

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE’NİN FARKLI İKLİM BÖLGELERİ İÇİN OPTİMAL  
FOTOVOLTAİK PANEL EĞİM AÇILARININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ömer GÖNÜL**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**ARALIK 2018**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE’NİN FARKLI İKLİM BÖLGELERİ İÇİN OPTİMAL  
FOTOVOLTAİK PANEL EĞİM AÇILARININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ömer GÖNÜL  
(301151042)**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Burak BARUTÇU**

**ARALIK 2018**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 301151042 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ömer GÖNÜL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TÜRKİYE'NİN FARKLI İKLİM BÖLGELERİ İÇİN OPTİMAL FOTOVOLTAİK PANEL EĞİM AÇILARININ BELİRLENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Dr. Öğr. Üyesi Burak BARUTÇU**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. H. Sema TOPÇU**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Mete TAYANÇ**      .....  
Marmara Üniversitesi

**Teslim Tarihi**      :   **14 Kasım 2018**  
**Savunma Tarihi**   :   **12 Aralık 2018**



*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Dünya'nın enerji yükünün büyük payına sahip olan konvansiyonel sistemler yerini gelişen teknolojiyle birlikte yavaş yavaş yenilenebilir enerji sistemlerine bırakmaktadır. Konvansiyonel kaynakların kısıtlı rezervinin olması, yine bu kaynakların ülkeler arası ekonomik veya politik nedenlerle tehdit unsuru olarak kullanılabilme olasılığı yenilenebilir enerjiye olan geçiş düşüncesini daha da hızlandırmaktadır. Ülkemizde enerjide dışa bağımlı bir ülke olup, ihtiyacı olan enerjiyi karşılamak için ekonomiden önemli miktarlarda döviz çıktısı olmaktadır. Bu bağımlılığı daha da azaltmak için ise, yenilenebilir teknolojilere yatırım yapma gerçeği önümüzde durmaktadır. Nitekim son yıllarda verilen devlet teşvikleri ve özel sektör ilgisi, rüzgar ve güneş enerjisine çok ciddi yatırımların gelmesine vesile olmuştur. Bununla birlikte yenilenebilir kaynakların enerji pastasındaki payı artmaya başlamıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında ise, Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri değerlendirilerek fotovoltaik güneş panellerinin çeşitli durumlar altında (aylık, mevsimsel, yarı yıllık ve yıllık) güneş radyasyonunu optimal olarak hangi panel eğim açısı değerlerinde alabilecekleri belirlenmiştir. Yapmış olduğum çalışmanın, yapılacak olan fotovoltaik sistem çalışmalarına katkı sunmasını umuyor, ülkem için bağımsız bir enerji geleceği diliyorum.

Çalışmalarımı yaptığım süreçte ise her türlü kolaylığı sağlayıp, bilgisini aktaran ve çalışmamın şu anki haline gelmesine katkı sunan tez danışmanım Sn. Dr. Öğr. Üyesi Burak BARUTÇU hocama, tezde kullandığım verileri bulmamda bana yardımcı olan Doç. Dr. Osman Kaan EROL'a ve veri sağlama konusunda her türlü kolaylığı sağlayan TC. Tarım ve Orman Bakanlığı TARBİL (Tarımsal İzleme ve Bilgi Sistemi) projesi çalışanlarına teşekkürlerimi iletiyorum. Son olarak ise, bana desteklerini esirgemeyen aileme ve eşime teşekkürler ediyorum.

Aralık 2018

Ömer Gönül  
(Kontrol ve Otomasyon Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY... ..	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Motivasyonu ve Amacı .....	3
1.2 Literatür Araştırması .....	4
<b>2. EĞİMLİ YÜZEYLERDE GÜNEŞ RADYASYON HESAPLAMALARI.....</b>	<b>9</b>
2.1 Güneş Işınımı .....	9
2.2 Eğimli Yüzeylelerdeki Güneş Radyasyon Miktarı .....	10
<b>3. TÜRKİYE İKLİM BÖLGELERİ VE VERİ İSTASYONLARI .....</b>	<b>15</b>
3.1 Türkiye İklim Bölgeleri.....	15
3.2 Ölçüm İstasyonları .....	16
3.3 Aylık Ortalama Günlük Güneş Radyasyon Değerleri.....	18
<b>4. OPTİMAL PANEL EĞİM AÇILARININ BELİRLENMESİ .....</b>	<b>25</b>
4.1 İklim Bölgelerine Göre Optimal Panel Eğim Açı Değerlerinin Belirlenmesi .	25
4.1.1 ‘A’ iklim bölgesi için optimal açı değerleri .....	25
4.1.2 ‘B’ iklim bölgesi için optimal açı değerleri .....	29
4.1.3 ‘C’ iklim bölgesi için optimal açı değerleri .....	33
4.1.4 ‘D’ iklim bölgesi için optimal açı değerleri .....	37
4.1.5 ‘E’ iklim bölgesi için optimal açı değerleri .....	41
4.1.6 ‘F’ iklim bölgesi için optimal açı değerleri.....	44
4.1.7 ‘G’ iklim bölgesi için optimal açı değerleri .....	48
4.2 Türkiye İçin Optimal Panel Eğim Açı Değerlerinin Belirlenmesi .....	52
4.3 İstatistikî Yöntemler .....	53
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>59</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>63</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>81</b>



## **KISALTMALAR**

<b>MGM</b>	: Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü
<b>TARBİL</b>	: Tarımsal İzleme ve Bilgi Sistemi
<b>YEKA</b>	: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları



## SEMBOLLER

<b>H</b>	: Yatay düzlemdeki aylık ortalama günlük güneş radyasyon değeri
<b>H<sub>a</sub></b>	: Aylık ortalama günlük difüzif güneş radyasyon değeri
<b>H<sub>T</sub></b>	: Eğimli yüzeydeki ortalama günlük güneş radyasyon değeri
<b>H<sub>0</sub></b>	: Atmosfer dışında yatay yüzeye gelen radyasyon
<b>I<sub>sc</sub></b>	: Güneş sabiti
<b>K<sub>T</sub></b>	: Açıklık indeksi
<b>R</b>	: Eğimli yüzeydeki günlük güneş radyasyonu değerinin yatay düzlemdeki güneş radyasyonu değerine oranı
<b>R<sub>b</sub></b>	: Eğimli yüzeydeki ortalama direkt güneş radyasyon değerinin yatay düzlemdeki ortalama direkt güneş radyasyon değerine oranı
<b>s</b>	: Panelin eğim paneli
<b>ρ</b>	: Yansıtma katsayısı
<b>n</b>	: İlgili tarihin yılın kaçınıcı günü olduğu
<b>φ</b>	: Bölgenin enlemi
<b>δ</b>	: Güneş deklinasyon açısı
<b>ω<sub>s</sub></b>	: Güneş saat açısı



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Her ayın belirli günleri için deklinasyon açıları.....	12
Çizelge 3.1 : [9]'da kullanılan istasyonların iklim sınıflarına göre sınıflandırılması.	16
Çizelge 4.1 : 'A' iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri. ....	25
Çizelge 4.2 : 'A' iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açı regresyon model katsayıları.....	27
Çizelge 4.3 : 'A' iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açı değerleri.....	27
Çizelge 4.4 : 'A' iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açı değerleri. ....	28
Çizelge 4.5 : 'A' iklim bölgesi için optimal panel eğim açı değerlendirmesi. ....	28
Çizelge 4.6 : 'A' iklim bölgesi için m <sup>2</sup> 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon miktarı [kWh/m <sup>2</sup> -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri. ..	28
Çizelge 4.7 : 'B' iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri. ....	29
Çizelge 4.8 : 'B' iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açı regresyon model katsayıları.....	31
Çizelge 4.9 : 'B' iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açı değerleri.....	31
Çizelge 4.10 : 'B' iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açı değerleri. ...	32
Çizelge 4.11 : 'B' iklim bölgesi için optimal panel eğim açı değerlendirmesi. ....	32
Çizelge 4.12 : 'B' iklim bölgesi için m <sup>2</sup> 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon miktarı [kWh/m <sup>2</sup> -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri. ..	32
Çizelge 4.13 : 'C' iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri. ....	33
Çizelge 4.14 : 'C' iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açı regresyon model katsayıları. ....	35
Çizelge 4.15 : 'C' iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açı değerleri... ..	35
Çizelge 4.16 : 'C' iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açı değerleri. ...	35
Çizelge 4.17 : 'C' iklim bölgesi için optimal panel eğim açı değerlendirmesi. ....	36
Çizelge 4.18 : 'C' iklim bölgesi için m <sup>2</sup> 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon miktarı [kWh/m <sup>2</sup> -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri. ..	36
Çizelge 4.19 : 'D' iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri. ....	37
Çizelge 4.20 : 'D' iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açı regresyon model katsayıları. ....	40
Çizelge 4.21 : 'D' iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açı değerleri... ..	40
Çizelge 4.22 : 'D' iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açı değerleri. ...	40
Çizelge 4.23 : 'D' iklim bölgesi için optimal panel eğim açı değerlendirmesi. ....	41
Çizelge 4.24 : 'D' iklim bölgesi için m <sup>2</sup> 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon miktarı [kWh/m <sup>2</sup> -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri. ..	41
Çizelge 4.25 : 'E' iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri. ....	42

Çizelge 4.26 : ‘E’ iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açısı regresyon model katsayıları.....	43
Çizelge 4.27 : ‘E’ iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açısı değerleri...	43
Çizelge 4.28 : ‘E’ iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açısı değerleri.....	44
Çizelge 4.29 : ‘E’ iklim bölgesi için optimal panel eğim açısı değerlendirilmesi.....	44
Çizelge 4.30 : ‘E’ iklim bölgesi için $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon miktarı [ $kWh/m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri...	45
Çizelge 4.31 : ‘F’ iklim bölgesi için TARBIİL istasyon verilerine göre aylık optimal açısı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.....	45
Çizelge 4.32 : ‘F’ iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açısı regresyon model katsayıları.....	47
Çizelge 4.33 : ‘F’ iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açısı değerleri...	47
Çizelge 4.34 : ‘F’ iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açısı değerleri.....	47
Çizelge 4.35 : ‘F’ iklim bölgesi için optimal panel eğim açısı değerlendirilmesi.....	48
Çizelge 4.36 : ‘F’ iklim bölgesi için $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon miktarı [ $kWh/m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri...	48
Çizelge 4.37 : ‘G’ iklim bölgesi için TARBIİL istasyon verilerine göre aylık optimal açısı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.....	48
Çizelge 4.38 : ‘G’ iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açısı regresyon model katsayıları.....	50
Çizelge 4.39 : ‘G’ iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açısı değerleri...	51
Çizelge 4.40 : ‘G’ iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açısı değerleri...	51
Çizelge 4.41 : ‘G’ iklim bölgesi için optimal panel eğim açısı değerlendirilmesi.....	51
Çizelge 4.42 : ‘G’ iklim bölgesi için $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon miktarı [ $kWh/m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri...	52
Çizelge 4.43 : Türkiye için optimal panel eğim açısı değerlendirilmesi.....	52
Çizelge 4.44 : Türkiye geneli için $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon miktarı [ $kWh/m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri...	53
Çizelge 5.1 : Ankara iline ait aylık optimal eğim açısının [5]'te elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması.....	56
Çizelge 5.2 : Türkiye geneli ve farklı iklim bölgeleri için $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon miktarı [ $kWh/m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri.....	57
Çizelge A.1 : [9]'da kullanılan meteoroloji istasyonlarına ait enlem, boylam ve rakım bilgileri.....	64
Çizelge A.2 : TARBIİL istasyonlarına ait enlem boylam ve rakım bilgileri.....	65
Çizelge B.1 : TARBIİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.....	66
Çizelge C.1 : Regresyon modellerine ilişkin hata sonuçları.....	76

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : 2000-2017 yılları arası Dünya geneli elektrik üretim değerleri .....	1
Şekil 1.2 : 2000-2017 yılları arasında Türkiye’de gerçekleşen elektrik üretimi. ....	2
Şekil 1.3 : 2000-2017 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının payı.....	2
Şekil 1.4 : Türkiye’de rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik üretiminin genel payı... 4	
Şekil 2.1 : Atmosfere gelen güneş radyasyonu.....	9
Şekil 2.2 : Difüzyon ışınım .....	9
Şekil 2.3 : Güneş ışınım çeşitleri .....	10
Şekil 2.4 : Deklinasyon açısı ( $\delta$ ), enlem ( $\varphi$ ) ve saat açısı ( $\omega$ ) .....	12
Şekil 2.5 : Deklinasyon açılarının yılın ilgili gününe göre değişimi .....	12
Şekil 3.1 : İklim sınıflarının renklendirilmiş haritası.....	17
Şekil 3.2 : Kullanılan TARBİL ölçüm istasyonlarının dağılımları .....	19
Şekil 3.3 : ‘A’ iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri .....	18
Şekil 3.4 : ‘B’ iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri. ....	20
Şekil 3.5 : ‘C’ iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri .....	20
Şekil 3.6 : ‘D’ iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri .....	21
Şekil 3.7 : ‘E’ iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri	21
Şekil 3.8 : ‘F’ iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri. ....	22
Şekil 3.9 : ‘G’ iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri .....	22
Şekil 4.1 : ‘A’ iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri .....	26
Şekil 4.2 : ‘B’ iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri .....	31
Şekil 4.3 : ‘C’ iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri .....	35
Şekil 4.4 : ‘D’ iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri .....	39
Şekil 4.5 : ‘E’ iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri.....	43
Şekil 4.6 : ‘F’ iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri.....	46
Şekil 4.7 : ‘G’ iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri .....	50
Şekil 5.1 : İzmir iline ait aylık optimal eğim açısının literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması .....	56



## TÜRKİYE’NİN FARKLI İKLİM BÖLGELERİ İÇİN OPTİMAL FOTOVOLTAİK PANEL EĞİM AÇILARININ BELİRLENMESİ

### ÖZET

Teknoloji olarak hızla gelişen ve büyük dönüşümler yaşanan dünyada tüketim alışkanlıkları da büyük bir değişikliğe uğramaktadır. Hayatın kolaylaşması açısından piyasaya sürülen ürünler insanları daha çok rahatlığa sevk etmektedir. Bu rahatlığa alışma sürecinde, aracı olarak kullanan cihazların ise büyük bir çoğunluğu ise elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır.

Elektrik enerjisi ihtiyacının büyük bir bölümü ise konvansiyonel enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Fakat bu enerji kaynaklarının rezervlerinin kısıtlı olması, bu kaynakların belirli bölgelerde yoğun olarak bulunması ve ülkelerin bunların temini için harcadıkları para, çevreye olan etkileri gibi nedenler, ülkeleri konvansiyonel kaynaklardan başka enerji kaynaklarına doğru bir yönelime zorlar duruma getirmiştir. Çevreye daha duyarlı, ucuz enerji kaynağı arayış noktasında ise yenilenebilir enerji kaynakları bir seçenek olarak durmaktadır.

Güneş, rüzgar, biyokütle, jeotermal, dalga, hidro enerjisi gibi birçok yenilenebilir enerji kaynaklarında önemli araştırma geliştirme faaliyetleri sürdürülmektedir. Türkiye içinde benzer bir tablo özellikle son 5 yıldır görülebilmektedir. Ülkemiz enerji ihtiyacını yurt dışından alarak karşılamaktadır ve bu durum ülke ekonomisinde oldukça büyük bir yer kaplamaktadır. Enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için, yenilenebilir enerji alanında potansiyeli olan bölgelerde özellikle rüzgar ve güneş enerjisi yatırımları hız kazanmıştır. Bu duruma devletin vermiş olduğu teşviklerde önemli katkı sağlamıştır.

Güneş enerjisi yatırımları da devletin vermiş olduğu teşviklerle canlanan alanlardan birisi olmuştur. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli olarak iyi diyebileceğimiz bir potansiyele sahiptir. Son yıllarda özellikle İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri’nde birçok güneş enerjisi santrali devreye alınmış, yapımı sürmekte veya projelendirilmiştir. Devletin YEKA projeleride devam etmektedir.

