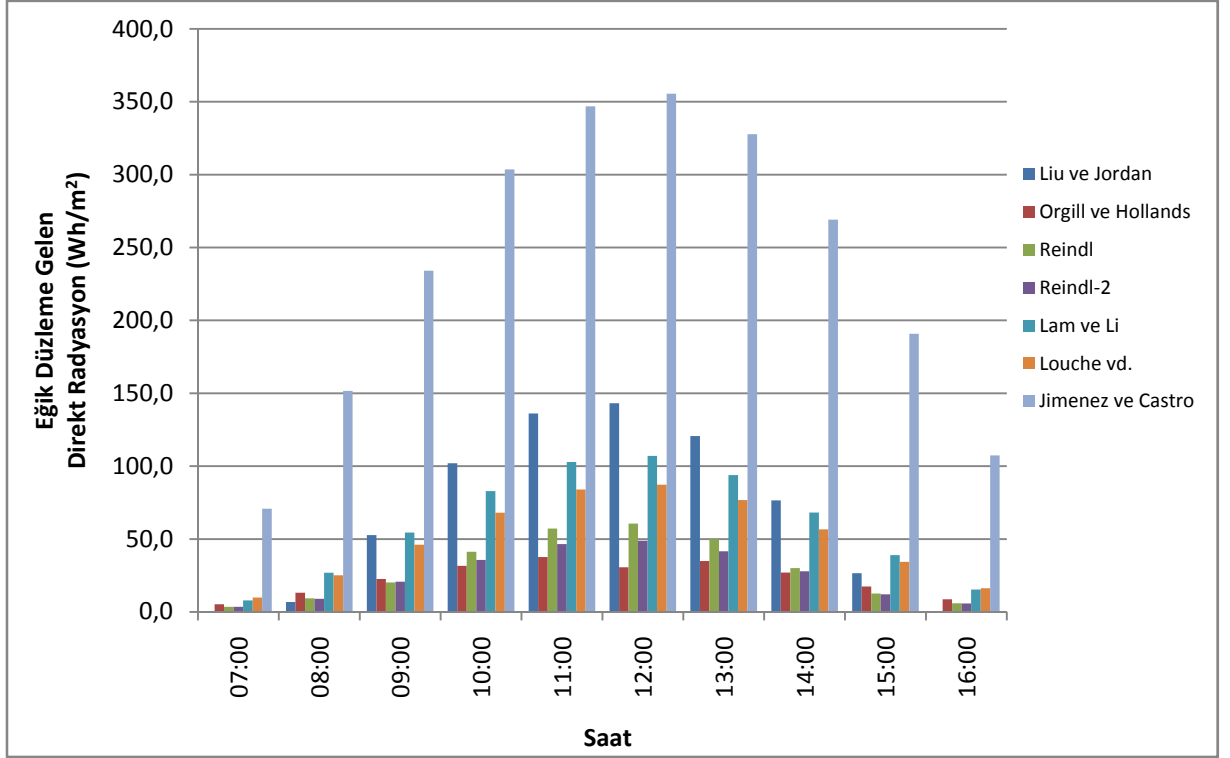


Aralık

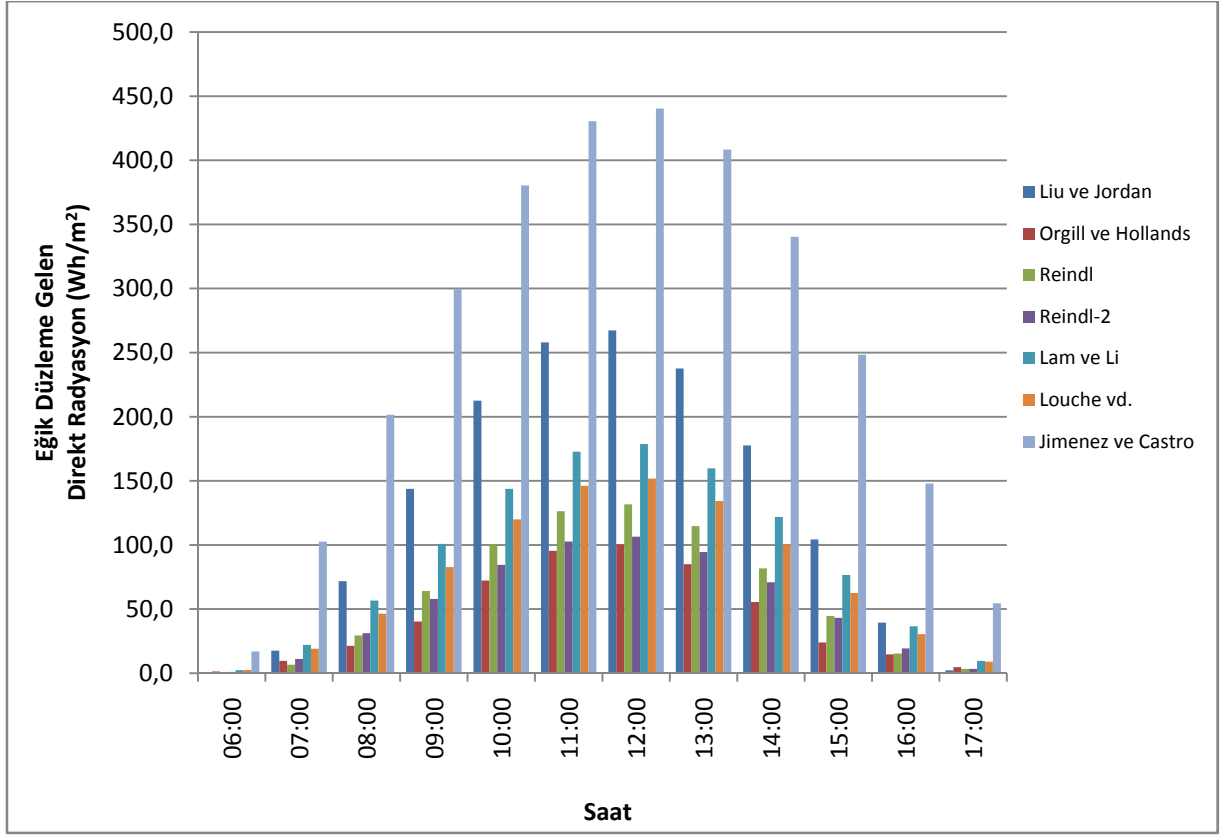
Ek 3 Algoritmada kullanılan eğik düzlem direkt radyasyon modelinin (Liu ve Jordan) tüm ayrıştırma modellerinden gelen yatay düzlem direkt radyasyon değeri ve tüm aylar için hesapladıkları eğik düzleme gelen direkt radyasyon değerleri