Mevcut güneş enerjisi santralleri büyük çoğunlukla sabit açılı sistemlerden meydana gelmektedir. Projenin öncesinde yapılan saha ölçümleriyle yıllık olarak optimal panel eğim açısı belirlenerek kurulum yapılmaktadır. Bu durum yıl içerisinde bulunulan zamana göre güneşi tam dik doğrultuda alamamak anlamı gelir. Bunun için güneşi takip eden sistemler geliştirilmiştir. Tek eksenli ve iki eksenli olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır. Bu sistemler elektro-mekanik olarak her zaman güneşi izlemektedir ve güneş radyasyonunu optimum düzeyde panel üzerine almaktadır. Bu sistemler, %10-30 arasında değişen oranlarda verim artışı sunmaktadır fakat ilk kurulum maliyetleri açısından düşünüldüğünde, sistemin geri dönüş sürecini uzatmaktadır ve yatırımcı bakım-onarım vb. diğer masrafları da düşünerek bu sistemleri tercih etmemektedir.

Bu tez çalışmasında ise, optimal panel eğim açılarının iklimsel özelliklerine bağlı olmasından yola çıkarak, Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için aylık, mevsimlik, yarı yıllık ve yıllık olarak optimal panel eğim açıları belirlenmiştir. Bu analizler TARBİL projesi kapsamında alınan ve iklim bölgelerine mümkün olduğunca düzenli dağıtılan 43 adet ölçüm istasyonundan alınan verilerle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aylık optimal eğim açısı için regresyon modelleri önerilmiş ve çeşitli performans indeksleriyle test edilmiştir. Öte yandan yıllık olarak  $m^2$ 'ye düşen güneş radyasyonu hesabı önerilen senaryolarla yapıp, sabit açılı duruma göre değişimi değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda aylık optimal panel eğim açısı değişiminin  $m^2$ 'ye düşen güneş radyasyonu üzerinden, sabit açılı yıllık senaryoya göre %5 daha fazla güneş radyasyonu alabildiği belirlenmiştir. Diğer senaryolar olan mevsimlik ve yarı yıllık değişimlerde ise bu oran sırasıyla %4 ve %3 civarındadır. Bu durumun elektrik üretimindeki getirisi ise boyutları MW, GW düzeyinde olan santraller için oldukça fazla olması düşünülmektedir.

# **OPTIMAL PHOTOVOLTAIC PANEL TILT ANGLE DETERMINATION FOR DIFFERENT CLIMATE ZONES OF TURKEY**

## **SUMMARY**

Technology is rapidly evolving in the world and major transformations are also undergoing in terms of consumption habits. The products that are placed on the market in order to make life easier are directing people to more comfort. In the progress of getting used to this comfort, the most of the devices used in daily life need electrical energy.

Most of the electrical energy needs are met by conventional energy sources. However, the reasons such as; the limited reserves of energy resources, the vast majority of these resources in certain regions and their effects on the environment have forced the countries to shift from conventional sources to different energy sources. At this point, renewable energy sources are important options for more sensitive to the environment.

Important research and development processes are carried out in many renewable energy sources such as solar, wind, biomass, geothermal, wave and hydro energy. A similar situation can be seen especially in the last 5 years in Turkey. Turkey meets its energy needs from abroad and this situation occupies a big place in the national economy. In order to reduce dependency in energy, especially in regions which have a potential in renewable energy, wind and solar energy investments have accelerated. Government grants have contributed to this situation.

Solar energy investments have been one of the areas that have been revitalized by the government's incentives. Turkey has a good solar energy potential and in recent years, many solar power plants have been commissioned or the constructions are ongoing in the Central Anatolia and Southeastern Anatolia Regions. In addition to that, the government continues its actions for YEKA projects.

Existing solar power plants are mostly composed of fixed-angle systems. With the field measurements, an optimal panel inclination angle is determined annually. This means that you cannot generally take the sun in the perpendicular direction in a year. For this purpose, systems that follow the sun have been developed such as single-axis and double-axis trackers. These systems are always follow the sun with electro-mechanic parts and the solar radiation is absorbed optimally. They offer efficiency improvements ranging from 10 to 30%, but when considered in terms of initial installation costs, this extends the time of return and due to this fact, the investors are not preferred these systems.

In this study, the optimal tilt angles for different climate zones of Turkey are determined. The analyzes were carried out with data from 43 stations which were taken TARBIL (Agricultural Monitoring and Information System) project.

In the first section, the current status of conventional energy sources and the rate of penetration of renewable energy sources into the energy system over the years have

been examined. In addition, the hypothesis and aim of this study is introduced and the literature review is summarized.

In the second section, some basic concepts such as direct radiation, reflected radiation, diffusive radiation are explained. Then, the model used in this study with the basic concepts on solar radiation calculations on inclined surfaces is determined.

Later in the third section, a climate map for different climatic zones of Turkey are colored. This map is based on a study made for Turkey's climatic zones. There are seven climatic and geographical zones in Turkey, however these climatic zones are different from the Turkey's geographical zones. For instance, the climate in the coastal regions of the Black Sea and the Mediterranean and in the inner parts of these regions vary with the effect of the mountains. After determining the climate zones, the selection of TARBİL measuring stations was determined by certain criteria and 43 stations were selected for this study. Monthly average daily solar radiation values of all stations are given in the graphs.

In the fourth section, solar radiation calculations on the inclined surfaces which are described in the second section are made and then, according to these results with the 1° intervals between 0-90°, optimal tilt angles were investigated with different scenarios such as monthly, seasonally, semi-yearly and yearly. These processes have been applied for all climate zones and also for Turkey. According to obtained results, for 'A' climate zone which represents the northern Marmara, certain deviations were determined in optimal tilt angles in autumn and winter seasons. This situation caused from the cloudiness of the region. For 'B' climate zone which stands for the Aegean, southern Marmara and western Mediterranean, cloudiness rate in the whole year is less and for that reason, there is a general agreement between results. For 'C' climate zone that represents the coastal of Black Sea, cloudiness rate is very high compared to other regions and also this zone has the lowest solar radiation capacity in Turkey. The optimal tilt angles for this zone has distinct deviations in autumn and winter. The 'D' climate zone which is the biggest climate zone of Turkey cover the whole Central Anatolia, inner parts of Black Sea and Mediterranean Regions has a good solar potential. There is also good correlation between the results. The 'E' climate zone is the smallest region and covers the north part of Eastern Anatolia Region. This region has also good potential however in autumn and winter, there are some deviations in the optimal tilt angles due to the cloudy days. The 'F' and 'G' regions which include respectively Southeastern Anatolia and the coastals of Mediterranean are the highest solar radiation capacity in Turkey. Especially, the 'F' climate zone has a high clearness index. As a general, all of the investigated climate zones has some correlations in terms of monthly, seasonally, semi-yearly and yearly optimal tilt angles. This situation can be understood easily when a general assessment made for Turkey. When the different scenarios are compared with each other, it is determined that, the monthly tilt angle adjusting has %5 more solar radiation than the yearly fixed tilt angle. On the other hand, other two scenarios which are seasonally and semi-yearly have %4 and %3.5 more solar radiation per square meter.

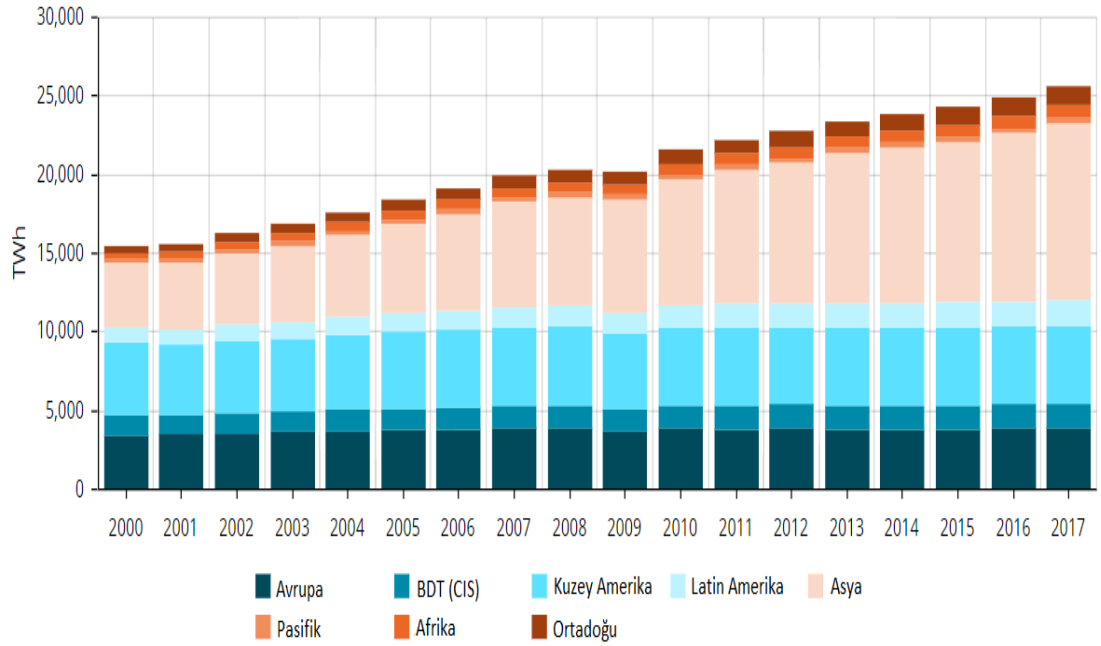
Besides, four different regression equations such as linear, second, third and fourth order polynomial are derived for all climate zones. These equations are depend on solar declination and at any day of the year, they give the optimal tilt angle value. All of regression models are statistically tested with Mean Bias Error (MBE), Mean Absolute Error (MAE), normalize MBE, normalize MAE, Root Mean Square Error (RMSE) and R<sup>2</sup> test. In error test results, are given in Appendix C.

In the last section, the general procedure of this study was summarized and the results obtained in fourth section were discussed. According to these results, monthly optimal tilt angles for Turkey are {58,51,37,21,6,0,2,15,32,46,58,60} between January and December. Seasonally analyzed optimal tilt angles are {55,20,5,43} for winter, spring, summer and autumn. Semi-yearly optimized tilt angles are 49 and 12 for winter-autumn and summer-spring months respectively. Finally, the yearly fixed angle for Turkey is determined as  $27^\circ \pm 1^\circ$  or  $\pm 2^\circ$  deviations on the optimal tilt angles do not change the solar radiation on inclined surface distinctly. Therefore, these values can be used for solar applications.



## 1. GİRİŞ

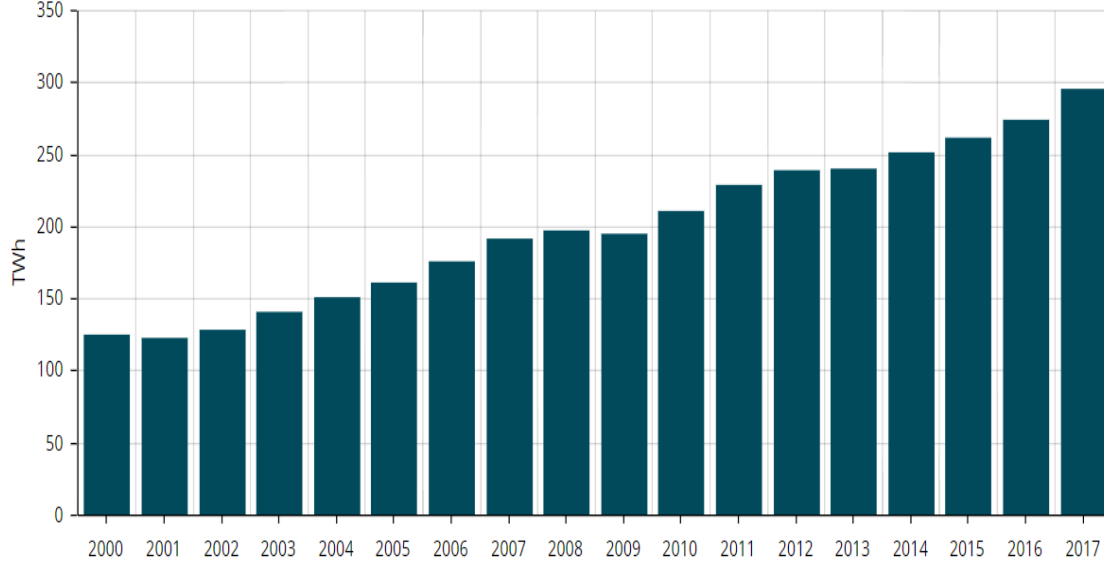
Gelişen teknoloji ve bu gelişme sürecinde ortaya çıkan makine kullanımının artması, süreç içerisinde ve sonrasında ortaya konan ürünlerle birlikte günümüzde kullandığımız neredeyse tüm cihazlar elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Günlük yaşamda kullandığımız cep telefonları, televizyonlar, bilgisayarlar, elektrikli ev aletleri ve hatta yeni nesil otomobilleri bile örnek olarak söyleyebiliriz. Dünya genelinde artan elektrik enerji talebine karşılık, üretim de artan bir yönelim (Şekil 1.1) içerisinde yer almaktadır. 2000’li yılların başında Dünya genelinde elektrik enerjisi üretimi 15000 TWh civarında iken günümüzde bu rakam yaklaşık %65’lik artışla 25000 TWh düzeyini aşmıştır.



Şekil 1.1 : 2000-2017 yılları arası Dünya geneli elektrik üretim değerleri [1].

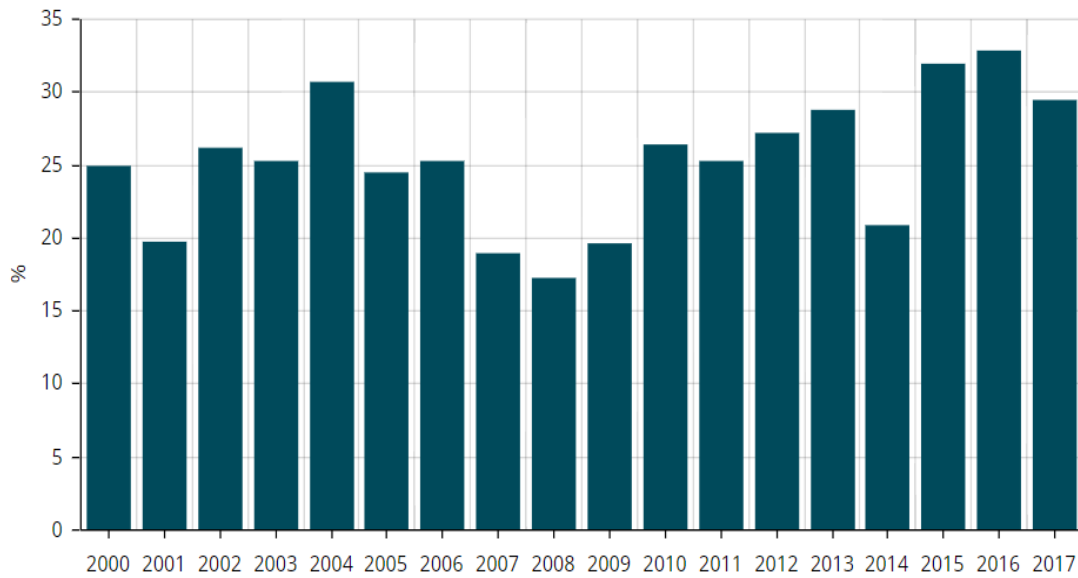
Dünya genelindeki bu artış ivmesi, gelişmekte olan ülkeler arasında olan ülkemiz için de geçerli olup ilgili yıllar arasında yaklaşık %140’lık bir artışla 2017 yılında 294 TWh elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir. Türkiye Elektrik İletim A.Ş.’nin raporuna [2] göre 2023 yılında elektrik talebi yaklaşık olarak 350 TWh olarak öngörülmektedir. Türkiye’de üretilen elektrik enerjisinin büyük bir kısmı

yenilenebilir olmayan kaynaklardan karşılanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye'nin toplam elektrik enerjisi üretimindeki payı (Şekil 1.3) son yıllarda %30 civarlarındadır [3].

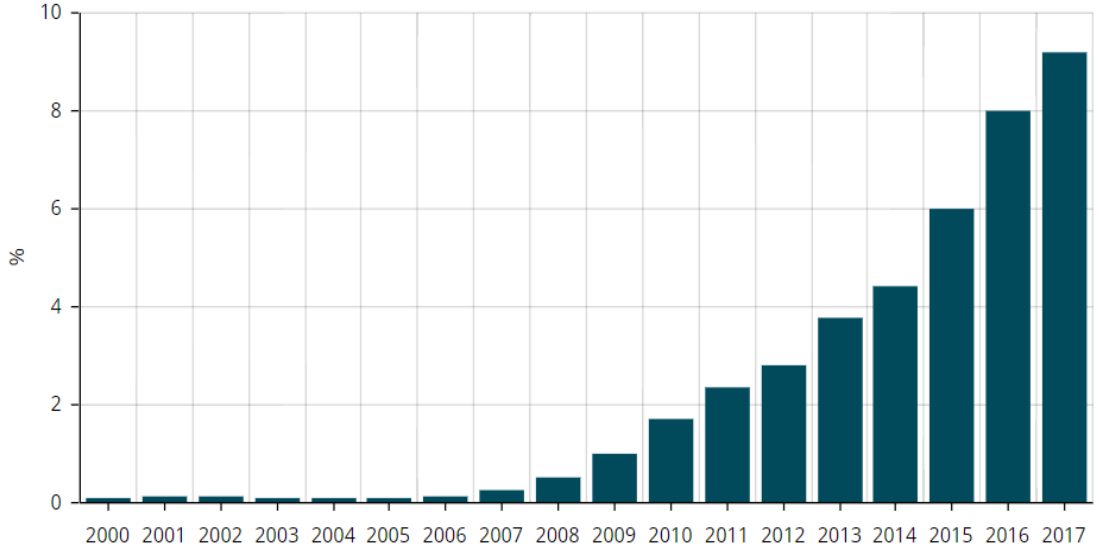


**Şekil 1.2 :** 2000-2017 yılları arasında Türkiye’de gerçekleşen elektrik üretimi.

Son yıllarda verilen devlet teşvikleri ve özel sektör yatırımlarıyla canlanan rüzgar ve güneş enerjisi sektörlerindeki elektrik üretim değerleri de giderek artmaktadır. Şekil 1.4’te rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik üretim değerlerinin toplam üretimdeki oranları gösterilmiştir [4]. 2017 itibariyle rüzgar ve güneşin sahip olduğu pay %9.18 olmuştur.



**Şekil 1.3 :** 2000-2017 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının payı.



**Şekil 1.4 :** Türkiye’de rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik üretimin genel payı.

Şekil 1.4’te 2017 yılı için olan %9.18’lik payın ise yaklaşık %1’lik kısmı güneş enerjisinden üretilmiştir. Bu oranın, şu an devam etmekte olan YEKA projeleri ve özel sektörün son yıllarda yapımına başladığı güneş tarlalarıyla birlikte önümüzde yıllarda bu oranın daha da üzerine çıkması beklenmektedir.

### 1.1 Tezin Motivasyonu ve Amacı

Fotovoltaik sistemlerin ana unsurlarından olan panel fiyatlarının zaman içerisinde düşmeye başlaması, yatırım ihtimallerini arttıran faktörlerden biri olarak gösterilebilir çünkü bu durum, sistem maliyetlerinin geri dönüş süresini daha da kısaltmaktadır. Panel fiyatlarının düşmesi de fotovoltaik sistem kurulum sayısının zaman içerisinde artmasına neden olan faktörlerden birisi olarak düşünülebilir. Oluşacak muhtemel bir döngüde ise, kurulum için gerekli olan arazilerin azalması ve bu durumun ise arazi fiyatlarının proje giderleri içerisinde daha önemli bir paya sahip olacağı düşünülebilir. Bunun yanında tarımsal arazilerin de göz önünde bulundurulması gerekliliği unutulmamalıdır. Sistem geri dönüş zamanını uzatacak böyle bir durumun telafisi noktasında ise akla gelebilecek ilk ihtimaller, yüksek verimli paneller yada varolan alanda daha fazla güneş radyasyonunu fotovoltaik panel üzerinde tutabilmektir. Fotovoltaik panellerin verimliliklerinin artması konusunda araştırma geliştirme faaliyetleri sürmekte olup nispeten daha uzun vadeli bir süreç önümüzde durmaktadır. Daha fazla güneş radyasyonunu panel üzerine düşürebilme durumu ise güneş takip eden sistemleri yada eğimi değiştirilebilir sabit yapılı sistemler ile mümkün olabilmektedir. Bu noktada da, ilgili bölgede güneş

radyasyon değerleri ölçümlerle analiz edilir ve optimal açı değerlerinde panellerin üzerine daha fazla güneş radyasyonu düşmesi sağlanabilir. Güneşi takip eden sistemlerde anlık sensör ölçümleri veya analitik hesaplarla fotovoltaik panelin elektro-mekanik bir sistemle güneşi takip etmesi sağlanabilir. Eğimi değiştirilebilir sabit yapılı sistemlerde ise manuel olarak optimum zaman aralıklarında panelin eğim açısı ayarlanabilmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı ise, [5-8]'de belirtildiği gibi optimal panel eğim açısının bölgesel iklim özelliklerine, coğrafi enlem gibi etkenlere bağlı olmasından yola çıkarak, Türkiye'nin farklı iklim özelliklerine sahip bölgelerindeki [9] TARBİL (Tarımsal İzleme ve Bilgi Sistemi) ölçüm istasyonlarından alınan verilerle aylık, mevsimlik, yarı yıllık ve yıllık senaryolarla optimal panel eğim açılarının belirlenmesidir.

2. Bölüm'de güneş ışıını ile ilgili temel bilgiler, çalışmada kullanılacak olan eğimli yüzeylere düşen güneş radyasyon miktarı hesaplamaları ve bunlarla ilgili olan kavramlar açıklanmıştır. 3. Bölüm'de Türkiye'nin farklı iklim özellikleri taşıyan bölgeleri hakkında bilgi verilip, kullanılan ölçüm istasyonları ve bunların seçiminde göz önüne alınan kriterler anlatılmıştır. Daha sonrasında ise, ilgili istasyon bölgelerine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri verilmiştir. 4. Bölüm'de ise, ilgili bölgelere ait eğimli yüzeylerdeki güneş radyasyon hesapları, optimum panel eğim açı değerleri çeşitli senaryolarla değerlendirilmiştir. Ayrıca yılın herhangi bir zamanındaki optimal eğim açısının belirlenmesi için çeşitli regresyon modelleri çıkarılmış ve başarımları test edilmiştir. 5. Bölüm'de ise çalışmanın sonuçları ve yorumlar verilmiştir.

## **1.2 Literatür Araştırması**

Teknolojinin gelişimi ile birlikte artmaya başlayan elektrik enerjisi talebi birçok nedenden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına bir yönelim olmasına sebep olmuştur. Güneş enerjisi de önemli potansiyele sahip kaynaklardan biri konumundadır ve son yıllarda ciddi bir yatırım alanı haline gelmiştir.

Güneş enerjisi projeleri için, ilgili bölgenin potansiyelinin belirlenmesi proje için en önemli aşamadır. Bu potansiyel bölgede yapılacak güneş radyasyon ölçümleriyle belirlenebilmektedir. Yapılan bu ölçümlerden sonra ise yıl içerisinde optimum güneş

radasyonunu alabilecek şekilde panelin eğimi belirlenmektedir. Bu hususta dünya genelinde birçok lokasyon için çeşitli çalışmalar [10-38] gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda optimal panel eğim açısı ile özellikle ilgili lokasyonun enlemi arasında çeşitli çıkarımlar yapılmıştır. Bunun yanında yılın belirli günleri için güneş deklinasyonu ile optimal panel eğim açısı arasında çeşitli korelasyonlar çıkarılmıştır. Benghanem [10] yaptığı çalışmada Suudi Arabistan'ın Medine şehri için optimal panel eğim açısının, şehrin enlemine neredeyse eşit olduğu sonucuna ulaşmıştır. İlgili şehir için aylık olarak optimum açıların ayarlanmasının sabit açılı sisteme göre %8 oranında daha fazla enerji elde edilmesini sağladığı sonucuna varmıştır. Iqbal [11] Kanada'da birbirinden farklı iklim özellikleri olan dört bölgede konut ısınması için optimum kolektör eğim açısını araştırmıştır. Elminir ve diğerleri [12] Mısır'ın Helwan bölgesindeki Ulusal Astronomi ve Jeofizik Araştırma Enstitüsü'nde gerçekleştirdikleri çalışmada eğimli yüzeydeki güneş radyasyonunun hesabı için üç adet model (Tamps-Coulson, Perez ve Bugler) kullanmış ve optimal eğim açısını daha hassas veren modelin Perez'in modeli olduğunu istatistiki karşılaştırmalarla belirlemişlerdir. El-Kassaby ve Hassab [13] Avustralya tipi iki güneş kolektörü için yaptıkları çalışmada, bir kolektör eğim ayarlama mekanizmasına sahip iken diğeri sabit açılı bir sistemdir ve sonuç olarak ayarlanabilir eğime sahip sistemin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Mehleri ve diğerleri [14] fotovoltaik dizilerin optimal eğim açısı ve dönüşüne yönelik yeni bir yöntem önermişlerdir. Yapay sinir ağları yapısı ve lineer regresyon metodu ile karşılaştırmalar yapmışlardır. Doğan [15] su ısıtma amaçlı çatı sistemleri için Kıbrıs'ta yaptığı çalışmada, optimum güneş radyasyonuna en uygun senaryonun yılda 4 kez eğim açısı ayarlamak olduğunu belirtmiştir. Gopinathan [16] Afrika Lesotho'da iki lokasyon için (Oxbow ve Ts'asholo) enlemin  $\pm 15^\circ$  ve çeşitli azimut açılarıyla aylık ortalama güneş radyasyon değerlerini hesaplamış ve yaz, kış, yıllık olarak çıkarımlarda bulunmuştur. Yakup ve Malik [17] bir başka lokasyon olan Brunei Darüsselam için yaptığı çalışmada aylık eğim açısı değişimli sistemde, sabit açılı sisteme göre %5 daha fazla güneş radyasyonu düştüğünü belirlemiştir. Soulayman [18] ise  $0-60^\circ$  enlemleri arasındaki yılın belirli tarihleri için hesaplamalar yapmış ve ayrıca bunları aylık ve mevsimlik olarak analiz etmiştir. Morcos [19] Mısır'da Assiut için yaptığı çalışmada yılda sekiz kez eğim açısı değiştirmenin optimuma yakın bir değere geldiğini ve bunun sabit açılı sistemden ( $27^\circ$ ) yaklaşık olarak %6.85 daha fazla güneş radyasyonunun panele düşmesine sebep olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda yıllık olarak 6 kez

eğim açısı ve günlük olarakda 12 kez azimut değişiminin ise %29.18 daha fazla güneş radyasyonunun panele düşmesini sağladığını göstermiştir. Moghadam [20] belirli bir zaman aralığı için optimum eğim açısı belirleme ve İran'da Zahedan ve Bandar Abbass şehirlerinde aylık, mevsimlik, yarı yıllık ve yıllık çalışmalar yapmıştır. Bakırcı [21] Erzurum ili için optimum panel eğim açısını hesaplamış ve bunun ile ilgili çeşitli regresyon modelleri önermiştir. Daha sonrasında istatistiki yöntemlerle bunları karşılaştırıp uygun olanları belirlemiştir. Tang ve Wu [22] Çin'in çok büyük bir alana yayılmasından dolayı 152 noktaya ait yatay güneş radyasyon verisiyle 30 şehrin optimal panel eğim açısı değerleri ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ülgen [23] İzmir ili aylık, mevsimlik ve yıllık olarak optimum eğim açılarını belirlemiştir ve enlem ile açısı değerleri arasında bağıntılar kurmuştur. Bari [24] Malezya için solar kolektörlerin eğim açısı ve dönüşü üzerine direkt ve difüzyif ışınlarla birlikte bir yöntem tanımlamıştır. Kaçira ve diğerleri [25] Şanlıurfa için aylık, mevsimlik analizler ve bunun yanında iki eksenli güneş takip sistemleriyle de karşılaştırmalar yapmışlardır. Le Roux [26] Güney Afrika'da 9 farklı istasyondan aldığı verileri SolTrace uygulamasıyla doğrularak optimum eğim açısı için, enlem ve boylam değerleri ile çeşitli modeller önermiştir. Günerhan ve Hepbaşlı [27] İzmir ili için güneş kolektör sistemlerinde aylık açısı değişiminin daha verimli olduğunu önermişlerdir. Jafarkazemi ve Saadabadi [28] Abu Dabi için eğim açısı çalışmaları sonucunda aylık açısı değişimi sonucunda elde edilecek enerji miktarı baz alınarak, bu değere yakınlık konusunda yılda en az iki kez değişim yapılmasını önermişlerdir. Kaldellis ve Zafirakis [29] Yunanistan'ın Atina şehri için yaz döneminde farklı eğim açıları için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.  $15^{\circ}$  ( $\pm 2.5^{\circ}$ ) yaz dönemi için en uygun eğim açısı olarak belirlenmiştir. Khahro ve diğerleri [30] Pakistan'ın Sindh bölgesi için optimum panel eğim açısını belirlemiş ve ayrıca difüzyif solar radyasyon kestirimi yapmışlardır. Hartner ve diğerleri [31] Almanya ve Avusturya genelinde 23 noktayı inceleyerek optimal eğim açısı değerlerini değiştirerek elektriksel sistemde olabilecek dalgalanmaların azaltılabileceğini ileri sürmüşlerdir ve piyasa etkilerini ortaya koymuşlardır. Chang [32] Taiwan'ın 7 şehri için doğrusal olmayan zamanla değişen parçacık sürü optimizasyonu ile optimal panel açısı tahmini gerçekleştirmiştir. Khorasanizadeh ve diğerleri [33], İran'ın Tabass şehri için aylık, mevsimlik, yarı yıllık ve yıllık değişimleri incelemiş ve Nisan-Eylül sıcak dönem ile Ekim-Mart arası soğuk dönemde sırasıyla  $10^{\circ}$  ve  $55^{\circ}$  olmak üzere iki kez eğim açısı değişimini

önermişlerdir. Bir diğer çalışmada [34] Sırbistan Belgrad için yıllık, mevsimsel ve aylık optimal eğim açılarının karşılaştırması yapılmıştır. Al Garni ve diğerleri [35] Suudi Arabistan'da 18 nokta için azimut ve eğim açılarını değiştirerek çalışma yapmışlar ve Riyad için yılda 5 kez yapılacak bir değişimin enerji eldesinde sabit açılı sisteme göre %3.63'lük bir artış sağlayacağı belirtilmiştir. Ayrıca 18 bölgede iklim, topoğrafya, iletim hatlarına yakınlık gibi kriterlerle değerlendirilerek uygunlukları belirlenmiştir. Danandeh ve Mousavi [36] İran'ın büyük şehirleri için güneş radyasyon tahmini için temel modeller (Perez, Hay, Gueymard, Skartveit & Olseth) ile optimum panel ağim açısı için de iki ana yaklaşım kullanarak sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

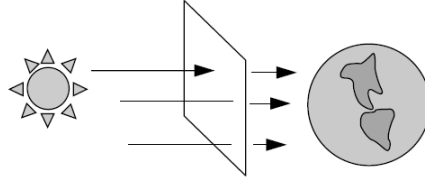


## 2. EĞİMLİ YÜZEYLERDE GÜNEŞ RADYASYON HESAPLAMALARI

Bu bölümde, ilk olarak güneş ışınımı çeşitleri hakkında kısa bilgi verilip daha sonrasında ise güneş enerjisi uygulamalarında kullanılmak üzere eğimli yüzeylere düşen güneş radyasyon miktarı hesaplamaları anlatılacaktır.

### 2.1 Güneş Işınımı

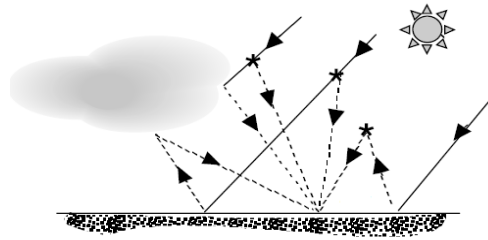
Güneş radyasyonu, güneş tarafından yayılan elektromanyetik radyasyon için kullanılan genel bir terimdir. Güneşten gelen bu radyasyon dünyanın atmosferik yapısından dolayı bazı değişimlere uğramaktadır. Dünya atmosferine gelen ve atmosferden geçen güneş radyasyonu arasında çok ciddi bir fark bulunmaktadır. Bu fark atmosferdeki bulutlar, hava parçacıkları, su buharı gibi etmenlerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.1 : Atmosfere gelen güneş radyasyonu.