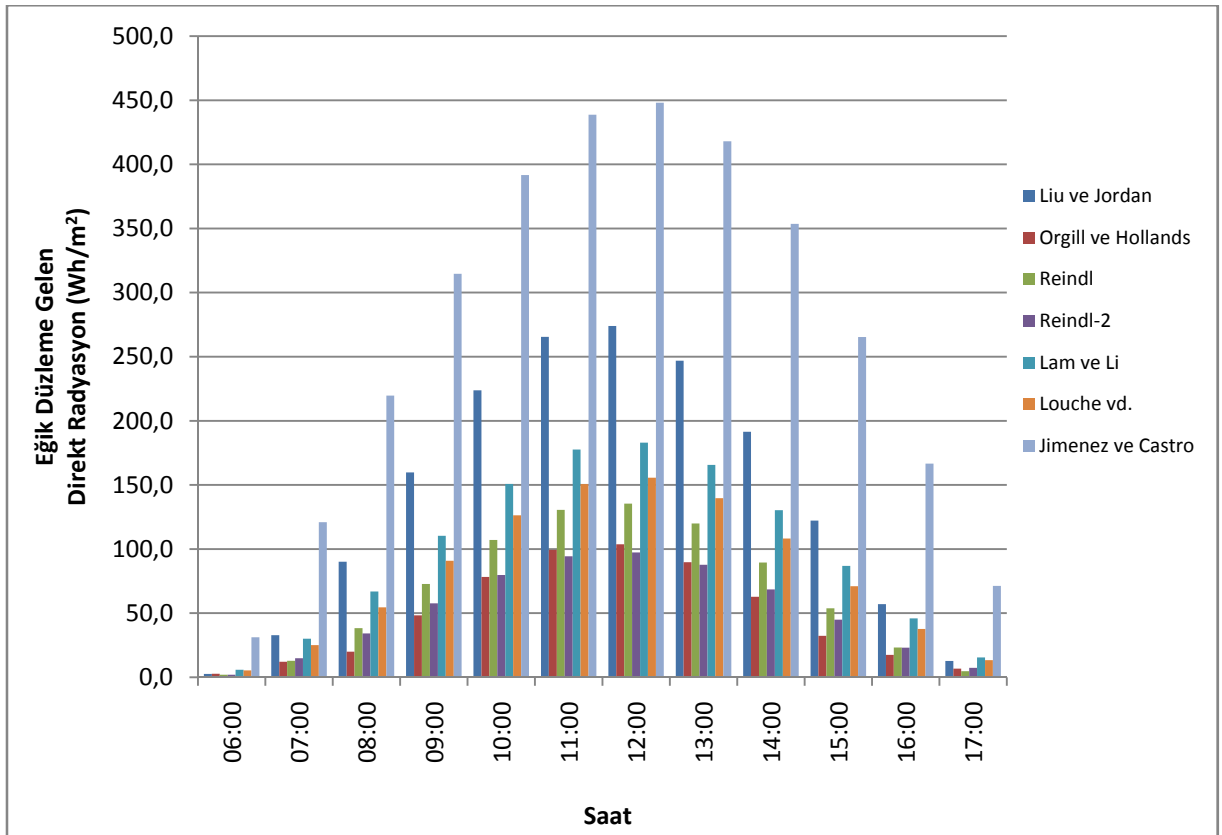
Ocak



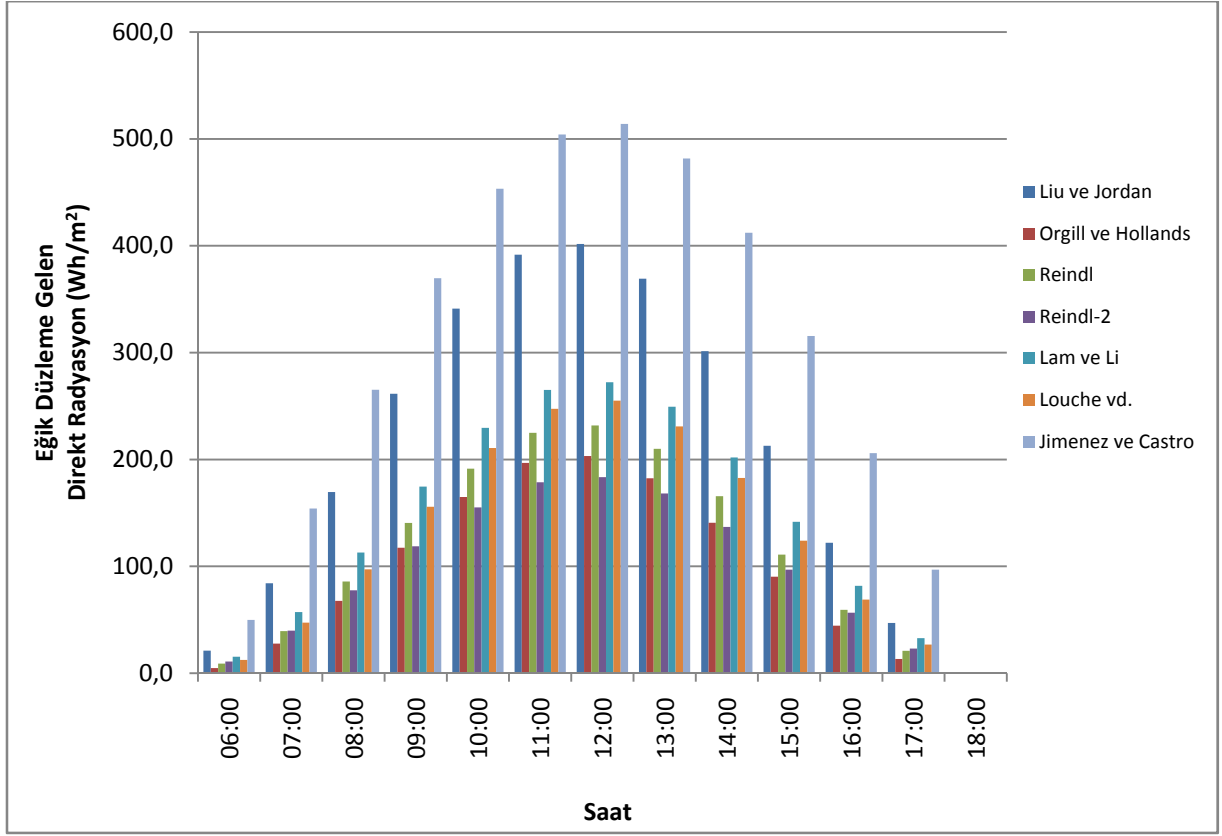
Şubat



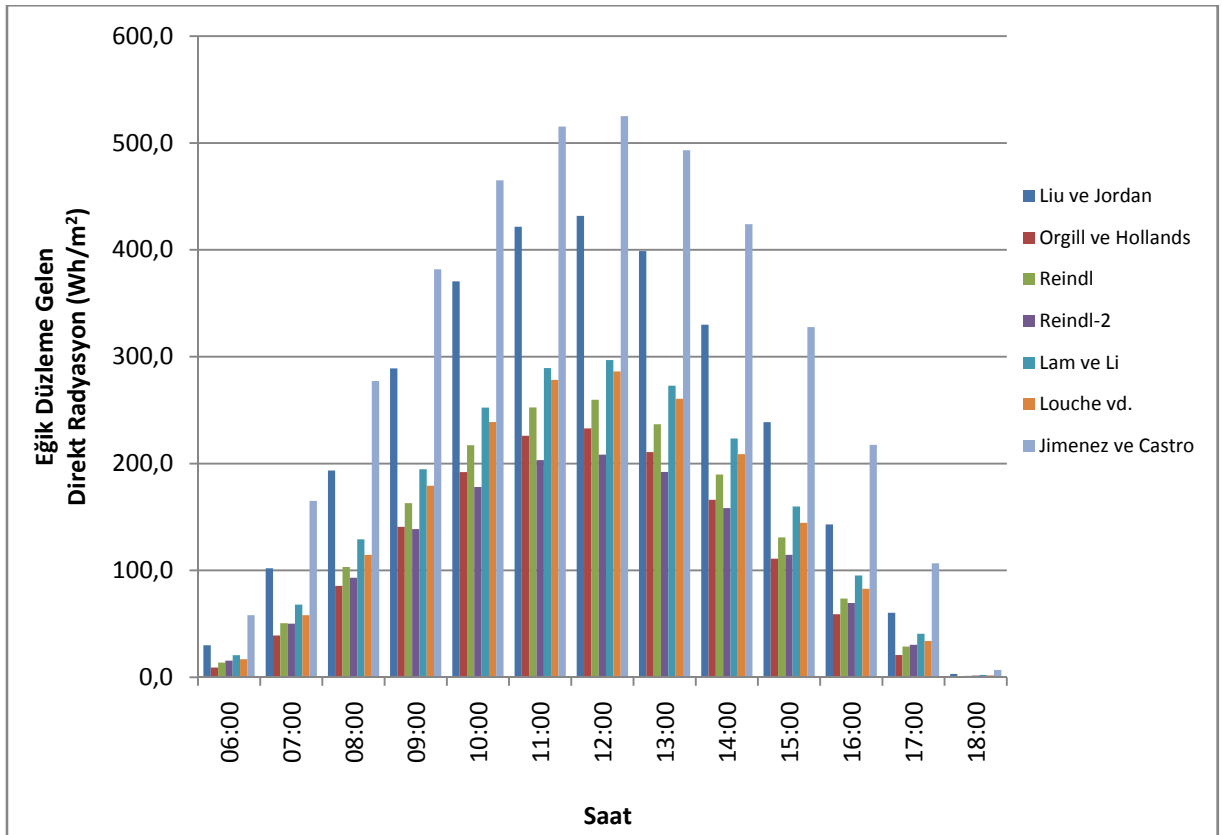
Mart



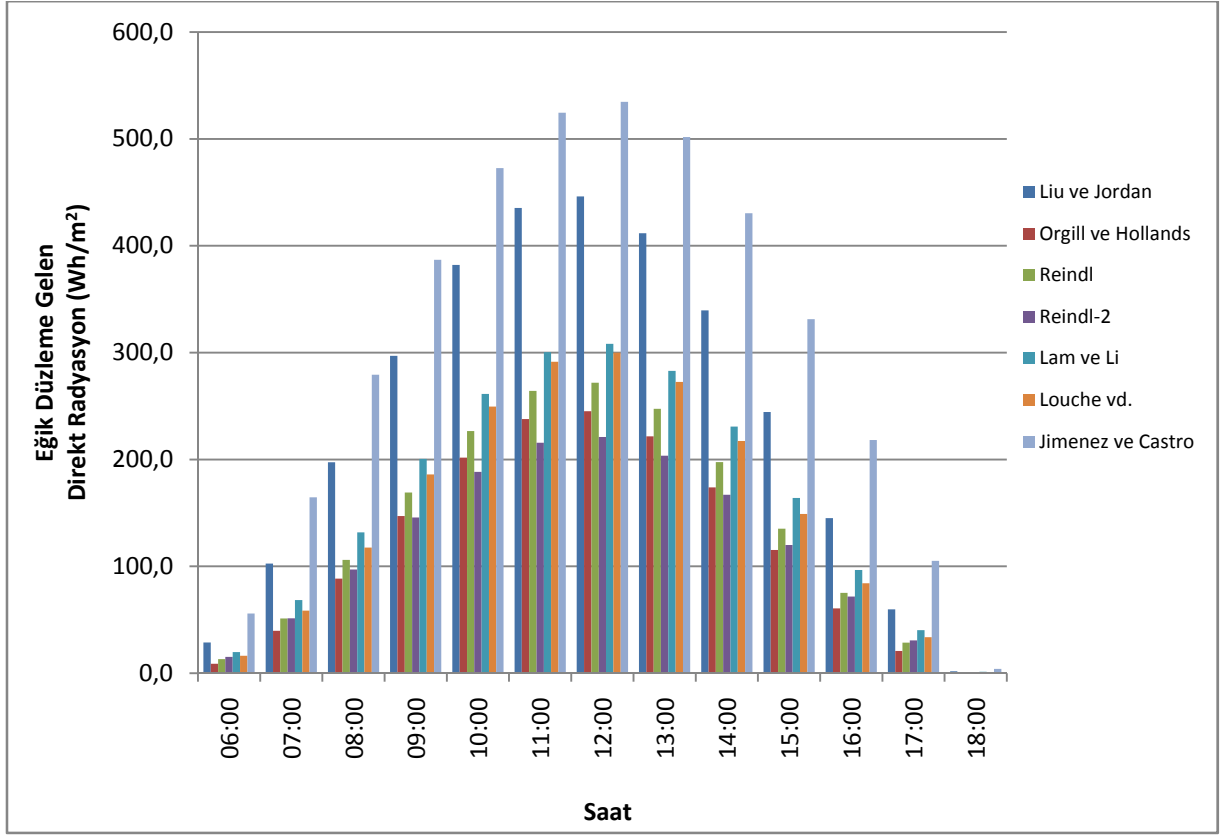
Nisan



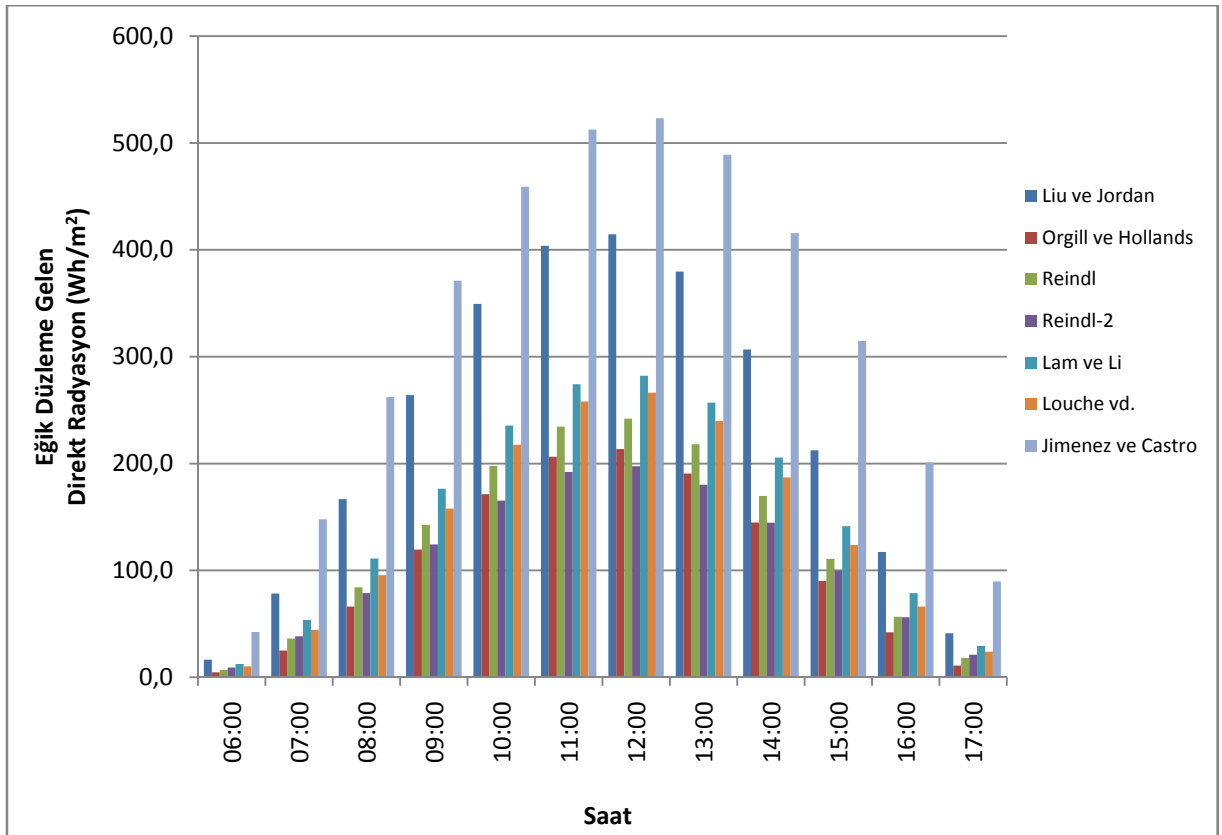
Mayıs