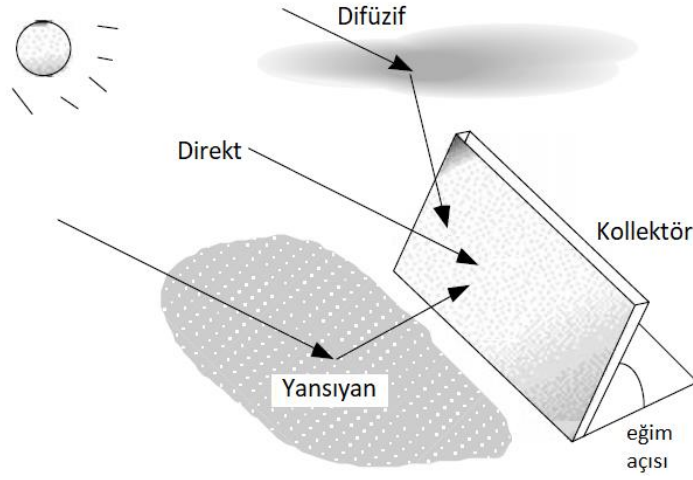
Atmosferden geçen güneş radyasyonunun ise bir kısmı herhangi bir saçılıma uğramadan doğrudan cisim üzerine düşer. Bu düşen radyasyona direkt ışınım adı verilmektedir [37].

Güneşten gelen ışınların saçılması, dağılması gibi nedenlerle yön değiştirip cisim üzerine tüm yönlerden gelen güneş radyasyonuna ise difüz ışınım denir [37].



Şekil 2.2 : Difüz ışınım.

Bir diğ er ış ınım çeş idi ise, yansıyan ış ınım olup, atmosferik etkiler dışında (zemin gibi) yansıyan radyasyon miktarını temsil eder.



**Ş ekil 2.3 :** Güneş ış ınım çeş itleri.

## 2.2 Eğ imli Yüzeylerdeki Güneş Radyasyon Miktarı

Güneş enerjisi uygulamalarında, güneş radyasyonundan en iyi düzeyde faydalanmak için kullanılan güneş panelleri yada toplayıcıları belirli açı değerlerinde tutulmak durumundadırlar. Bunun için gerekli olan güneş radyasyon verileri ise, birçok lokasyon için yatay düzlemde mevcuttur. Eğ imli yüzeye ait güneş radyasyon verileri ise yaygın olarak bulunmamaktadır. Bunun için çeş itli yöntemler geliştirilmiş olup, bu çalışmada en yaygın olarak kullanılanlardan biri olan Liu ve Jordan [38] modeli kullanılmıştır.

Eğ imli yüzeydeki ortalama günlük radyasyon değerinin ( $H_T$ ) genel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$H_T = RH \quad (2.1)$$

Burada  $H$  yatay düzlemdeki aylık ortalama günlük güneş radyasyonu miktarıdır.  $R$  ise eğ imli yüzeye düş en günlük güneş radyasyonu değerinin yatay düzlemdeki güneş radyasyonu değerine oranını ifade eder. Bu  $R$  oranı denklem 2.2’de [38] verilmiştir.

$$R = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) R_b + H_d \left(\frac{1 + \cos(s)}{2H}\right) + \rho \left(\frac{1 - \cos(s)}{2}\right) \quad (2.2)$$

$H_d$  ifadesi aylık ortalama günlük difüz radyasyon değerini,  $R_b$  eğimli yüzeydeki ortalama direkt radyasyon miktarının yatay düzlemdeki ortalama direkt radyasyon miktarına oranını, ' $s$ ' yatay ile yapılan açıyı yani eğim açısını ve ' $\rho$ ' ise panel çevresinin yansıtma katsayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada ilgili  $\rho$  katsayısı 0.2 olarak kabul edilmiştir.

$R$  ifadesi içerisinde bilinmeyen değişkenlerden olan  $H_d$  (aylık ortalama difüz radyasyon değeri) değişkeni ise [39]'de şu şekilde ifade edilmiştir.

$$H_d = H(1 - 1.13K_T) \quad (2.3)$$

$K_T$  ise açıklık indeksi olup, atmosferin açıklığını gösteren bir ölçüdür. Bu ölçü ise, aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerinin atmosfer dışında yatay bir yüzeye gelen radyasyona ( $H_0$ ) oranı olarak ifade edilebilir.

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (2.4)$$

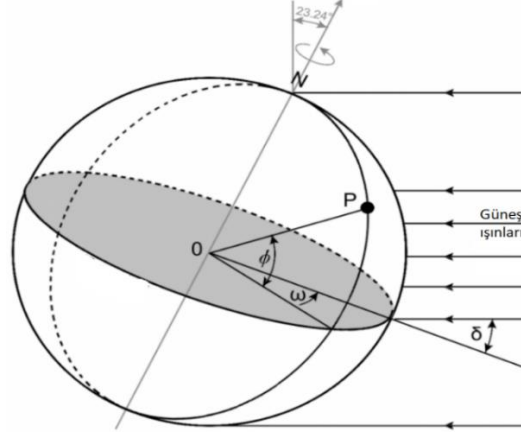
Atmosfer dışında yatay bir yüzeye gelen radyasyon miktarı ise şöyle tanımlanabilir;

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \left( \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \varphi \sin \delta \right) \quad (2.5)$$

Denklem 2.5'teki [38] ifadede yer alan  $I_{sc}$  (güneş sabiti) ortalama dünya-güneş uzaklığında yatay birim alana dik olarak gelen ışınım miktarıdır ve  $1367 \text{ W/m}^2$  olarak alınmıştır. ' $n$ ' ise yılın kaçınıcı günü olduğunu ifade eder. ' $\varphi$ ' ilgili bölgenin enlem değerini, ' $\delta$ ' güneşin deklinasyonunu ve  $\omega_s$  ise gündeğümü saat açısını ifade etmektedir.

Güneş ve Dünya merkezlerini birleştiren çizgi ile ekvatorial düzlem arasında kalan açı her gün değişmektedir. Bu açıya güneş deklinasyonu denmektedir. Bu açı yıl boyunca  $-23.45$  ile  $+23.45$  dereceleri arasında yer almaktadır. 21 Aralık kış gün dönümünde  $-23.45$ , 21 Haziran yaz gün dönümünde ise  $23.45$  değerini alır. İlkbahar ve sonbahar ekinokslarında ise sıfır değerini alır. Deklinasyon açı hesabında kullanılan formül [41] ise şu şekildedir:

$$\delta = 23.45 \sin \left( \frac{360(n + 284)}{365} \right) \quad (2.6)$$



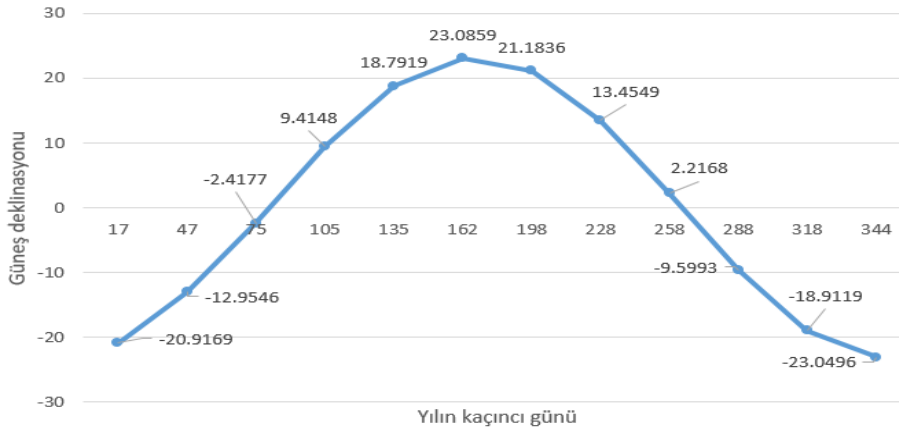
**Şekil 2.4 :** Deklinasyon açısı ( $\delta$ ), enlem ( $\varphi$ ) ve saat açısı ( $\omega$ ).

Çalışmada her ay için kullanılan deklinasyon açıları için, Klein'in [42] çalışmasında önerilen günler baz alınmış ve kullanılmıştır. İlgili günler aşağıda belirtilmiştir.

**Çizelge 2.1 :** Her ayın belirli günleri için deklinasyon açıları [42].

Tarih	Yılın kaçınıcı günü	Deklinasyon açısı [ $^{\circ}$ ]
17 Ocak	17	-20.917
16 Şubat	47	-12.955
16 Mart	75	-2.417
15 Nisan	105	9.415
15 Mayıs	135	18.792
11 Haziran	162	23.086
17 Temmuz	198	21.184
16 Ağustos	228	13.455
15 Eylül	258	2.217
15 Ekim	288	-9.599
14 Kasım	318	-18.912
10 Aralık	344	-23.049

Deklinasyon açılarının grafiksel gösterimi ise Şekil 2.5'de verilmiştir.



**Şekil 2.5 :** Deklinasyon açılarının yılın ilgili gününe göre değişimi.

Gündoğumu saat açısı ( $\omega_s$ ) ise aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\delta)\tan(\varphi)) \quad (2.7)$$

Denklem 2.2'deki  $R$  ifadesinde yer alan bir diğer bilinmeyen değişken ise,  $R_b$  olup şu şekilde tanımlanmıştır [43];

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - s)\cos(\varphi)\sin(\omega_s') + \omega_s'(\pi/180)\sin(\varphi - s)\sin(\delta)}{\cos(\delta)\cos(\varphi)\sin(\omega_s) + \omega_s(\pi/180)\sin(\varphi)\sin(\delta)} \quad (2.8)$$

' $\varphi$ ' ilgili bölgenin enlem değerini, ' $\delta$ ' güneşin deklinasyonunu, ' $s$ ' eğim açısını ve  $\omega_s'$  ise eğimli yüzeydeki gündoğumu saat açısını ifade etmektedir. Eğimli yüzeydeki gündoğumu açısının ifadesi ise şöyle tanımlanmıştır.

$$\omega_s' = \min\{\omega_s, \arccos[-\tan(\varphi - s)\tan(\delta)]\} \quad (2.9)$$

Eğimli yüzeydeki gündoğumu saat açısı ifadesinde minimum ifadesinin olma nedeni; kuzey yarım kürede yaz boyunca güneş deklinasyonu pozitif değer alır ve  $\omega_s > \omega_s'$  olur. Yani, güneş yatayda eğimli yüzeye oranla daha erken yükselir. Yine kuzey yarım kürede kış boyunca güneş deklinasyonu negatif değerler alır ve matematiksel olarak eğimli yüzeyde gündoğumu saat açısı yataydakinden daha fazla olur. Bu nedenle genel bir ifadede yazma açısından minimum ifadesi eklenmiştir.



### **3. TÜRKİYE İKLİM BÖLGELERİ VE VERİ İSTASYONLARI**

Bu bölümde, Türkiye'nin iklim sınıflandırmasına yönelik Ünal ve diğerlerinin yapmış olduğu [9] çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarına ait lokasyon bilgileriyle il sınırı tabanlı renklendirilmiş bir iklim haritası oluşturulmuştur. Daha sonrasında ise TARBİL (Tarımsal İzleme ve Bilgi Sistemi) projesi kapsamındaki seçilen istasyonların belirlenmesi ve bu istasyonlara ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri grafiklendirilmiştir.

#### **3.1 Türkiye İklim Bölgeleri**

İklim çalışmalarının bir çoğunda, iklim tipi sınıflandırmaları için çok sayıda farklı veri çeşidi ve metodu kullanılmıştır. Bunlar arasında en önemlileri olarak Köppen ve Thornthwaite sınıflandırmaları örnek gösterilebilir.

Türkiye'nin mevcut coğrafi bölgeleri [44] ise sadece iklimsel kriterlerle belirlenmemiş olup sosyal ve ekonomik değişkenler de bu sınıflandırmada etkili olmuştur. Daha sonraları yapılan çalışmalar ise daha nesnel verilerle gerçekleştirilmiştir. Ünal ve diğerleri, daha önce yapılan çalışmalarda ortaya çıkan sonuçlardaki çelişkileri ortaya koyarak ve meteorolojik verileri de kullanarak kümeleme (clustering) tekniğiyle Türkiye için yeni bir iklim bölgeleri haritası önermişlerdir [9]. Çalışmada, 113 tane meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık ve yağış verileri incelenerek ve Ward kümeleme tekniği kullanılarak, Türkiye 7 adet iklim bölgesine ayrılmıştır. [9]'da kullanılan 113 meteoroloji istasyonuna ait enlem ve boylam bilgileri Ek A.1'de verilmiştir. İlgili istasyonların dahil oldukları iklim sınıfları ise Çizelge 3.1'de verilmiştir. A sınıfı Kuzey Marmara Bölgesi'ni, B sınıfı Marmara'nın güneyini, Ege ve Batı Akdeniz Bölgesi'ni, C sınıfı Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimlerini, D sınıfı İç Anadolu Bölgesi'ni, E sınıfı Doğu Anadolu Bölgesi'ni, F sınıfı Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ni ve G sınıfı ise Doğu Akdeniz Bölgesi'ni temsil etmektedir. Bu temsil bölgeleri Türkiye'nin kullanmış olduğu mevcut coğrafi bölgelerinden belirli durumlarda farklılık göstermektedir. İlgili iklim

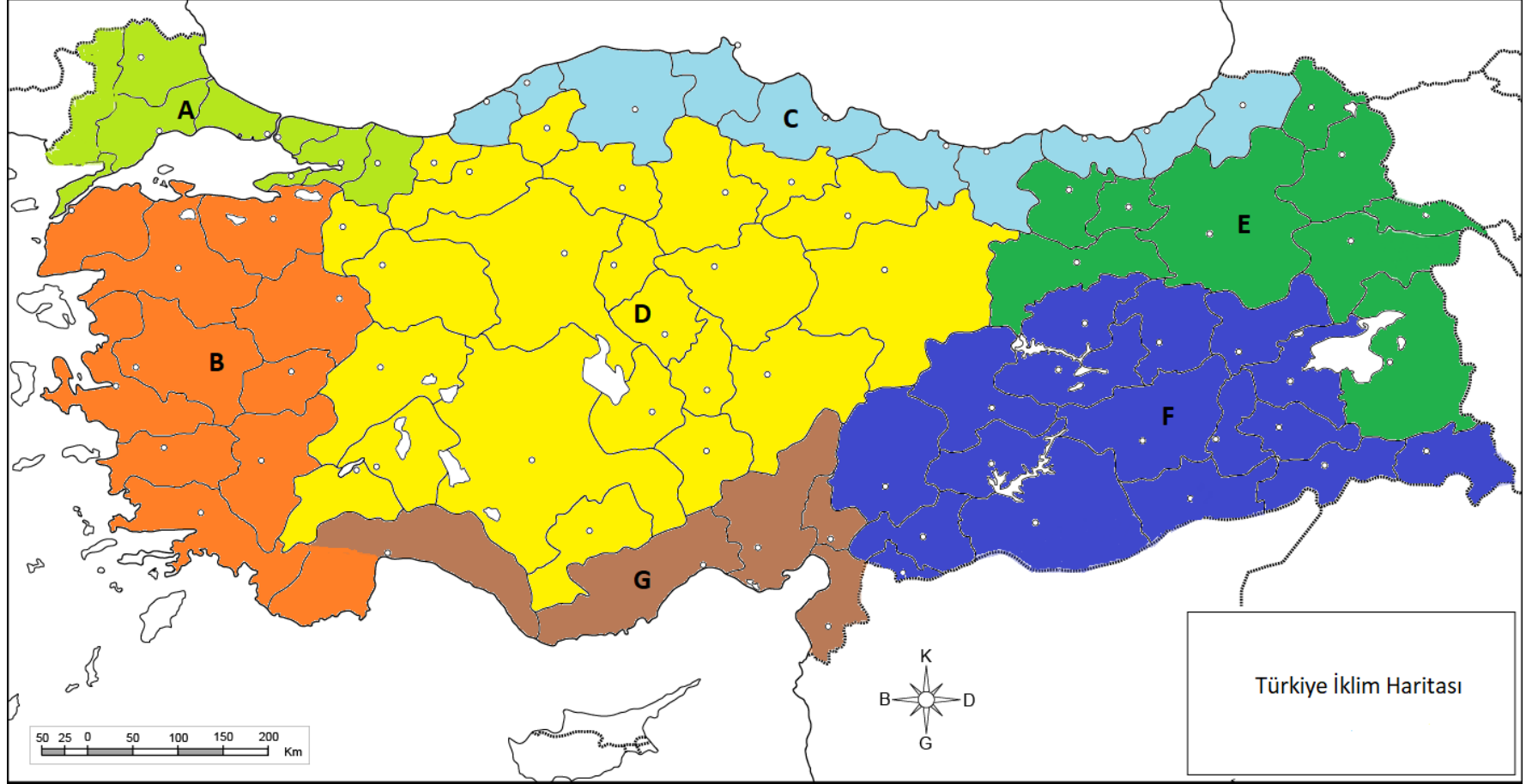
sınıflandırmaların Türkiye haritası üzerinde il sınırları da dikkate alınarak renklendirilmiş hali ise Şekil 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1 :** [9]’de kullanılan istasyonların iklim sınıflarına göre sınıflandırılması.

A	B	C	D	E	F	G
Edirne	Bandırma	Zonguldak	Bolu	Erzincan	Malatya	Anamur
Tekirdağ	Bursa	İnebolu	Kastamonu	Erzurum	Elazığ	Mersin
Kireçburnu	Balıkesir	Sinop	Merzifon	Ağrı	Siirt	Adana
Göztepe	Dikili	Samsun	Çorum	Van	Gaziantep	İskenderun
Kocaeli	Akhisar	Giresun	Sivas	Kars	Şanlıurfa	Dört Yol
Lüleburgaz	Manisa	Trabzon	Bilecik	Iğdır	Mardin	Antakya
Şile	Uşak	Rize	Yozgat	Ardahan	Diyarbakır	Alanya
Florya	İzmir	Artvin	Uşak	Bayburt	Islahiye	Silifke
Kırklareli	Aydın	Hopa	Afyon		Bingöl	Mut
Çorlu	Bodrum	Bozkurt	Kayseri		Adıyaman	Gazipaşa
Kumköy	Muğla	Amasra	Burdur		Hakkari	Yumurtalık
Sakarya	Fethiye		Isparta		Kilis	Karataş
Kartal	Kütahya		Konya		Batman	
Yalova	Çanakkale		Niğde		Ergani	
	Denizli		Eskişehir		Nusaybin	
	Finike		Ankara			
	Edremit		Çankırı			
	Simav		Amasya			
	Ödemiş		Tokat			
	Nazilli		Esenboğa			
	Elmalı		Kırşehir			
	Çeşme		Nevşehir			
	Keleş		Kızılcahamam			
	Selçuk		Beyşehir			
			Akşehir			
			Ulukışla			
			Karaman			
			Ürgüp			
			Tomarza			

### 3.2 Ölçüm İstasyonları

Bu tez çalışmasında kullanılan güneş radyasyon değerlerine ait veriler, Tarım ve Orman Bakanlığı’nın tarımda verimliliği arttırmak amacıyla desteklediği TARBİL (Tarımsal İzleme ve Bilgi Sistemi) projesinden alınmıştır. Bu projede kullanılan ölçüm istasyon verileri, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne ait 10 adet test istasyonu ile doğrulanarak elde edilmiştir. TARBİL’in Türkiye genelinde aktif 431 adet meteoroloji-fenoloji istasyonu ve test istasyonlarıyla birlikte ise 441 adet istasyonu bulunmaktadır.



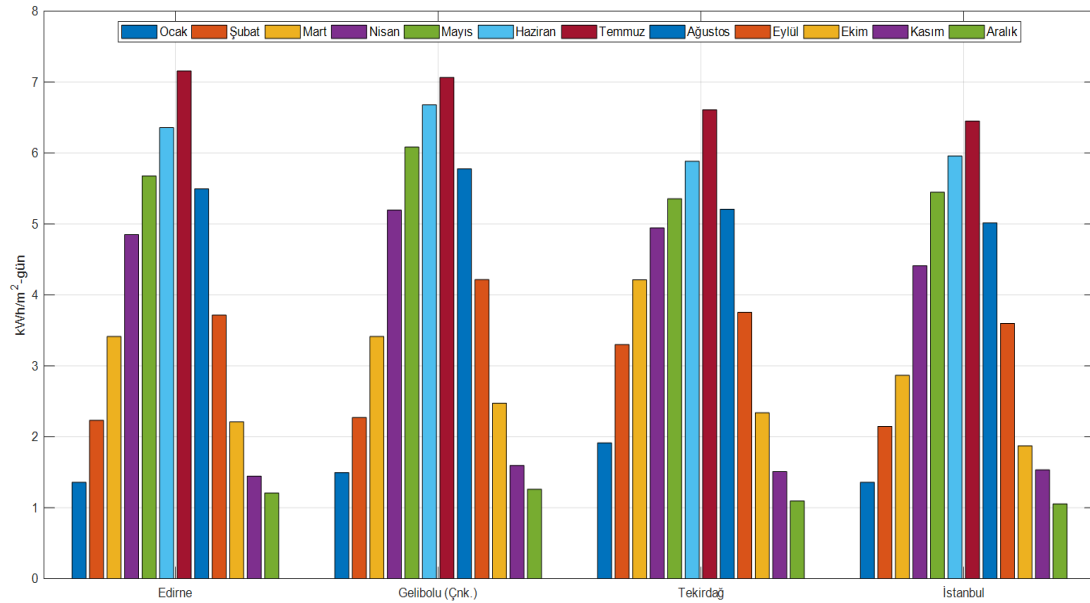
Şekil 3.1 : İklim sınıflarının renklendirilmiş haritası.

Çalışmada kullanılan istasyon sayısı 43 adet olup, bunların seçimleri Çizelge 3.1'deki istasyonların koordinatları dikkate alınarak yapılmıştır. İlgili istasyonlara ait enlem, boylam ve yükselti bilgileri ise Ek A.2'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan TARBİL istasyonlarının konumları harita üzerinde Şekil 3.2'de verilmiştir.

### 3.3 Aylık Ortalama Günlük Güneş Radyasyon Değerleri

Çalışma kapsamında incelenen TARBİL istasyonlarının aylık ortalama güneş radyasyon değerleri Şekil 3.3-Şekil 3.9'de bar grafik olarak gösterilmiştir. İncelenen istasyonların veri süreleri minimum 15 ay, maksimum ise 58 ay olmak üzere (tüm istasyonlardaki en son veri 2017 Haziran ayına aittir) değişkenlik göstermektedir. Bunun nedeni ise, istasyonların farklı zamanlarda kurulmuş olmasındandır.

'A' iklim bölgesi coğrafi olarak Kuzey Marmara diyebileceğimiz bir bölümü kapsamaktadır ve bu bölgede veri kaybı olmayan ve iklim bölgeleri için referans alınan [9] çalışmasındaki istasyonlara en yakın olacak şekilde 4 adet istasyon (Edirne, Gelibolu, Tekirdağ ve İstanbul) ele alınmıştır (Şekil 3.3).

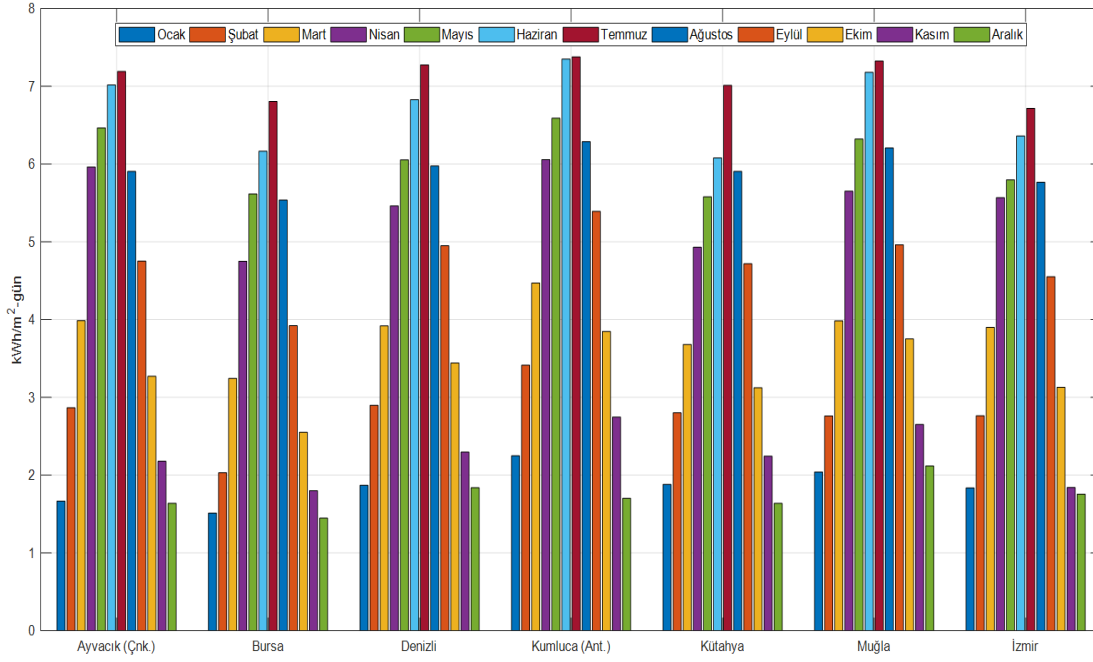


**Şekil 3.3 :** 'A' iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri.

'B' iklim bölgesi Güney Marmara, Ege ve Batı Akdeniz coğrafi bölgelerini içine alan geniş bir bölümü kapsamaktadır. Burada 7 adet istasyon (Ayvacık, Bursa, Denizli, Kumluca, Kütahya, Muğla ve İzmir) incelenmiştir (Şekil 3.4). Güneş potansiyeli yüksek bölgelerden biri olarak görülmektedir.

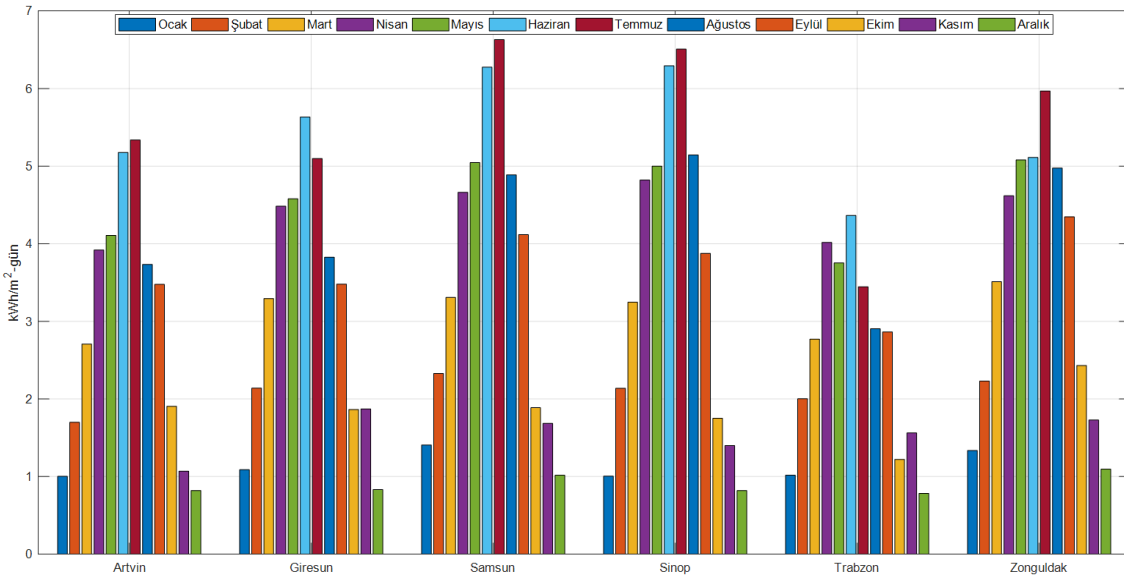


Şekil 3.2 : Kullanılan TARBİL ölçüm istasyonlarının dağılımları.



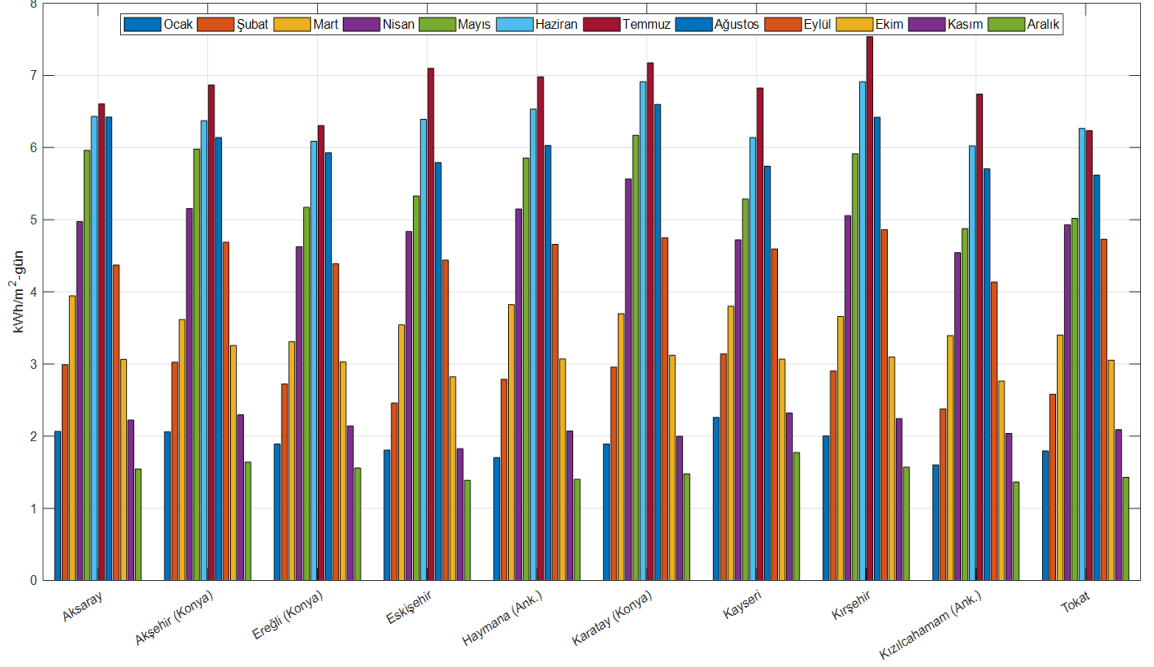
**Şekil 3.4 :** 'B' iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri.

'C' iklim bölgesi Karadeniz'in kıyı kesimlerini içeren bir alana yayılmıştır. Bu bölgede 6 adet istasyon (Artvin, Giresun, Samsun, Sinop, Trabzon ve Zonguldak) incelenmiştir (Şekil 3.5). İklim bölgesine güneş radyasyon açısından bakıldığında ise Batı Karadeniz'in güneş radyasyon miktarı Doğu Karadeniz'e oranla daha fazladır. Bunun nedeni olarak Doğu Karadeniz'deki yüksek bulutluluk oranı gösterilebilir.



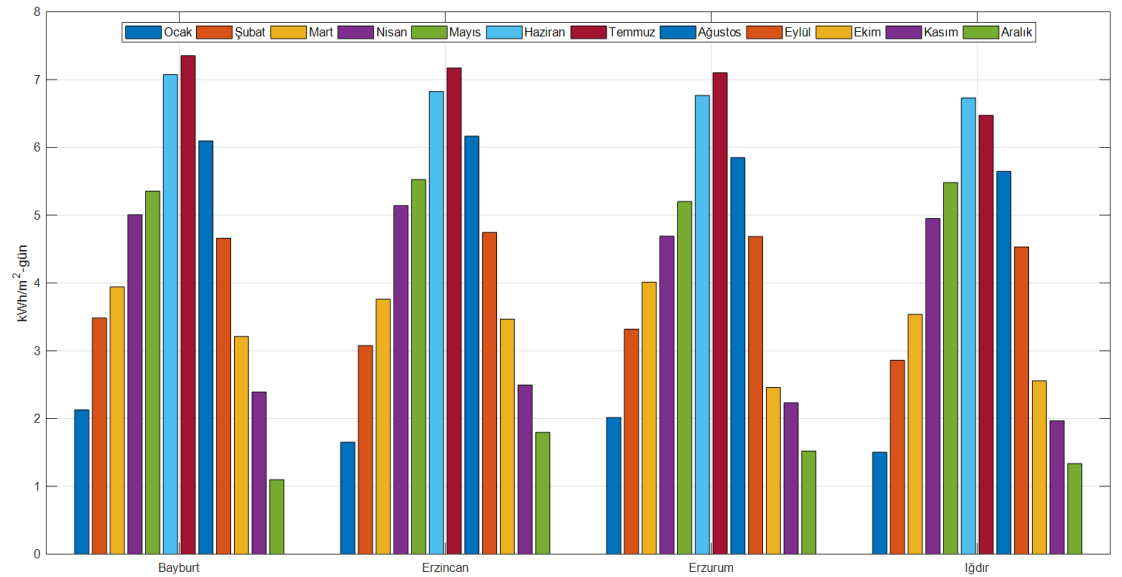
**Şekil 3.5 :** 'C' iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri.