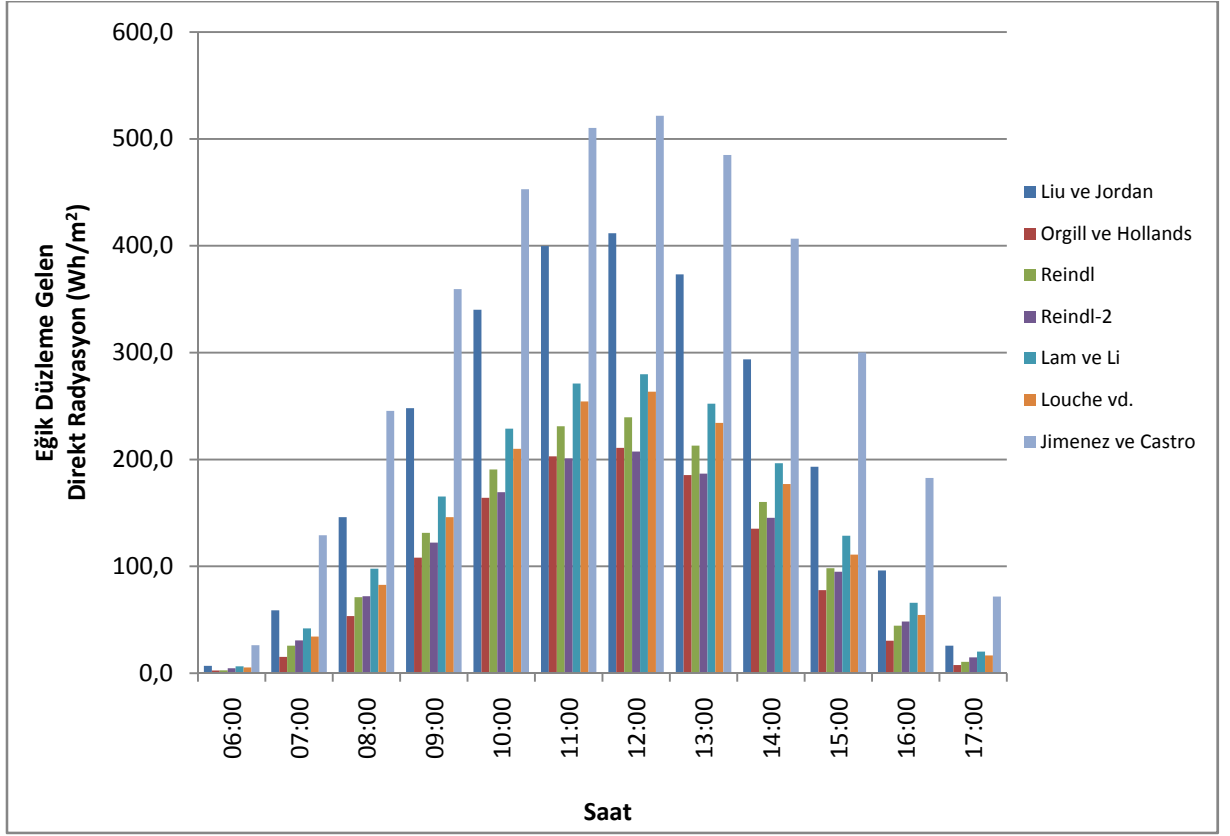
Haziran



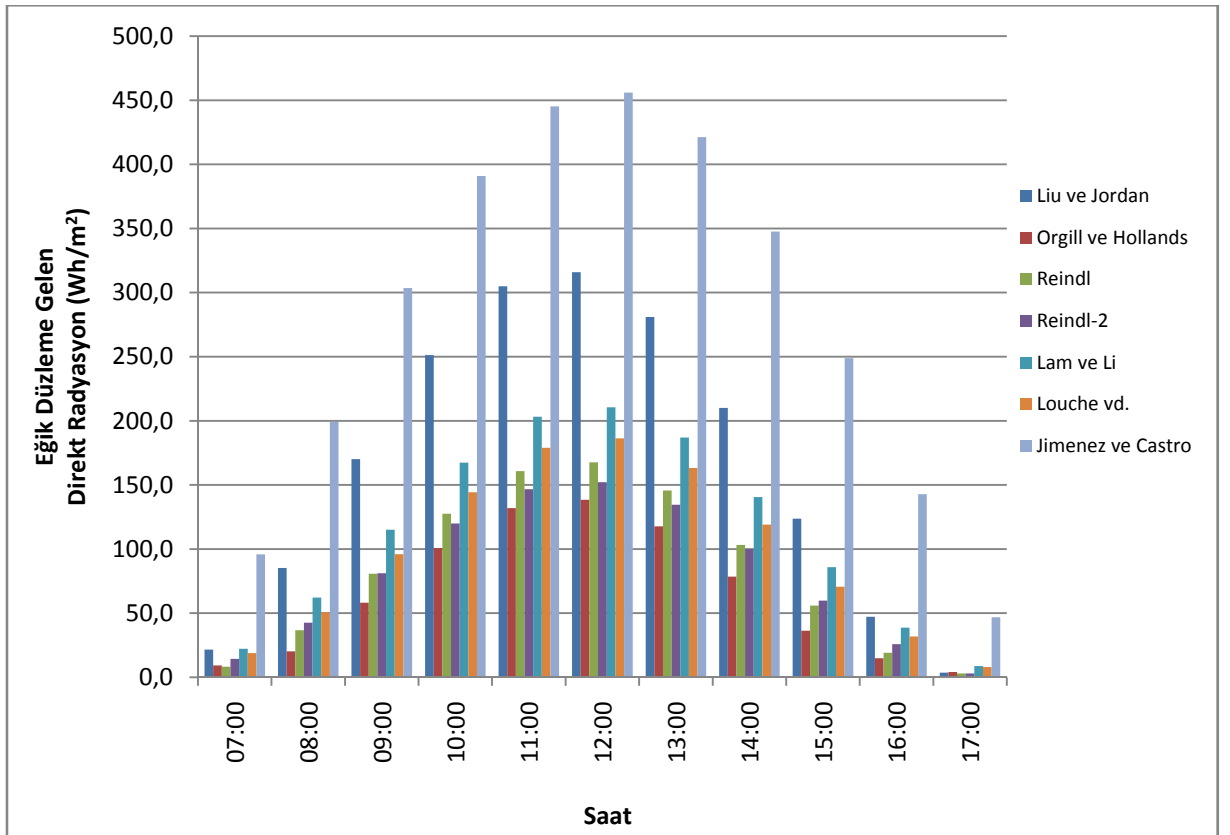
Temmuz



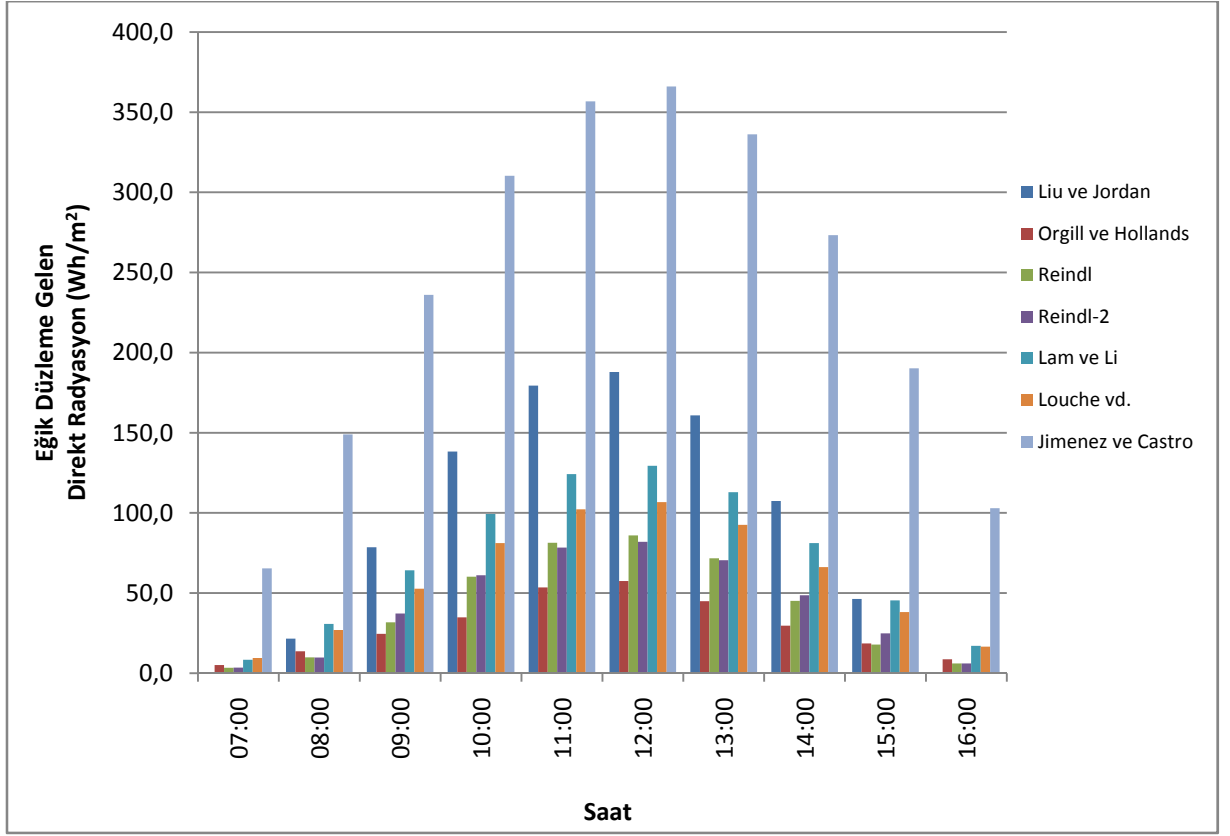
Ağustos



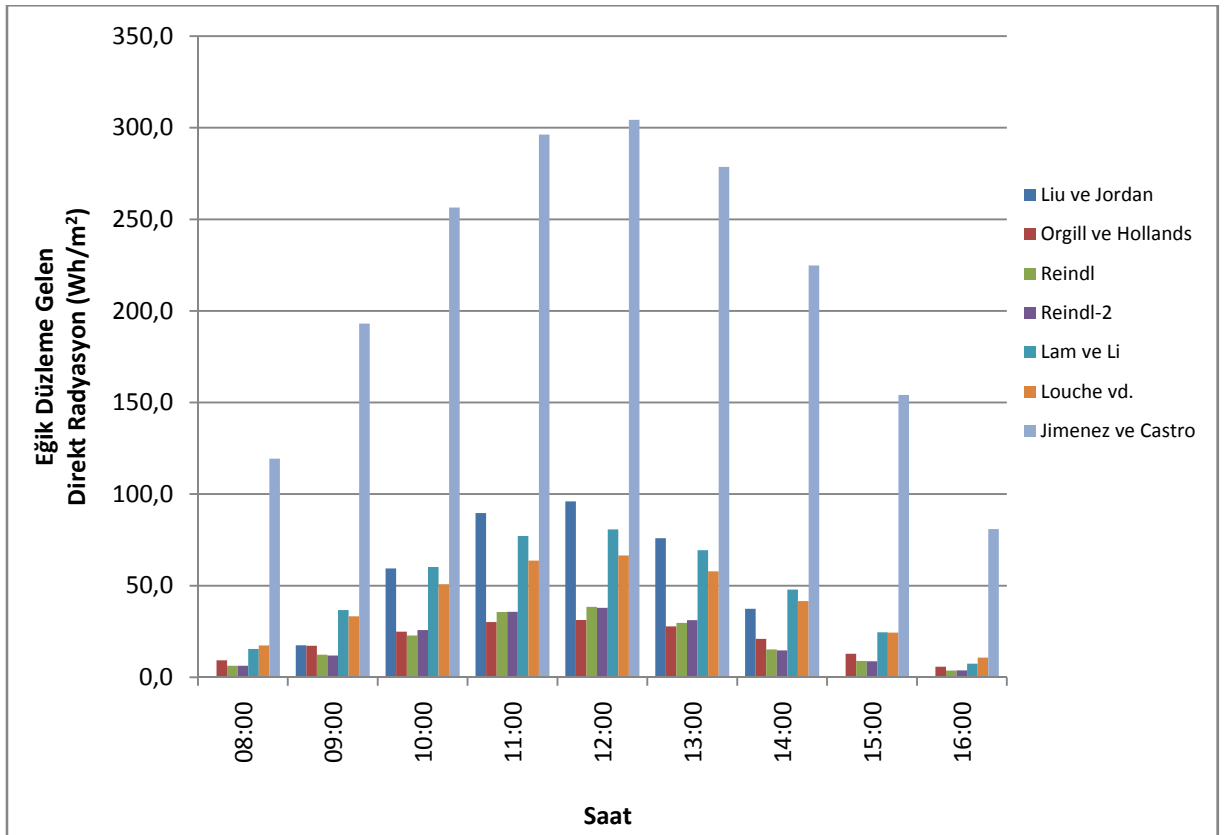
Eylül



Ekim

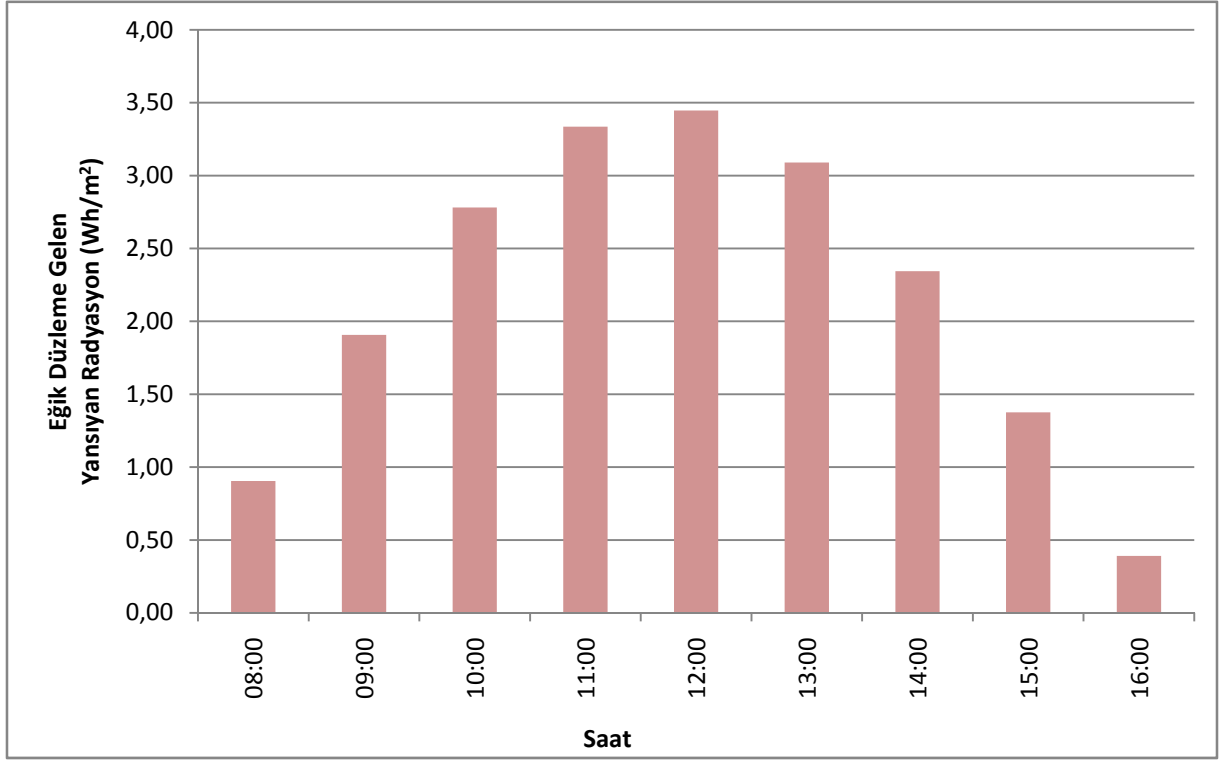


Kasım