'D' iklim bölgesi İç Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz'in iç kesimlerini içermektedir. İncelenen istasyonlar (Aksaray, Akşehir, Ereğli, Eskişehir, Haymana, Karatay, Kayseri, Kırşehir, Kızılcahamam, Tokat) 10 tanedir (Şekil 3.6).



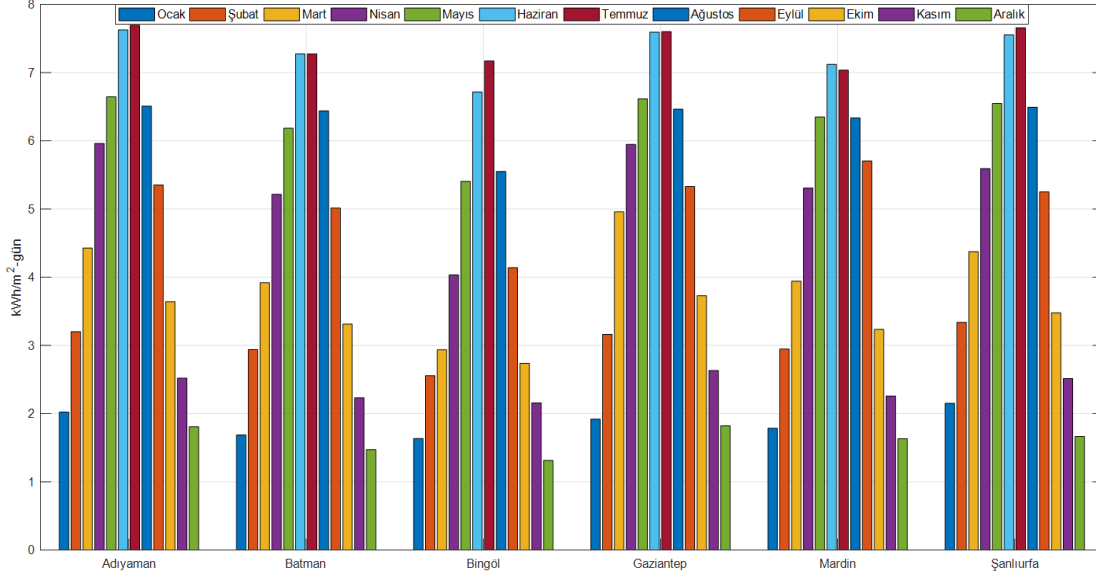
Şekil 3.6 : 'D' iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri.

'E' iklim bölgesi, Doğu Karadeniz'in iç kesimleri ve Doğu Anadolu bölgesinin kuzey bölgelerini kapsamaktadır. Bu bölgede Bayburt, Erzincan, Erzurum ve Iğdır istasyonları incelenmiştir (Şekil 3.7).



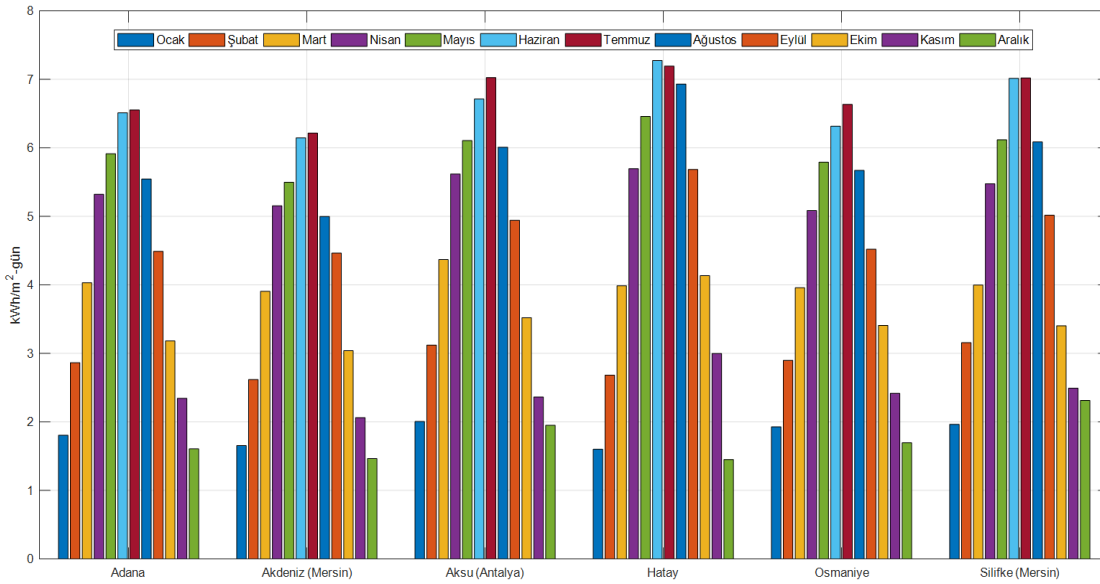
Şekil 3.7 : 'E' iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri.

'F' iklim bölgesi, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu'nun güney kesimlerini kapsamaktadır. Güneş radyasyonu açısından oldukça elverişli bir bölge olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmada ise Adıyaman, Batman, Bingöl, Gaziantep, Mersin ve Şanlıurfa istasyonları ele alınmıştır (Şekil 3.8). Ülkemizdeki en yüksek güneş radyasyonu değerlerine sahip bölgelerin arasındadır.



Şekil 3.8 : 'F' iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri.

'G' iklim bölgesi, Akdeniz'in kıyı kesimlerini kapsamaktadır, 6 adet ölçüm istasyonu (Adana, Akdeniz, Aksu, Hatay, Osmaniye, Silifke) incelenmiştir. (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : 'G' iklim bölgesine ait aylık ortalama günlük güneş radyasyon değerleri.

Tüm veri istasyonlarını ele aldığımızda aynı iklim sınıflandırmaları içerisinde de farklılıklar oluşabileceğini görebilmekteyiz. Bu farklılıkların oluşmasına diğer iklimsel özelliklerde etki edebilmektedir. Bölgenin nem oranı, rakımı, bulutluluk oranı, ortalama sıcaklık farkları gelen güneş radyasyon miktarını etkileyebilmektedir [45].

İncelenen tüm TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyonu hesaplamaları sonuçlarına ise Ek B'de yer verilmiştir.



## 4. OPTİMAL PANEL EĞİM AÇILARININ BELİRLENMESİ

Bu bölümde, daha önceki bölümlerde anlatılan eğimli yüzeylerde kullanılan radyasyon hesaplamaları ve Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri incelenerek aylık, mevsimsel, yarı-yıllık ve yıllık olarak optimal panel açısı değerlendirilmesi yapılacaktır. Ayrıca aylık optimal panel açısının belirlenmesi için çeşitli regresyon modelleri önerilip istatistiksel olarak analizleri değerlendirilecektir.

### 4.1 İklim Bölgelerine Göre Optimal Panel Eğim Açısı Değerlerinin Belirlenmesi

#### 4.1.1 'A' iklim bölgesi için optimal açısı değerleri

A iklim bölgesi yani coğrafi olarak Marmara Bölgesi'nin kuzey kesimlerini kapsayan alanda 4 farklı TARBİL istasyonuna ait veriler incelenmiştir. İlgili TARBİL istasyonuna göre aylık optimal panel eğim açıları ve o eğim açısındaki güneş radyasyon miktarı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

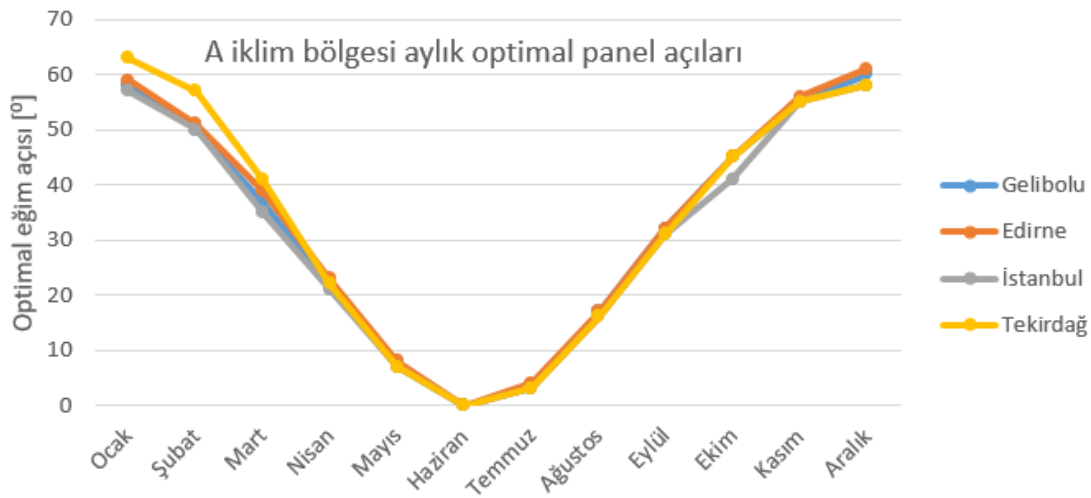
**Çizelge 4.1 :** 'A' iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açısı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açısı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
Gelibolu	Ocak	58	2.301
	Şubat	50	3.052
	Mart	37	3.979
	Nisan	22	5.474
	Mayıs	7	6.098
	Haziran	0	6.661
	Temmuz	3	7.052
	Ağustos	17	5.932
	Eylül	32	4.736
	Ekim	45	3.117
	Kasım	55	2.319
	Aralık	60	1.988
Edirne	Ocak	59	2.109
	Şubat	51	3.083
	Mart	39	4.048
	Nisan	23	5.113
	Mayıs	8	5.695
	Haziran	0	6.341
	Temmuz	4	7.149
	Ağustos	17	5.654
	Eylül	32	4.140
	Ekim	45	2.763

**Çizelge 4.1 (devam):** ‘A’ iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
İstanbul	Kasım	56	2.110
	Aralık	61	1.984
	Ocak	57	2.040
	Şubat	50	2.863
	Mart	35	3.248
	Nisan	21	4.601
	Mayıs	7	5.459
	Haziran	0	5.942
	Temmuz	3	6.439
	Ağustos	16	5.128
	Eylül	31	3.965
	Ekim	41	2.209
Tekirdağ	Kasım	55	2.230
	Aralık	58	1.565
	Ocak	63	3.422
	Şubat	57	5.278
	Mart	41	5.209
	Nisan	22	5.201
	Mayıs	7	5.366
	Haziran	0	5.869
	Temmuz	3	6.598
	Ağustos	16	5.333
	Eylül	31	4.161
	Ekim	45	2.924
Kasım	55	2.181	
Aralık	58	1.654	

Çizelge 4.1’de verilen aylık optimal panel eğim açısı değerlerinin görselleştirilmiş hali aşağıda Şekil 4.1’de verilmiştir. İlkbahar ve yaz aylarında gökyüzünün daha açık olması nedeniyle istasyonlar arasında optimal açı değerleri çok benzer çıkmaktadır. Lakin sonbahar ve kış aylarının bazı yerlerde daha bulutlu geçmesi nedeniyle bölgesel olarak birkaç derece sapmalar görülmektedir.



**Şekil 4.1 :** ‘A’ iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri.

Yılın belirli bir gününde optimal panel açı değerinin tahmin edilmek istenmesi durumunda Bölüm 2’de anlatılan hesaplamalarda güneş deklinasyonunun formullerde değişken parametre olduğu görülmektedir. Aşağıda bununla ilgili olarak sırasıyla doğrusal, ikinci derece, üçüncü derece ve dördüncü dereceden optimal eğim açısıyla güneş deklinasyonu arasında regresyon modelleri önerilmiştir.

$$s^{opt} = a + (b \times \delta) \quad (4.1)$$

$$s^{opt} = a + (b \times \delta) + (c \times \delta^2) \quad (4.2)$$

$$s^{opt} = a + (b \times \delta) + (c \times \delta^2) + (d \times \delta^3) \quad (4.3)$$

$$s^{opt} = a + (b \times \delta) + (c \times \delta^2) + (d \times \delta^3) + (e \times \delta^4) \quad (4.4)$$

Yapılan analizlerde elde edilen regresyon model katsayıları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

**Çizelge 4.2 :** ‘A’ iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açısı regresyon model katsayıları.

	a	b	c ( $\times 10^{-2}$ )	d ( $\times 10^{-5}$ )	e ( $\times 10^{-6}$ )
Doğrusal	32.469	-1.286			
2. derece	34.625	-1.285	-0.808		
3. derece	34.626	-1.280	-0.808	-1.426	
4. derece	34.415	-1.280	-0.492	-1.293	-5.890

İlgili regresyon modelleri çok hassas değişimleri nitelemektedir, gerçek bir uygulamada el ile ayarlanacak bir mekanik sistemde uygulanması oldukça güçtür fakat sistemin elektro-mekanik bir düzenele entegre olması halinde yada simülasyon benzeri uygulamalarda ilgili modeller kullanılabilirler.

Panel üzerine aylık eğim açısı değişimlerine oranla daha az güneş radyasyonu düşecek olan mevsimsel olarak optimal panel eğim açısı değerlendirilmesi yapıldığında ise Çizelge 4.3’deki sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

**Çizelge 4.3 :** ‘A’ iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açısı değerleri.

Mevsim	Gelibolu	Edirne	İstanbul	Tekirdağ
Kış	55	56	54	59
İlkbahar	21	22	19	25
Yaz	6	7	6	6
Sonbahar	41	42	40	41

Mevsimsel olarak optimal panel eğim açısı değerlerine bakıldığında ise kış ve sonbahar dönemleri ile ilkbahar ve yaz dönemlerinin birbirlerine açısı olarak daha yakın oldukları görülmektedir. Bu durum ise bir yılı iki döneme ayırmak fikrini doğurmaktadır. Bu şekilde yapılan değerlendirmede Çizelge 4.4'deki sonuçlar elde edilmektedir.

**Çizelge 4.4 :** 'A' iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açısı değerleri.

Dönem	Gelibolu	Edirne	İstanbul	Tekirdağ
Kış-Sonbahar	47	48	46	51
İlkbahar-Yaz	13	14	12	16

Şu ana kadar yapılan değerlendirmeler sadece 4 adet ölçüm istasyon verisine göre yapılmıştır. 'A' iklim bölgesi içerisinde yer alan diğer lokasyonlar için bu 4 ölçüm istasyonunun verileriyle birlikte bir değerlendirme yapıldığında aylık, mevsimlik, yarı yıllık ve yıllık olarak Çizelge 4.5'deki optimal eğim açısı değerleri bulunmuştur.

**Çizelge 4.5 :** 'A' iklim bölgesi için optimal panel eğim açısı değerlendirmesi.

Aylık	$s^{opt}$	Mevsimlik	$s^{opt}$	Yarı Yıllık	$s^{opt}$	Yıllık
Ocak	60	Kış	57	K-S	49	26
Şubat	53	İlkbahar	22	İ-Y	14	
Mart	39	Yaz	7			
Nisan	22	Sonbahar	41			
Mayıs	8					
Haziran	0					
Temmuz	4					
Ağustos	17					
Eylül	32					
Ekim	44					
Kasım	55					
Aralık	59					

Aylık, mevsimsel, yarı yıllık ve yıllık açısı değişimlerinin belirlenmesinin ardından panel üzerine düşen bir yıllık ortalama güneş yoğunluğu değerlerine ise aşağıdaki Çizelge 4.6'de yer verilmiştir.