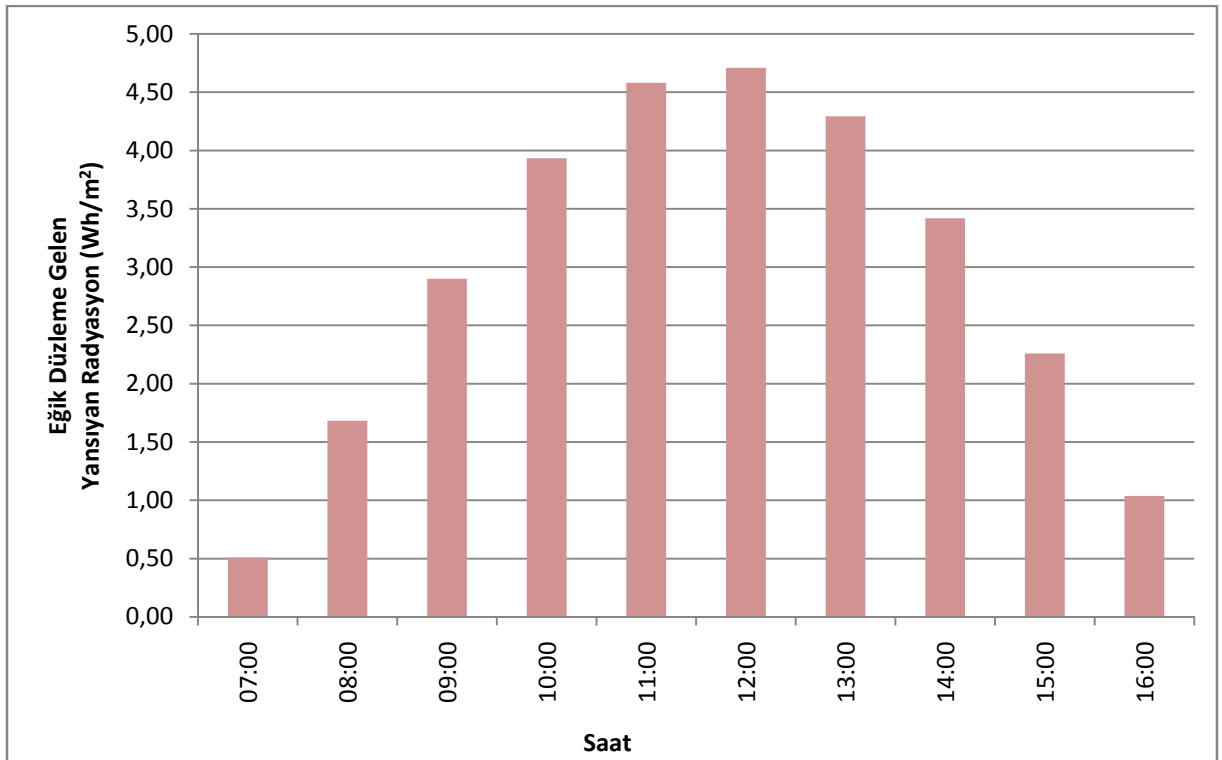


Aralık

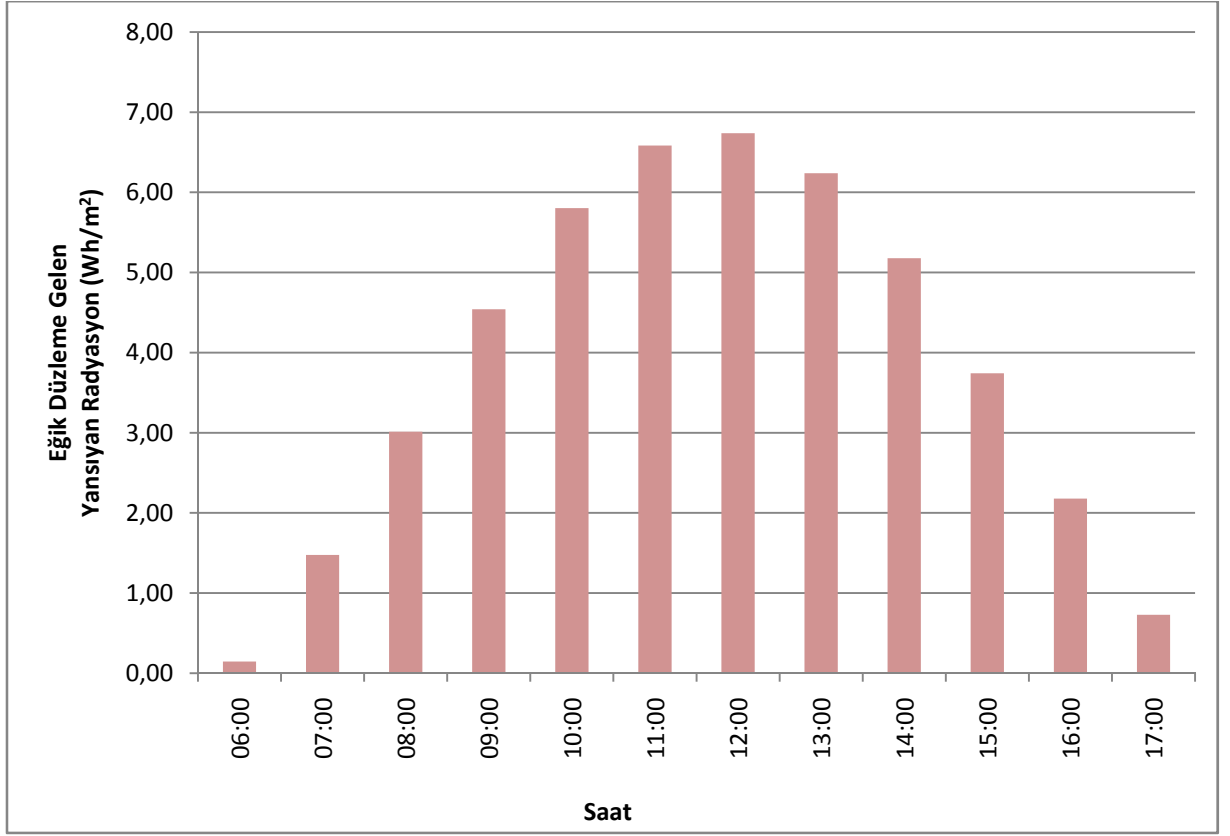
Ek 4 Algoritmada kullanılan eğik düzlem yansıyan radyasyon modelinin (Liu ve Jordan) tüm aylar için hesapladığı eğik düzleme gelen yansıyan radyasyon değerleri