**Çizelge 4.6 :** 'A' iklim bölgesi için  $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon [ $kWh/m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yarı Yıllık	Yıllık
( $kWh/m^2$ -yıl)	1513.1	1500.4	1491.4	1449.2
Değişim	%4.41	%3.53	%2.91	-

Çizelge 4.6’da görüldüğü üzere aylık, mevsimlik veya yarı yıllık olarak açı değişimleri panel üzerine düşen güneş radyasyonu miktarını belirli oranlarda arttırmaktadır. Bu artış aynı zamanda üretilen enerjinin de artışı demektir. %3-4’lük bir artış ufak bir sistemde çok az gibi görünsede büyük güneş tarlalarında çok ciddi ekonomik faydalar sağlayabilecektir.

#### 4.1.2 ‘B’ iklim bölgesi için optimal açı değerleri

‘B’ iklim bölgesi, Marmara Bölgesi’nin güneyini, Ege Bölgesi’ni ve Batı Akdeniz’in belirli bir kesimini kapsamaktadır. Bu bölge daha büyük bir alana yayıldığı için 7 adet TARBİL ölçüm istasyonu ile değerlendirme yapılmıştır ve bu istasyonlara ait hesaplanan optimal eğim açı ve güneş radyasyon değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

**Çizelge 4.7 :** ‘B’ iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

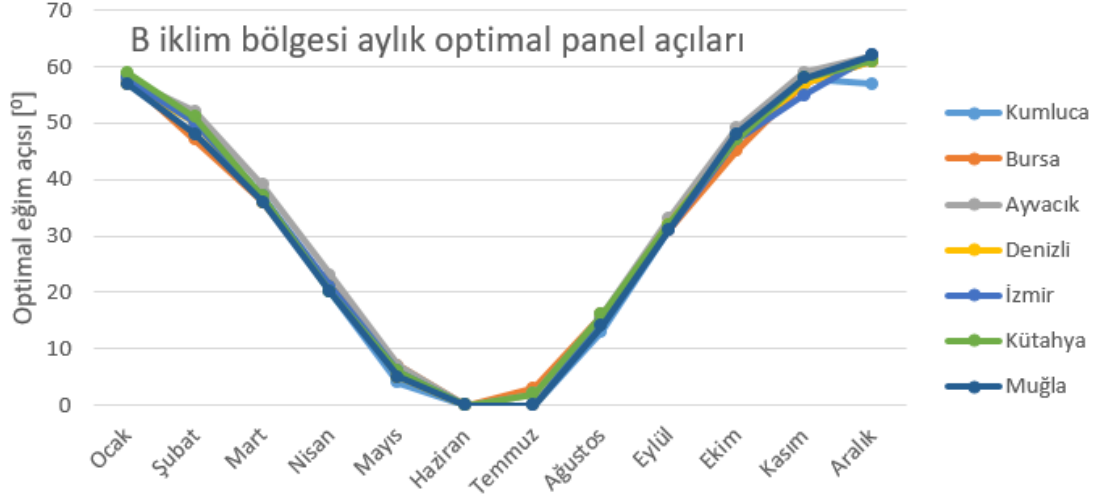
Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
Kumluca (Antalya)	Ocak	58	3.561
	Şubat	51	4.809
	Mart	37	5.242
	Nisan	20	6.321
	Mayıs	4	6.582
	Haziran	0	7.331
	Temmuz	0	7.359
	Ağustos	13	6.396
	Eylül	31	6.063
	Ekim	47	5.135
	Kasım	58	4.412
	Aralık	57	2.595
Bursa	Ocak	58	2.314
	Şubat	47	2.611
	Mart	36	3.731
	Nisan	21	4.964
	Mayıs	7	5.625
	Haziran	0	6.149
	Temmuz	3	6.792
	Ağustos	16	5.671
	Eylül	31	4.347
	Ekim	45	3.229
	Kasım	57	2.736
	Aralık	61	2.419
Ayvacık (Çanakkale)	Ocak	58	2.596
	Şubat	52	4.110
	Mart	39	4.755
	Nisan	23	6.324
	Mayıs	7	6.477
	Haziran	0	6.998
	Temmuz	2	7.175
	Ağustos	16	6.050
	Eylül	33	5.404
	Ekim	49	4.434
	Kasım	59	3.535

**Çizelge 4.7 (devam):** ‘B’ iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
Denizli	Aralık	62	2.829
	Ocak	57	2.879
	Şubat	50	3.992
	Mart	36	4.558
	Nisan	21	5.703
	Mayıs	5	6.052
	Haziran	0	6.810
	Temmuz	0	7.256
	Ağustos	15	6.094
	Eylül	32	5.573
	Ekim	47	4.577
	Kasım	57	3.585
İzmir	Aralık	61	3.119
	Ocak	58	2.877
	Şubat	50	3.799
	Mart	37	4.569
	Nisan	21	5.840
	Mayıs	6	5.799
	Haziran	0	6.344
	Temmuz	0	6.699
	Ağustos	15	5.884
	Eylül	31	5.086
	Ekim	47	4.083
	Kasım	55	2.661
Kütahya	Aralık	62	2.993
	Ocak	59	3.039
	Şubat	51	3.920
	Mart	37	4.282
	Nisan	20	5.137
	Mayıs	6	5.581
	Haziran	0	6.063
	Temmuz	2	6.995
	Ağustos	16	6.039
	Eylül	32	5.327
	Ekim	47	4.114
	Kasım	58	3.281
Muğla	Aralık	61	2.753
	Ocak	57	3.165
	Şubat	48	3.652
	Mart	36	4.599
	Nisan	20	5.889
	Mayıs	5	6.316
	Haziran	0	7.161
	Temmuz	0	7.305
	Ağustos	14	6.321
	Eylül	31	5.541
	Ekim	48	5.035
	Kasım	58	4.289
Aralık	62	3.714	

Aylık optimal panel eğim açı değerleri ise Şekil 4.2’de grafik olarak gösterilmiştir. Eğim açı değerlerinin birbiriyle genel olarak uyumlu olduğu gözlenmektedir. Sadece Ekim-Aralık ayları arasında birkaç istasyonda belirli sapmalar meydana gelmiştir.

'B' iklim bölgesi istasyonları için oluşturulan genel regresyon modellerine ait katsayılar ise Çizelge 4.8'de verilmiştir. İlgili katsayılar denklem 4.1-4.4'de belirtilen katsayıları ifade etmektedir.



Şekil 4.2 : 'B' iklim bölgesine ait optimal panel eğim açısı değerleri.

Çizelge 4.8 : 'B' iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açısı regresyon model katsayıları.

	a	b	c ( $\times 10^{-2}$ )	d ( $\times 10^{-5}$ )	e ( $\times 10^{-6}$ )
Doğrusal	32.176	-1.332			
2. derece	34.184	-1.331	-0.753		
3. derece	34.181	-1.377	-0.753	11.483	
4. derece	34.464	-1.376	-1.177	11.306	7.906

İncelenen 7 istasyonun mevsimsel olarak incelenmesi sonucunda optimum eğim açılarıyla ilgili olarak Çizelge 4.9'daki sonuçlara ulaşılmaktadır. İlgili aylarda genel olarak  $\pm 1^\circ$ 'lik değişimler bulunmaktadır.

Çizelge 4.9 : 'B' iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açısı değerleri.

Mevsim	Kumluca	Bursa	Ayvacık	Denizli	İzmir	Kütahya	Muğla
Kış	55	56	57	56	56	57	56
İlkbahar	20	20	22	20	21	20	19
Yaz	3	6	6	4	5	6	3
Sonbahar	44	43	45	44	42	45	45

Bölgeyi yarı yıllık olarak incelediğimizde ise, Çizelge 4.10'daki gibi değerler elde edilmektedir.

**Çizelge 4.10 :** 'B' iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açısı değerleri.

Dönem	Kumluca	Bursa	Ayvacık	Denizli	İzmir	Kütahya	Muğla
Kış- Sonbahar	48	48	50	49	49	50	49
İlkbahar- Yaz	11	12	14	12	13	12	11

7 istasyon ile yapılan değerlendirmeleri iklim bölgesinin geneline yaymak istediğimizde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11'deki gibi olmaktadır. İstasyon bazlı yapılan değerlendirmelerle ufak farklılıkların olması bölge içinde genel kullanıma da hitap etmektedir.

**Çizelge 4.11 :** 'B' iklim bölgesi için optimal panel açısı değerlendirmesi.

Aylık	$s^{opt}$	Mevsimlik	$s^{opt}$	Yarı Yıllık	$s^{opt}$	Yıllık
Ocak	58	Kış	56	K-S	49	28
Şubat	50	İlkbahar	20	İ-Y	12	
Mart	37	Yaz	5			
Nisan	21	Sonbahar	44			
Mayıs	6					
Haziran	0					
Temmuz	0					
Ağustos	15					
Eylül	32					
Ekim	47					
Kasım	58					
Aralık	61					

Tüm istasyonların genel değerlendirilip iklim bölgesinde  $m^2$ 'ye düşen yıllık güneş radyasyon miktarı hesaplandığında elde edilen değerler ilgili senaryolara göre Çizelge 4.12'de verilmiştir.

**Çizelge 4.12 :** 'B' iklim bölgesi için  $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon [ $kWh/m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yarı Yıllık	Yıllık
( $kWh/m^2$ -yıl)	1770.4	1753.6	1744.2	1682.5
Değişim	%5.22	%4.23	%3.67	-

Elde edilen sonuçlara göre aylık açısı değişimleriyle %5'in üzerinde bir fark olduğu görülmektedir.

#### 4.1.3 'C' iklim bölgesi için optimal açı değerleri

'C' iklim bölgesi Karadeniz'in kıyı kesimlerini içine alan bir bölgeyi temsil etmektedir. Bu bölge ülkemizin en fazla yağış alan bölgesi olarak bilinmektedir. Bölüm 3'de verilen aylık ortalama güneş radyasyon grafikleri incelendiğinde bu bölgenin özellikle Doğu Karadeniz kesiminde yer alan bölgelerde daha az güneş radyasyonu aldığı görülmektedir. Çizelge 4.13'de bu iklim bölgesi için incelenen 6 adet TARBİL ölçüm istasyon verisine ait aylık optimal eğim açı değerleri ve optimal açıdaki güneş radyasyon değerleri verilmiştir. Burada da bahsedilen Doğu Karadeniz bölgesindeki istasyonlarda elde edilen optimal güneş radyasyon verilerinin daha düşük olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni olarak yukarıda bahsedilen çok yağış alan bölgenin bulutluluk oranının ve kapalı günlerin fazlalığı söylenebilir.

**Çizelge 4.13 :** 'C' iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

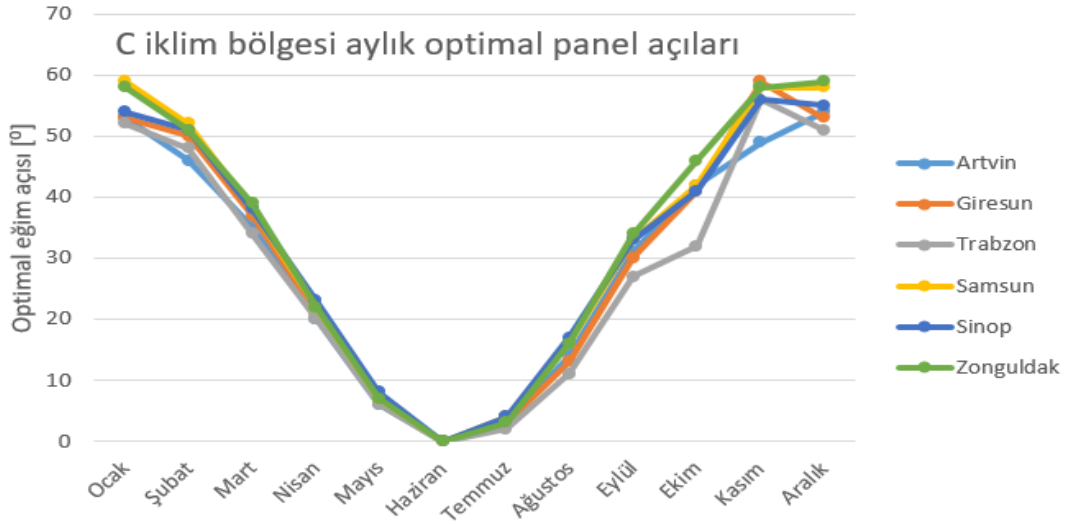
Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
Artvin	Ocak	53	1.351
	Şubat	46	2.123
	Mart	35	3.052
	Nisan	20	4.064
	Mayıs	6	4.109
	Haziran	0	5.161
	Temmuz	3	5.327
	Ağustos	14	3.784
	Eylül	31	3.825
	Ekim	42	2.276
	Kasım	49	1.378
	Aralık	54	1.117
Giresun	Ocak	53	1.490
	Şubat	50	2.852
	Mart	37	3.836
	Nisan	21	4.681
	Mayıs	7	4.583
	Haziran	0	5.617
	Temmuz	3	5.087
	Ağustos	13	3.876
	Eylül	30	3.815
	Ekim	41	2.198
	Kasım	59	2.991
	Aralık	53	1.122
Samsun	Ocak	59	2.202
	Şubat	52	3.251
	Mart	38	3.883
	Nisan	22	4.895
	Mayıs	7	5.054
	Haziran	0	6.257
	Temmuz	4	6.619
	Ağustos	16	4.999
	Eylül	33	4.658
	Ekim	42	2.250

**Çizelge 4.13 (devam):** ‘C’ iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]	
Sinop	Kasım	58	2.615	
	Aralık	58	1.523	
	Ocak	54	1.379	
	Şubat	51	2.923	
	Mart	38	3.817	
	Nisan	23	5.084	
	Mayıs	8	5.011	
	Haziran	0	6.275	
	Temmuz	4	6.498	
	Ağustos	17	5.279	
	Eylül	33	4.357	
	Ekim	41	2.064	
	Kasım	56	2.027	
	Aralık	55	1.136	
Trabzon	Ocak	52	1.354	
	Şubat	48	2.601	
	Mart	34	3.115	
	Nisan	20	4.162	
	Mayıs	6	3.752	
	Haziran	0	4.351	
	Temmuz	2	3.519	
	Ağustos	11	2.925	
	Eylül	27	3.063	
	Ekim	32	1.329	
	Kasım	56	2.281	
	Aralık	51	1.028	
	Zonguldak	Ocak	58	2.023
		Şubat	51	3.046
Mart		39	4.169	
Nisan		22	4.839	
Mayıs		7	5.089	
Haziran		0	5.096	
Temmuz		3	5.957	
Ağustos		16	5.089	
Eylül		34	4.954	
Ekim		46	3.102	
Kasım		58	2.694	
Aralık		59	1.681	

Şekil 4.3’den görüleceği üzere sonbahar ve kış aylarında optimal panel açı değerlerinde ciddi sapmalar bulunmaktadır. Bunun nedeni yukarıda belirtilen bulutlu günlerdir.

‘C’ iklim bölgesi için kullanılabilecek regresyon modellerinin katsayıları ise denklem 4.1-4.4 baz alınarak Çizelge 4.14’de tablo olarak sunulmuştur. Önceki iki iklim bölgesinin regresyon modellerine göre bu iklim bölgesi için oluşturulan regresyon modelleri daha fazla hatalı davranabilir, bunun nedeni ise sonbahar ve kış aylarında görülen sapmalardır.



Şekil 4.3 : 'C' iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri.

Çizelge 4.14 : 'C' iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açısı regresyon model katsayıları.

	a	b	c ( $\times 10^{-2}$ )	d ( $\times 10^{-5}$ )	e ( $\times 10^{-6}$ )
Doğrusal	30.961	-1.224			
2. derece	33.384	-1.224	-0.908		
3. derece	33.381	-1.268	-0.908	11.031	
4. derece	33.052	-1.268	-0.415	11.238	-9.191

Aylık yapılan analiz ve regresyon modellerinin ardından, mevsimsel olarak eğim açılarını Çizelge 4.15'deki gibi elde ederiz. Burada da Artvin, Trabzon gibi şehirlerin diğerlerinden ayrıldığı görülebilir.

Çizelge 4.15 : 'C' iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açısı değerleri.

Mevsim	Artvin	Giresun	Samsun	Sinop	Trabzon	Zonguldak
Kış	50	51	55	52	50	55
İlkbahar	20	22	22	23	20	23
Yaz	5	5	6	7	4	7
Sonbahar	37	43	42	40	39	44

Yarı yıllık olarak yapılan değerlendirme kapsamında ise Çizelge 4.16'daki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.16 : 'C' iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açısı değerleri.