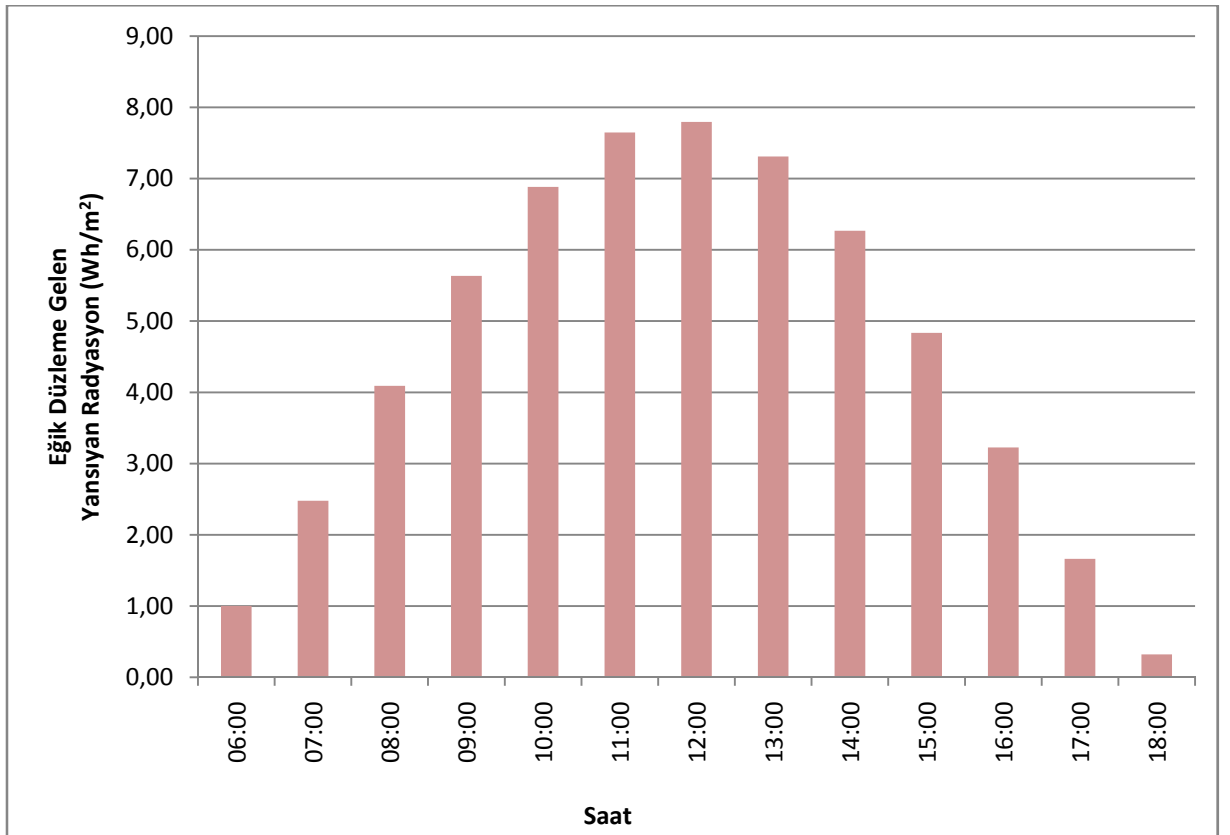
Ocak



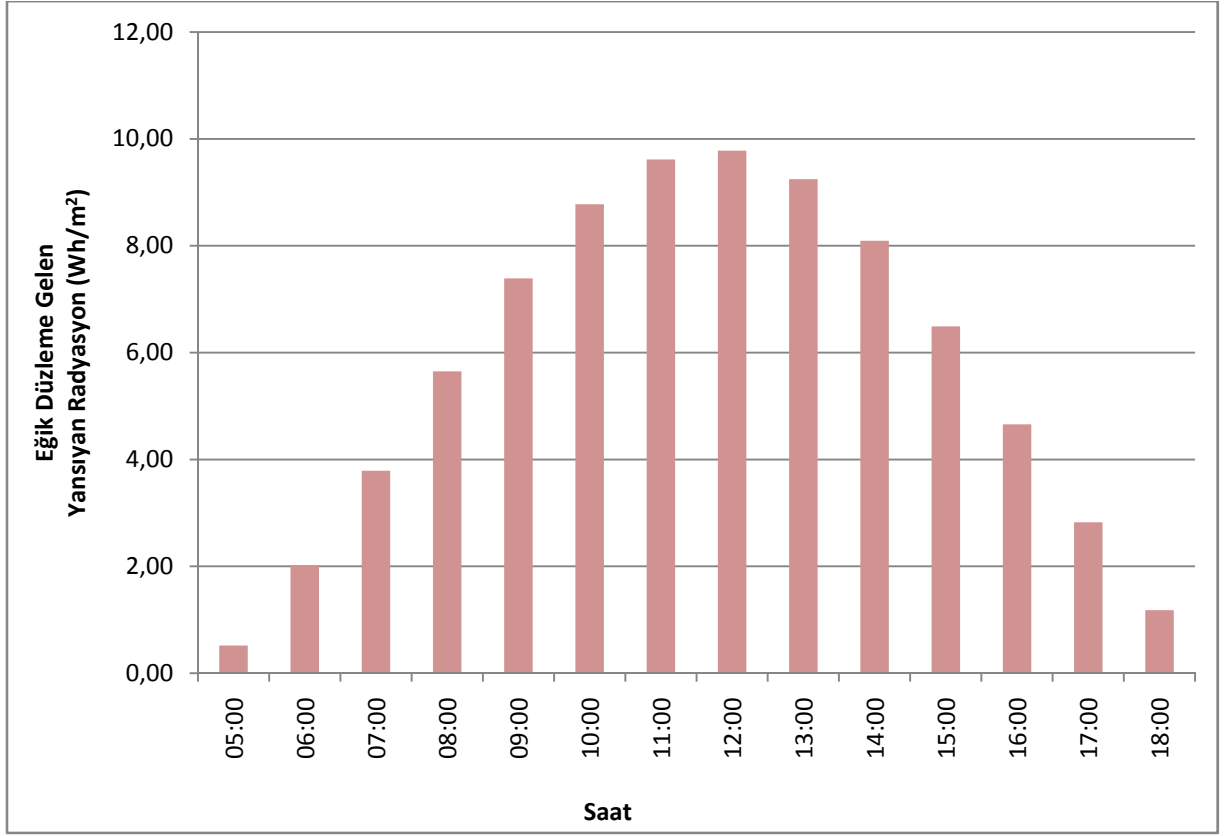
Şubat



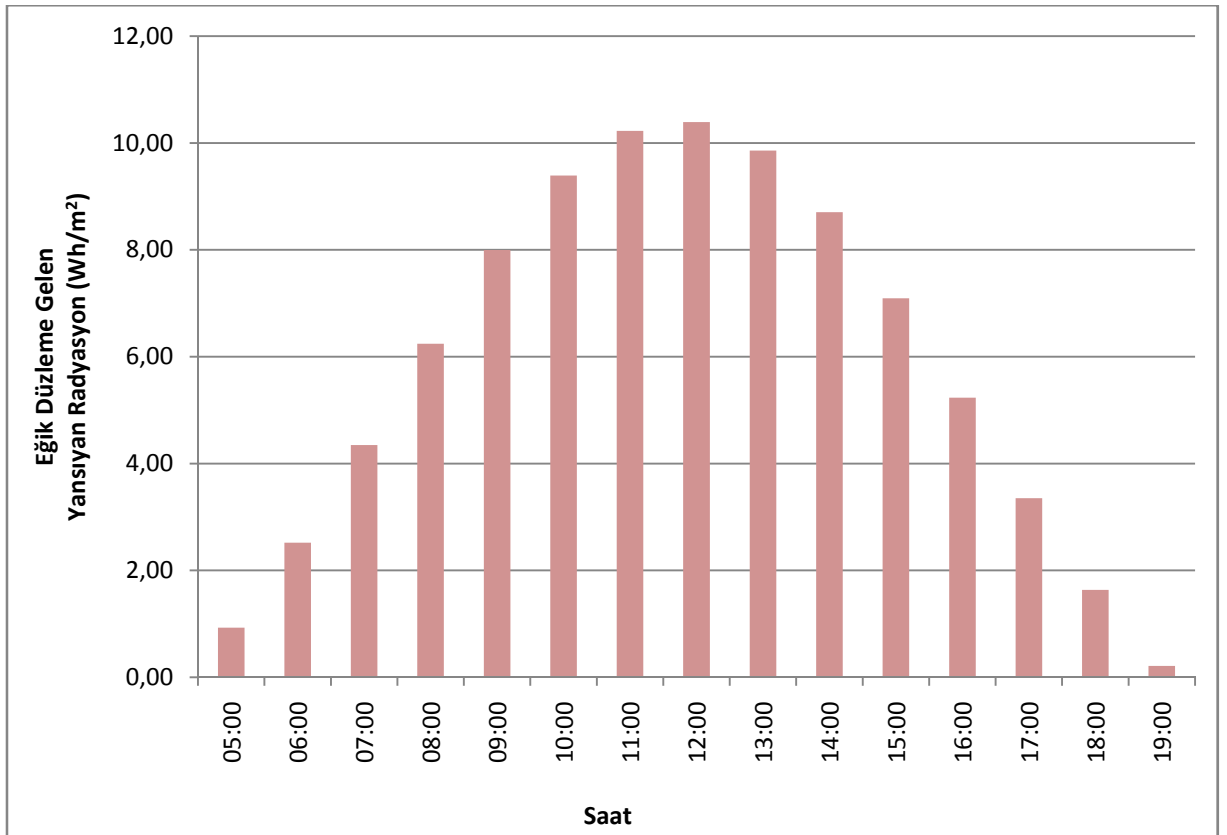
Mart



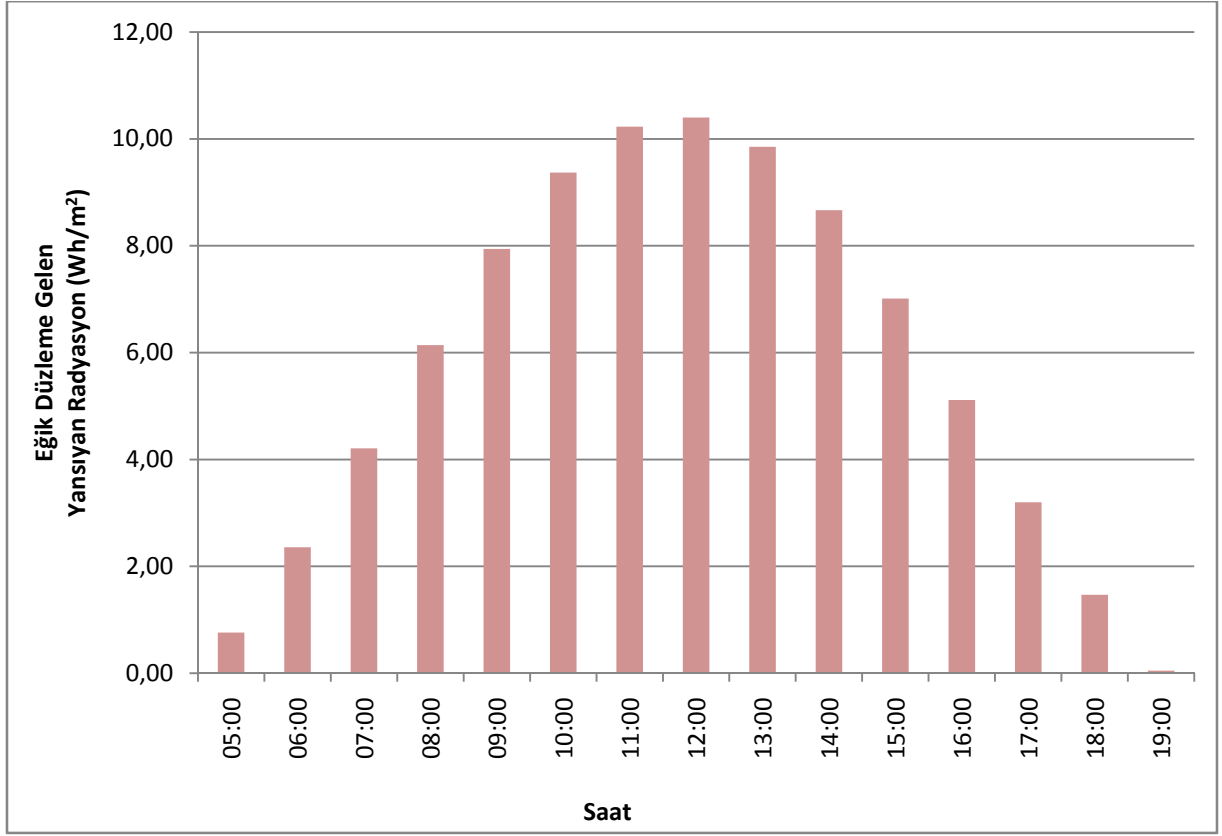
Nisan



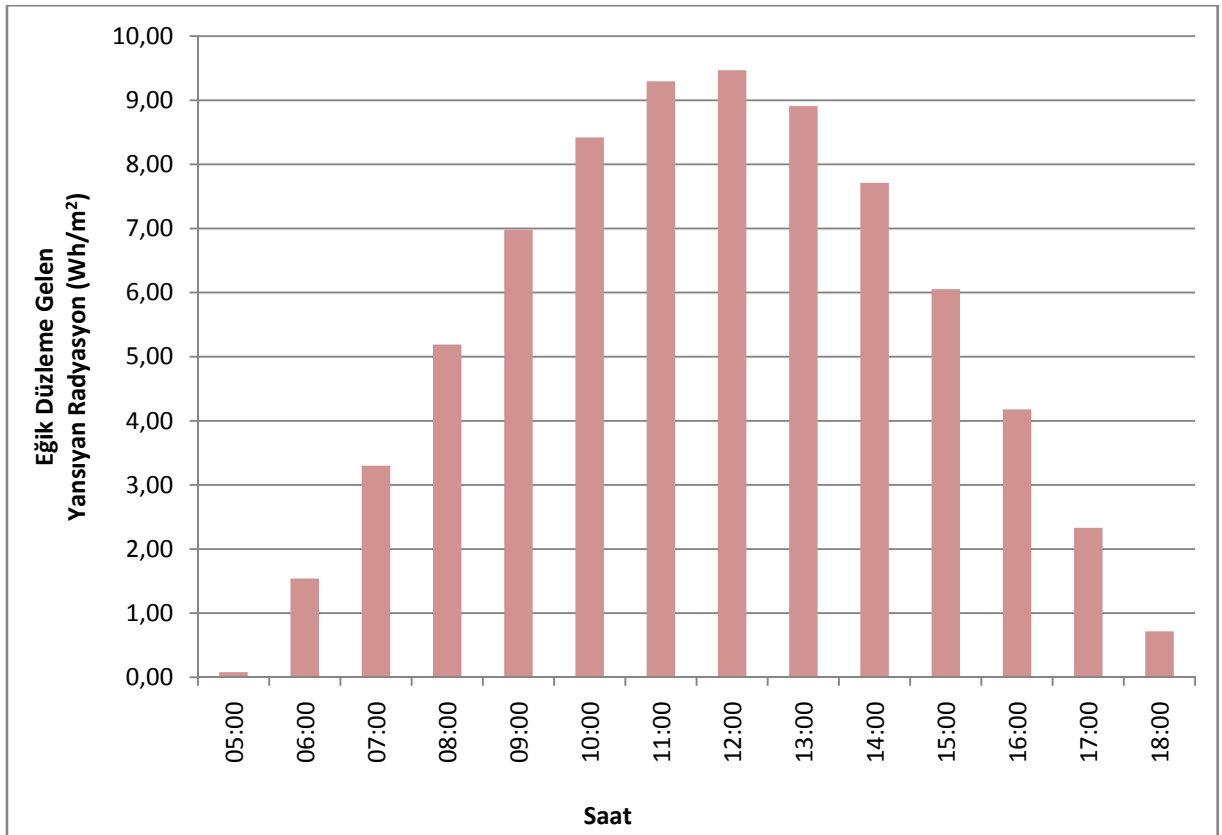
Mayıs



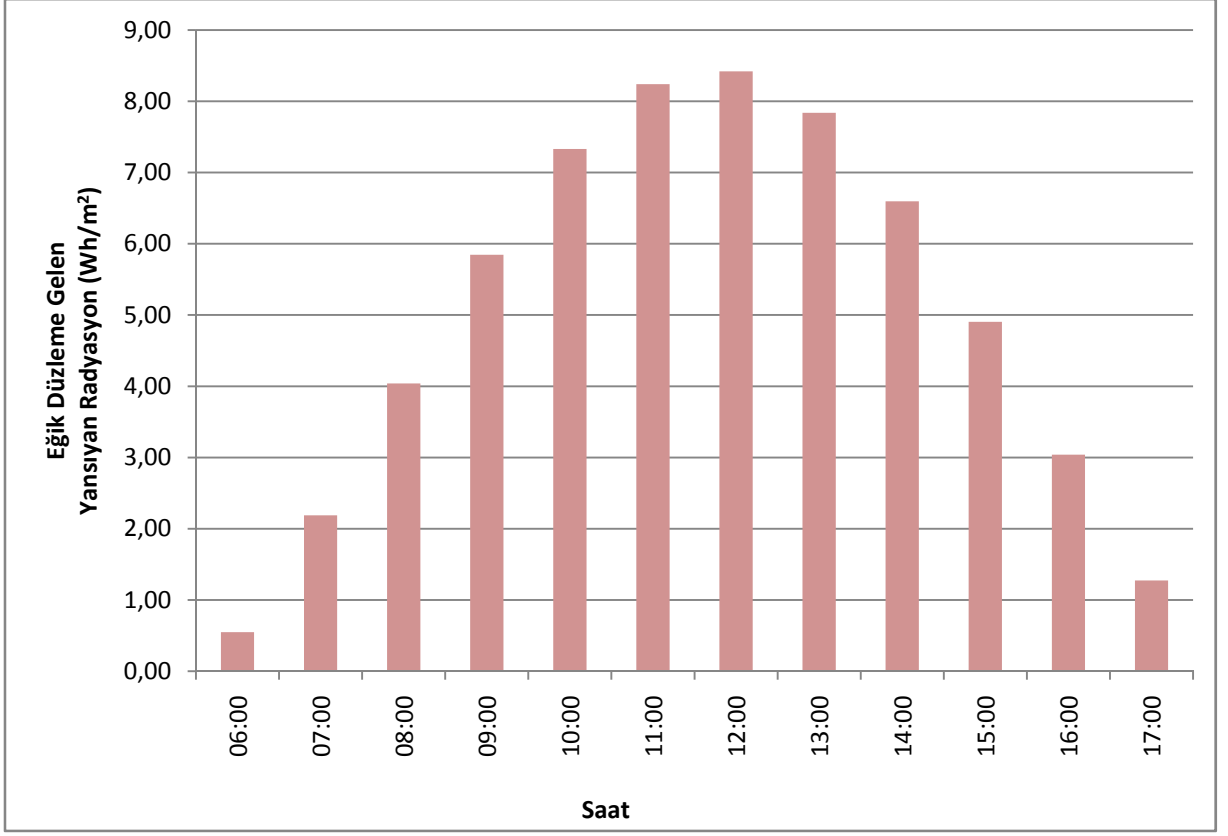
Haziran



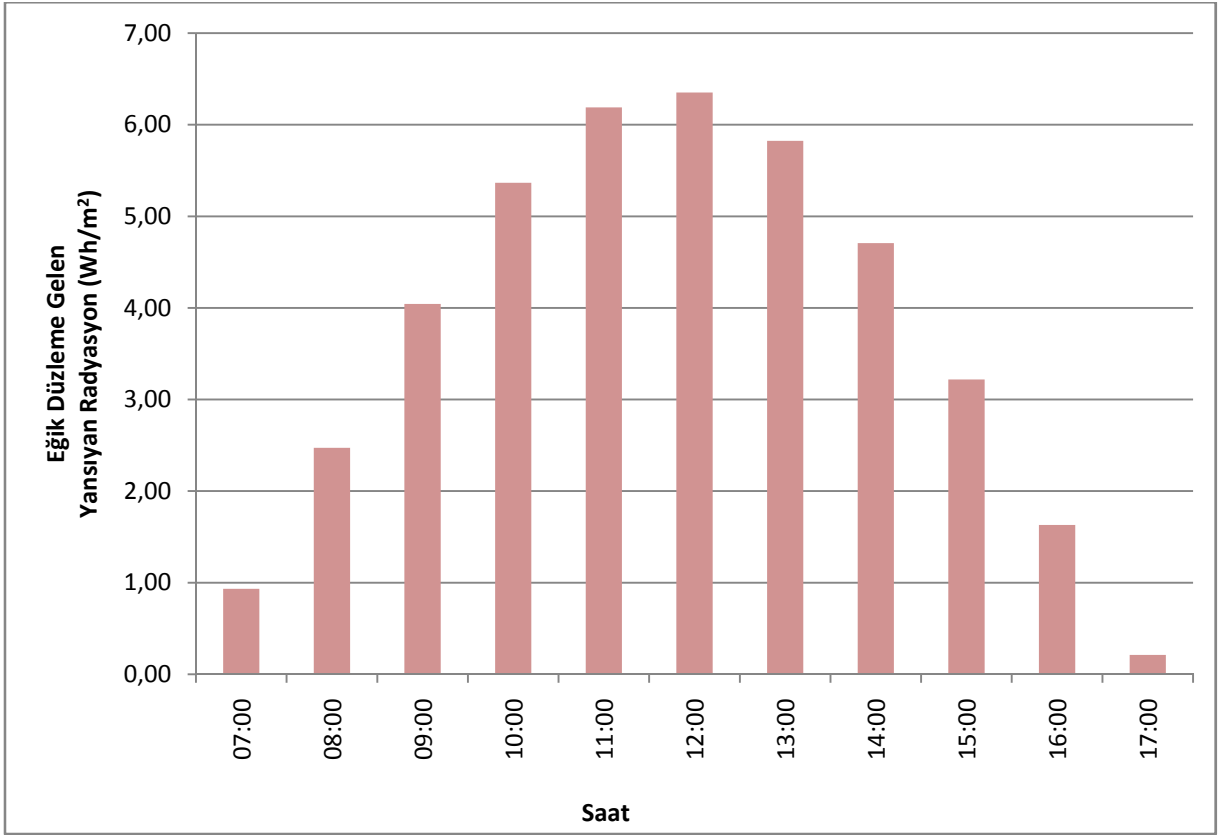
Temmuz



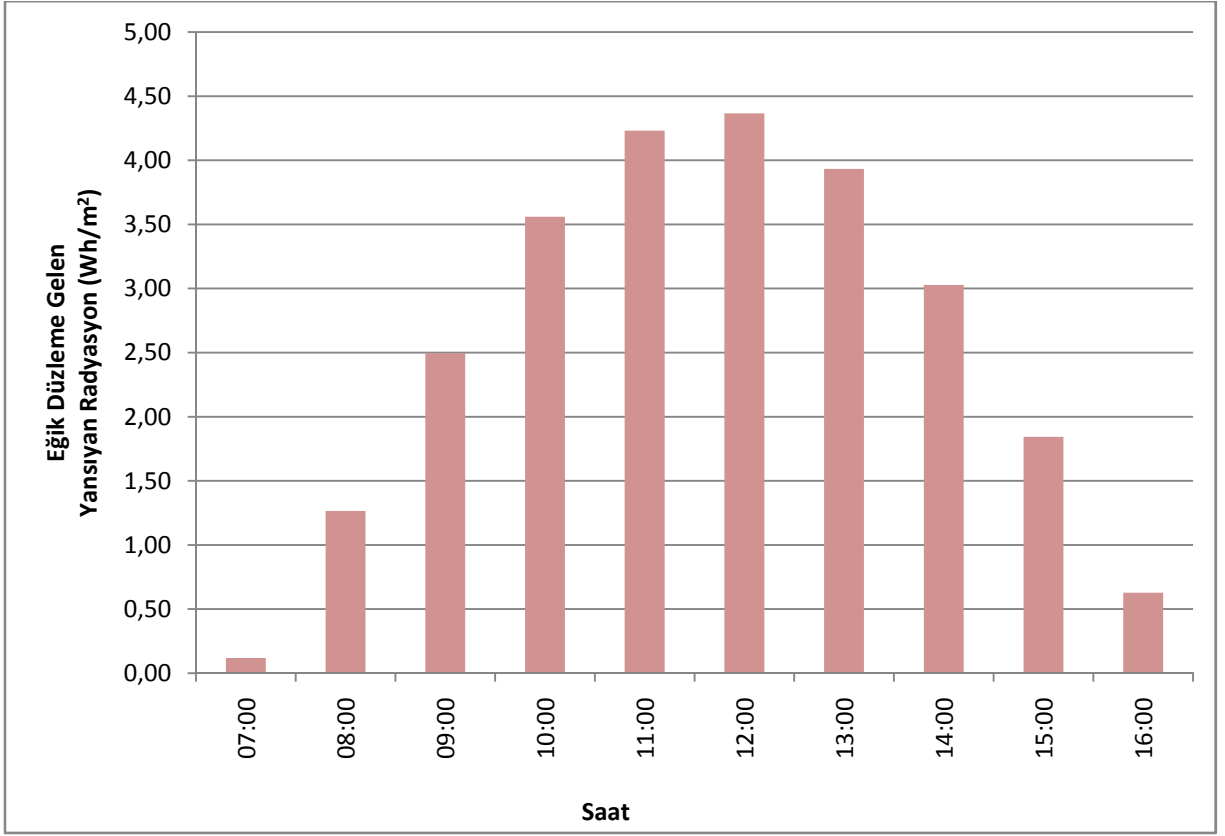
Ağustos



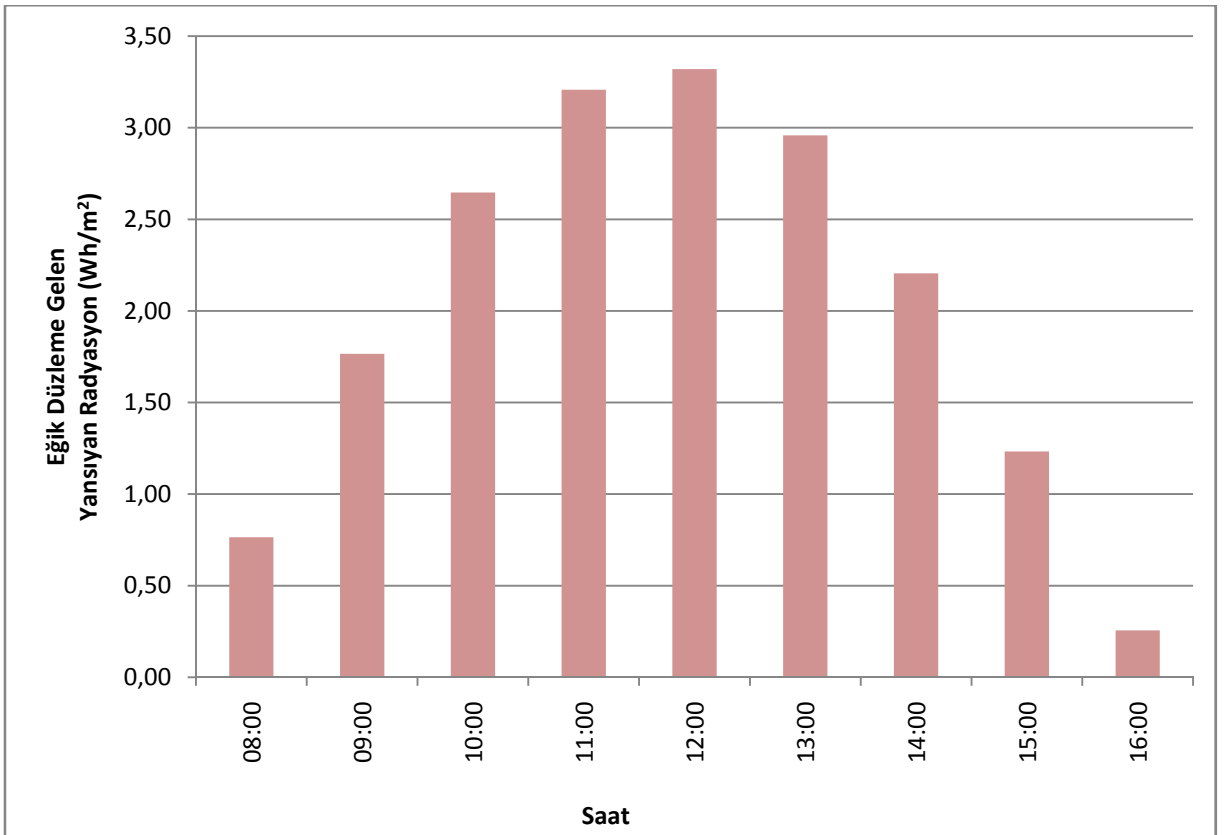
Eylül



Ekim



Kasım



Aralık

Ek 5 Tüm modellerin MBE, RMSE ve CC değerleri (En büyük MBE değerinden en küçük MBE değerine doğru sıralanmış)

	MBE	RMSE	CC
Model 53	23,82%	25,97%	99,31%
Model 55	23,70%	24,85%	99,44%
Model 51	23,64%	26,05%	99,19%
Model 54	23,47%	24,29%	99,52%
Model 52	23,28%	25,11%	99,40%
Model 50	19,37%	19,70%	99,69%
Model 56	18,18%	22,72%	99,36%
Model 35	15,25%	21,38%	99,24%
Model 28	14,35%	21,04%	99,23%
Model 49	13,07%	20,69%	99,22%
Model 77	12,92%	20,28%	99,25%
Model 63	12,19%	20,16%	99,24%
Model 42	12,03%	20,12%	99,24%
Model 70	11,95%	18,91%	99,35%
Model 14	10,96%	18,81%	99,35%
Model 7	10,57%	18,73%	99,35%
Model 26	10,26%	12,65%	99,51%
Model 27	10,20%	12,44%	99,49%
Model 22	10,03%	12,70%	99,53%
Model 23	9,74%	11,63%	99,45%
Model 24	9,66%	11,58%	99,49%
Model 25	9,57%	11,53%	99,50%
Model 29	8,40%	9,89%	99,59%
Model 21	8,00%	16,36%	99,45%
Model 33	7,05%	8,90%	99,52%
Model 43	6,80%	11,56%	99,55%
Model 34	6,02%	8,08%	99,45%
Model 47	5,96%	10,95%	99,58%
Model 48	5,59%	10,55%	99,57%
Model 45	4,78%	9,46%	99,59%
Model 46	4,58%	9,43%	99,59%
Model 44	4,51%	9,31%	99,55%
Model 31	3,96%	6,17%	99,48%
Model 32	3,21%	5,87%	99,46%
Model 30	2,75%	6,20%	99,28%
Model 71	2,47%	6,25%	99,61%
Model 57	1,69%	6,47%	99,62%
Model 36	1,33%	6,50%	99,62%

	MBE	RMSE	CC
Model 15	1,19%	5,97%	99,60%
Model 64	1,03%	5,41%	99,59%
Model 8	0,50%	5,87%	99,62%
Model 19	0,13%	6,40%	99,31%
Model 75	0,07%	6,69%	99,47%
Model 20	-0,27%	6,43%	99,22%
Model 61	-0,47%	7,05%	99,50%
Model 1	-0,51%	6,07%	99,61%
Model 40	-0,91%	7,24%	99,50%
Model 76	-0,96%	6,75%	99,36%
Model 17	-1,02%	6,12%	99,22%
Model 16	-1,34%	6,65%	99,04%
Model 18	-1,39%	6,32%	99,19%
Model 62	-1,39%	7,08%	99,40%
Model 12	-1,45%	7,01%	99,36%
Model 68	-1,54%	6,86%	99,32%
Model 41	-1,83%	7,31%	99,40%
Model 13	-2,17%	7,23%	99,25%
Model 69	-2,48%	7,27%	99,20%
Model 5	-2,73%	7,69%	99,36%
Model 73	-2,85%	6,46%	99,38%
Model 59	-3,14%	6,71%	99,41%
Model 6	-3,53%	8,04%	99,25%
Model 10	-3,54%	7,17%	99,26%
Model 38	-3,57%	7,03%	99,42%
Model 74	-3,68%	7,14%	99,37%
Model 60	-3,86%	7,32%	99,40%
Model 72	-3,91%	7,61%	99,15%
Model 58	-4,04%	7,71%	99,19%
Model 11	-4,06%	7,60%	99,25%
Model 66	-4,12%	7,49%	99,22%
Model 9	-4,18%	7,98%	99,06%
Model 39	-4,29%	7,67%	99,40%
Model 37	-4,46%	8,02%	99,20%
Model 67	-4,87%	8,12%	99,21%
Model 3	-4,99%	8,19%	99,26%
Model 65	-5,06%	8,59%	99,00%
Model 4	-5,57%	8,74%	99,25%
Model 2	-5,72%	9,09%	99,05%

Ek 6 Tüm modellerin MBE, RMSE ve CC değerleri (En büyük RMSE değerinden en küçük RMSE değerine doğru sıralanmış)

	MBE	RMSE	CC
Model 51	23,64%	26,05%	99,19%
Model 53	23,82%	25,97%	99,31%
Model 52	23,28%	25,11%	99,40%
Model 55	23,70%	24,85%	99,44%
Model 54	23,47%	24,29%	99,52%
Model 56	18,18%	22,72%	99,36%
Model 35	15,25%	21,38%	99,24%
Model 28	14,35%	21,04%	99,23%
Model 49	13,07%	20,69%	99,22%
Model 77	12,92%	20,28%	99,25%
Model 63	12,19%	20,16%	99,24%
Model 42	12,03%	20,12%	99,24%
Model 50	19,37%	19,70%	99,69%
Model 70	11,95%	18,91%	99,35%
Model 14	10,96%	18,81%	99,35%
Model 7	10,57%	18,73%	99,35%
Model 21	8,00%	16,36%	99,45%
Model 22	10,03%	12,70%	99,53%
Model 26	10,26%	12,65%	99,51%
Model 27	10,20%	12,44%	99,49%
Model 23	9,74%	11,63%	99,45%
Model 24	9,66%	11,58%	99,49%
Model 43	6,80%	11,56%	99,55%
Model 25	9,57%	11,53%	99,50%
Model 47	5,96%	10,95%	99,58%
Model 48	5,59%	10,55%	99,57%
Model 29	8,40%	9,89%	99,59%
Model 45	4,78%	9,46%	99,59%
Model 46	4,58%	9,43%	99,59%
Model 44	4,51%	9,31%	99,55%
Model 2	-5,72%	9,09%	99,05%
Model 33	7,05%	8,90%	99,52%
Model 4	-5,57%	8,74%	99,25%
Model 65	-5,06%	8,59%	99,00%
Model 3	-4,99%	8,19%	99,26%
Model 67	-4,87%	8,12%	99,21%
Model 34	6,02%	8,08%	99,45%
Model 6	-3,53%	8,04%	99,25%

	MBE	RMSE	CC
Model 37	-4,46%	8,02%	99,20%
Model 9	-4,18%	7,98%	99,06%
Model 58	-4,04%	7,71%	99,19%
Model 5	-2,73%	7,69%	99,36%
Model 39	-4,29%	7,67%	99,40%
Model 72	-3,91%	7,61%	99,15%
Model 11	-4,06%	7,60%	99,25%
Model 66	-4,12%	7,49%	99,22%
Model 60	-3,86%	7,32%	99,40%
Model 41	-1,83%	7,31%	99,40%
Model 69	-2,48%	7,27%	99,20%
Model 40	-0,91%	7,24%	99,50%
Model 13	-2,17%	7,23%	99,25%
Model 10	-3,54%	7,17%	99,26%
Model 74	-3,68%	7,14%	99,37%
Model 62	-1,39%	7,08%	99,40%
Model 61	-0,47%	7,05%	99,50%
Model 38	-3,57%	7,03%	99,42%
Model 12	-1,45%	7,01%	99,36%
Model 68	-1,54%	6,86%	99,32%
Model 76	-0,96%	6,75%	99,36%
Model 59	-3,14%	6,71%	99,41%
Model 75	0,07%	6,69%	99,47%
Model 16	-1,34%	6,65%	99,04%
Model 36	1,33%	6,50%	99,62%
Model 57	1,69%	6,47%	99,62%
Model 73	-2,85%	6,46%	99,38%
Model 20	-0,27%	6,43%	99,22%
Model 19	0,13%	6,40%	99,31%
Model 18	-1,39%	6,32%	99,19%
Model 71	2,47%	6,25%	99,61%
Model 30	2,75%	6,20%	99,28%
Model 31	3,96%	6,17%	99,48%
Model 17	-1,02%	6,12%	99,22%
Model 1	-0,51%	6,07%	99,61%
Model 15	1,19%	5,97%	99,60%
Model 32	3,21%	5,87%	99,46%
Model 8	0,50%	5,87%	99,62%
Model 64	1,03%	5,41%	99,59%

Ek 7 Tüm modellerin MBE, RMSE ve CC değerleri (En büyük CC değerinden en küçük CC değerine doğru sıralanmış)

	MBE	RMSE	CC
Model 50	19,37%	19,70%	99,69%
Model 57	1,69%	6,47%	99,62%
Model 36	1,33%	6,50%	99,62%
Model 8	0,50%	5,87%	99,62%
Model 71	2,47%	6,25%	99,61%
Model 1	-0,51%	6,07%	99,61%
Model 15	1,19%	5,97%	99,60%
Model 29	8,40%	9,89%	99,59%
Model 45	4,78%	9,46%	99,59%
Model 64	1,03%	5,41%	99,59%
Model 46	4,58%	9,43%	99,59%
Model 47	5,96%	10,95%	99,58%
Model 48	5,59%	10,55%	99,57%
Model 44	4,51%	9,31%	99,55%
Model 43	6,80%	11,56%	99,55%
Model 22	10,03%	12,70%	99,53%
Model 54	23,47%	24,29%	99,52%
Model 33	7,05%	8,90%	99,52%
Model 26	10,26%	12,65%	99,51%
Model 61	-0,47%	7,05%	99,50%
Model 25	9,57%	11,53%	99,50%
Model 40	-0,91%	7,24%	99,50%
Model 24	9,66%	11,58%	99,49%
Model 27	10,20%	12,44%	99,49%
Model 31	3,96%	6,17%	99,48%
Model 75	0,07%	6,69%	99,47%
Model 32	3,21%	5,87%	99,46%
Model 34	6,02%	8,08%	99,45%
Model 23	9,74%	11,63%	99,45%
Model 21	8,00%	16,36%	99,45%
Model 55	23,70%	24,85%	99,44%
Model 38	-3,57%	7,03%	99,42%
Model 59	-3,14%	6,71%	99,41%
Model 39	-4,29%	7,67%	99,40%
Model 52	23,28%	25,11%	99,40%
Model 60	-3,86%	7,32%	99,40%
Model 62	-1,39%	7,08%	99,40%
Model 41	-1,83%	7,31%	99,40%

	MBE	RMSE	CC
Model 73	-2,85%	6,46%	99,38%
Model 74	-3,68%	7,14%	99,37%
Model 76	-0,96%	6,75%	99,36%
Model 12	-1,45%	7,01%	99,36%
Model 5	-2,73%	7,69%	99,36%
Model 56	18,18%	22,72%	99,36%
Model 14	10,96%	18,81%	99,35%
Model 7	10,57%	18,73%	99,35%
Model 70	11,95%	18,91%	99,35%
Model 68	-1,54%	6,86%	99,32%
Model 53	23,82%	25,97%	99,31%
Model 19	0,13%	6,40%	99,31%
Model 30	2,75%	6,20%	99,28%
Model 10	-3,54%	7,17%	99,26%
Model 3	-4,99%	8,19%	99,26%
Model 13	-2,17%	7,23%	99,25%
Model 77	12,92%	20,28%	99,25%
Model 6	-3,53%	8,04%	99,25%
Model 4	-5,57%	8,74%	99,25%
Model 11	-4,06%	7,60%	99,25%
Model 35	15,25%	21,38%	99,24%
Model 63	12,19%	20,16%	99,24%
Model 42	12,03%	20,12%	99,24%
Model 28	14,35%	21,04%	99,23%
Model 17	-1,02%	6,12%	99,22%
Model 20	-0,27%	6,43%	99,22%
Model 49	13,07%	20,69%	99,22%
Model 66	-4,12%	7,49%	99,22%
Model 67	-4,87%	8,12%	99,21%
Model 69	-2,48%	7,27%	99,20%
Model 37	-4,46%	8,02%	99,20%
Model 18	-1,39%	6,32%	99,19%
Model 51	23,64%	26,05%	99,19%
Model 58	-4,04%	7,71%	99,19%
Model 72	-3,91%	7,61%	99,15%
Model 9	-4,18%	7,98%	99,06%
Model 2	-5,72%	9,09%	99,05%
Model 16	-1,34%	6,65%	99,04%
Model 65	-5,06%	8,59%	99,00%

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 10.12.1985

Doğum yeri İzmir

Lise 2000–2003 İzmir Güzelbahçe 60.Yıl Anadolu Lisesi

Lisans 2003–2007 Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2009–2011 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Makinaları Programı

Çalıştığı kurumlar

2009–... Arçelik – LG Klima A.Ş.
Proje Geliştirme Mühendisi