Dönem	Artvin	Giresun	Samsun	Sinop	Trabzon	Zonguldak
Kış-Sonbahar	42	46	48	45	44	48
İlkbahar-Yaz	12	13	14	14	13	15

Tüm istasyonların için optimal panel eğim açıları ise Çizelge 4.17’de verilmiştir.

**Çizelge 4.17 :** ‘C’ iklim bölgesi için optimal panel açı değerlendirmesi.

Aylık	$s^{opt}$	Mevsimlik	$s^{opt}$	Yarı Yıllık	$s^{opt}$	Yıllık
Ocak	55	Kış	53	K-S	46	25
Şubat	50	İlkbahar	22	İ-Y	13	
Mart	37	Yaz	6			
Nisan	22	Sonbahar	41			
Mayıs	7					
Haziran	0					
Temmuz	3					
Ağustos	15					
Eylül	32					
Ekim	42					
Kasım	57					
Aralık	56					

Diğer iklim bölgeleriyle (A,B) karşılaştırdığımızda görülen  $\pm 1,2^{\circ}$ ’lik farklar burada  $\pm 3,4^{\circ}$  olmuştur. Bu farkı da yukarıda anlatılan istasyon bölgelerindeki yağış, bulutluluk oranı gibi etkenler ortaya çıkarmıştır.

Aylık, mevsimsel, yarı yıllık ve yıllık eğim açı değişimlerine göre panel üzerine düşen bir yıllık ortalama güneş yoğunluğu değerlerine ise aşağıdaki Çizelge 4.18’de yer verilmiştir.

Aylık, mevsimlik, yarı yıllık eğim açısı değişimlerini incelediğimizde önceki iklim bölgelerine oranla daha az bir değişim ve aynı zamanda yoğunluk olarak daha az güneş radyasyon yoğunluğu olduğu görülmektedir.

Genel olarak tüm iklim bölgeleri incelendiğinde, ‘C’ iklim bölgesinin Türkiye’de en az güneş radyasyon yoğunluğuna sahip bölge olduğunu görmekteyiz. Yatırım potansiyeli diğer bölgelere göre oldukça düşüktür. Yıllık  $m^2$ ’ye düşen ortalama güneş radyasyon değerlerine bakıldığında yaklaşık %30 civarında daha az bir değere sahiptir.

**Çizelge 4.18 :** ‘C’ iklim bölgesi için  $m^2$ ’ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon [kWh/ $m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yarı Yıllık	Yıllık
(kWh/ $m^2$ -yıl)	1274.2	1264.0	1257.8	1228.2
Değişim	%3.75	%2.91	%2.41	-

#### 4.1.4 'D' iklim bölgesi için optimal açı değerleri

'D' iklim bölgesi ana olarak İç Anadolu Bölgesi'ni ve bunun yanında Karadeniz'in iç kesimleri ile Akdeniz'in iç kesimlerini de kapsamaktadır. Güneş potansiyelinin yüksek ve daha büyük alana yayıldığı için 10 adet istasyon incelenmiştir. Aşağıda bu istasyonlara ait aylık optimal açı değerleri ve optimal açıdaki güneş radyasyon değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.19 :** 'D' iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
Haymana (Ankara)	Ocak	59	2.686
	Şubat	52	3.963
	Mart	38	4.519
	Nisan	22	5.395
	Mayıs	7	5.859
	Haziran	0	6.516
	Temmuz	2	6.964
	Ağustos	16	6.184
	Eylül	33	5.281
	Ekim	48	4.072
Kızılcahamam (Ankara)	Kasım	58	3.287
	Aralık	60	2.239
	Ocak	59	2.529
	Şubat	50	3.236
	Mart	37	3.943
	Nisan	21	4.734
	Mayıs	6	4.878
	Haziran	0	6.006
	Temmuz	3	6.728
	Ağustos	16	5.852
Eskişehir	Eylül	32	4.627
	Ekim	47	3.594
	Kasım	59	3.304
	Aralık	61	2.223
	Ocak	60	2.956
	Şubat	50	3.338
	Mart	37	4.125
	Nisan	21	5.049
	Mayıs	6	5.333
	Haziran	0	6.375
Kayseri	Temmuz	2	7.083
	Ağustos	16	5.933
	Eylül	32	4.996
	Ekim	47	3.652
	Kasım	56	2.743
	Aralık	60	2.219
	Ocak	61	3.942
	Şubat	53	4.548
	Mart	37	4.429
	Nisan	20	4.896
Mayıs	5	5.286	
Haziran	0	6.123	
Temmuz	0	6.807	

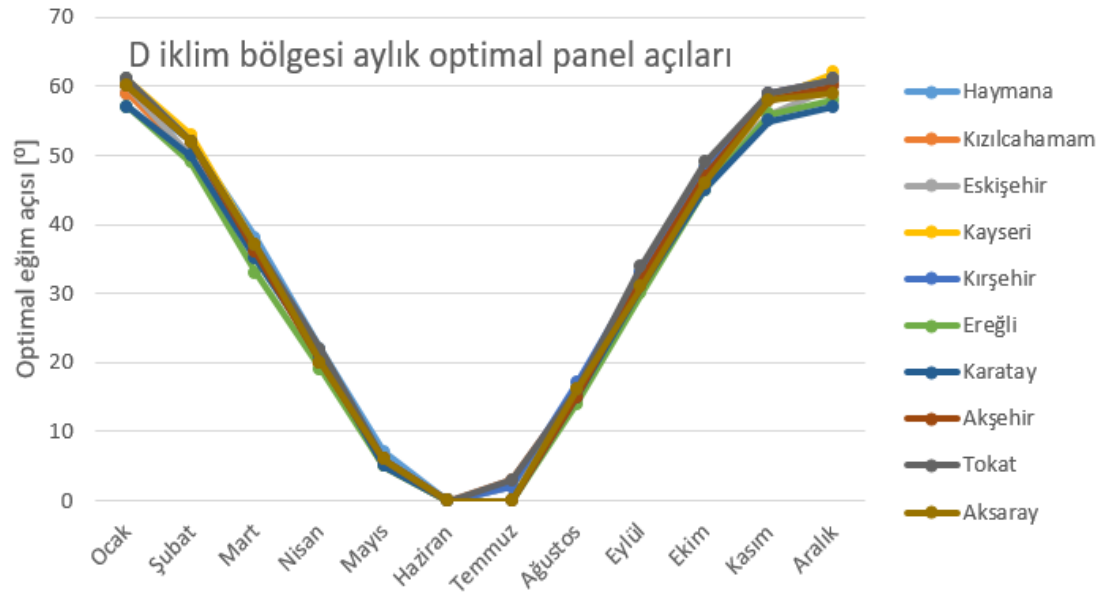
**Çizelge 4.19 (devam) :** ‘D’ iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
Kırşehir	Ağustos	15	5.859
	Eylül	31	5.143
	Ekim	46	3.976
	Kasım	58	3.736
	Aralık	62	3.039
	Ocak	61	3.392
	Şubat	52	4.158
	Mart	37	4.265
	Nisan	21	5.286
	Mayıs	6	5.918
	Haziran	0	6.893
	Temmuz	2	7.519
Ereğli (Konya)	Ağustos	17	6.597
	Eylül	33	5.537
	Ekim	48	4.096
	Kasım	59	3.656
	Aralık	61	2.618
	Ocak	57	2.902
	Şubat	49	3.647
	Mart	33	3.718
	Nisan	19	4.777
	Mayıs	5	5.165
	Haziran	0	6.071
	Temmuz	0	6.286
Karatay (Konya)	Ağustos	14	6.041
	Eylül	30	4.839
	Ekim	45	3.846
	Kasım	56	3.213
	Aralık	58	2.407
	Ocak	57	2.911
	Şubat	50	4.087
	Mart	35	4.242
	Nisan	21	5.814
	Mayıs	5	6.167
	Haziran	0	6.894
	Temmuz	0	7.155
Akşehir (Konya)	Ağustos	15	6.747
	Eylül	31	5.301
	Ekim	45	3.916
	Kasım	55	2.908
	Aralık	57	2.232
	Ocak	60	3.397
	Şubat	52	4.290
	Mart	36	4.159
	Nisan	20	5.371
	Mayıs	6	5.979
	Haziran	0	6.354
	Temmuz	0	6.850
Tokat	Ağustos	15	6.276
	Eylül	32	5.254
	Ekim	47	4.287
	Kasım	58	3.653
	Aralık	60	2.677
	Ocak	61	3.004

**Çizelge 4.19 (devam) :** ‘D’ iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
Tokat	Şubat	52	3.626
	Mart	37	3.956
	Nisan	22	5.168
	Mayıs	6	5.022
	Haziran	0	6.249
	Temmuz	3	6.221
	Ağustos	16	5.760
	Eylül	34	5.416
	Ekim	49	4.111
	Kasım	59	3.429
	Aralık	61	2.383
	Aksaray	Ocak	60
Şubat		52	4.233
Mart		37	4.628
Nisan		20	5.174
Mayıs		6	5.963
Haziran		0	6.413
Temmuz		0	6.589
Ağustos		16	6.579
Eylül		31	4.852
Ekim		46	3.966
Kasım		58	3.492
Aralık		59	2.458

Şekil 4.4’de hesaplanan optimal panel eğim açılarının grafiksel gösterimi verilmiştir. Burada var olan açı farklarının bulutluluktan ziyade ‘D’ iklim bölgesinin kuzey-güney doğrultusunda geniş bir alana yayılmış olmasından ötürü, enlem ve rakım farklarından oluştuğu söylenebilir.



**Şekil 4.4 :** ‘D’ iklim bölgesine ait optimal panel eğim açısı değerleri.

Aylık optimal eğim açı değerleriyle ve güneş deklinasyonunun baz alınarak oluşturulan regresyon model katsayıları ise Çizelge 4.20’de denklem 4.1-4.4 için verilmiştir.

**Çizelge 4.20 :** ‘D’ iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açı regresyon model katsayıları.

	a	b	c ( $\times 10^{-2}$ )	d ( $\times 10^{-5}$ )	e ( $\times 10^{-6}$ )
Doğrusal	32.235	-1.331			
2. derece	34.209	-1.330	-0.739		
3. derece	34.205	-1.386	-0.740	13.891	
4. derece	34.055	-1.386	-0.515	13.985	-4.185

Mevsimsel olarak istasyon bazlı değerlendirmede elde edilen sonuçlar Çizelge 4.21’de verilmiştir.

**Çizelge 4.21 :** ‘D’ iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açı değerleri.

	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Haymana	56	22	6	44
Kızılcahamam	56	21	7	45
Eskişehir	56	21	6	43
Kayseri	58	21	5	44
Kırşehir	57	21	6	45
Ereğli	54	18	5	42
Karatay	54	19	5	41
Akşehir	57	19	5	44
Tokat	57	21	6	46
Aksaray	56	21	6	44

Yarı yıllık olarak soğuk ve sıcak ayların bir arada değerlendirmesiyle ortaya çıkan değerlendirmede elde edilen sonuçlar Çizelge 4.22’de görülmektedir.

**Çizelge 4.22 :** ‘D’ iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açı değerleri.

	Kış- Sonbahar	İlkbahar- Yaz
Haymana	49	13
Kızılcahamam	50	13
Eskişehir	49	13
Kayseri	51	12
Kırşehir	50	12
Ereğli	47	10
Karatay	47	11
Akşehir	50	12
Tokat	50	13
Aksaray	50	13

İklim bölgesinin diğer lokasyonlarında kullanılacak genel değerlendirme sonuçları ise Çizelge 4.23’de verilmiştir. Yapılan bu değerlendirmeler sonucu diğer senaryo sonuçlarıyla  $\pm 1,2^\circ$ ’lik sapmalar görülmektedir.

**Çizelge 4.23 :** ‘D’ iklim bölgesi için optimal panel eğim açısı değerlendirmesi.

Aylık	$s^{opt}$	Mevsimlik	$s^{opt}$	Yarı Yıllık	$s^{opt}$	Yıllık
Ocak	60	Kış	56	K-S	49	28
Şubat	51	İlkbahar	20	İ-Y	12	
Mart	37	Yaz	6			
Nisan	21	Sonbahar	44			
Mayıs	6					
Haziran	0					
Temmuz	2					
Ağustos	16					
Eylül	32					
Ekim	47					
Kasım	58					
Aralık	60					

‘D’ iklim bölgesi için hesaplanan  $m^2$ ’ye düşen yıllık güneş radyasyonu miktarları ise çeşitli senaryolar altında Çizelge 4.24’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ‘B’ bölgesinde olduğu gibi aylık bazda %5’ten fazla güneş radyasyonu yoğunluğu görülmektedir. Özel kuruluşların, güneş tarlalarının kurulumu için son yıllarda yoğunlaştığı bu bölgede aylık değişimlerle MW veya GW seviyelerindeki santrallerden alınacak geri kazanımın oldukça fazla olması muhtemeldir.

**Çizelge 4.24 :** ‘D’ iklim bölgesi için  $m^2$ ’ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon [kWh/ $m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yarı Yıllık	Yıllık
(kWh/ $m^2$ -yıl)	1686.3	1670.9	1662.7	1604.1
Değişim	%5.12	%4.16	%3.65	-

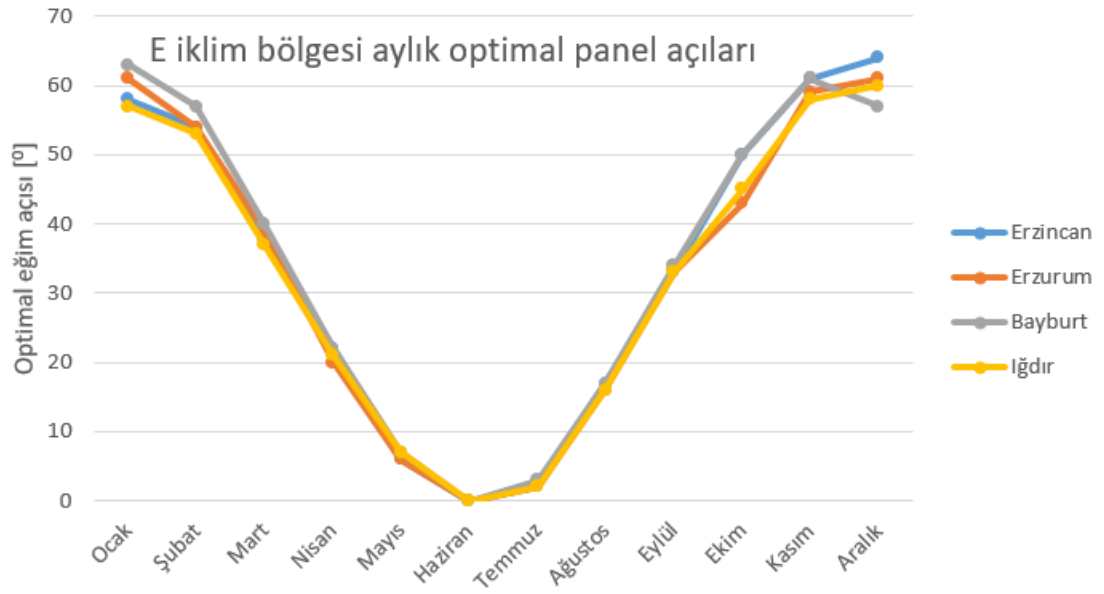
#### 4.1.5 ‘E’ iklim bölgesi için optimal açısı değerleri

‘E’ iklim bölgesi Doğu Anadolu Bölgesi’nin kuzey kesimlerini ve Doğu Karadeniz’in iç kesimlerini kapsayan bir alanı temsil etmektedir. Bölgede incelenen 4 istasyon Erzincan, Erzurum, Bayburt ve Iğdır’dır (Çizelge 4.25). Bölge, Doğu Karadeniz’e yakın olması sebebiyle bulutluluk oranı sonbahar-kış ayları için biraz daha fazla olmakla birlikte, güneş radyasyon yoğunluğu oldukça iyidir.

**Çizelge 4.25 :** ‘E’ iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
Erzincan	Ocak	58	2.572
	Şubat	54	4.558
	Mart	38	4.431
	Nisan	22	5.388
	Mayıs	6	5.362
	Haziran	0	6.807
	Temmuz	2	7.155
	Ağustos	17	6.329
	Eylül	33	5.399
	Ekim	50	4.812
	Kasım	61	4.366
	Aralık	64	3.279
Erzurum	Ocak	61	3.428
	Şubat	54	5.041
	Mart	39	4.778
	Nisan	20	4.880
	Mayıs	6	5.204
	Haziran	0	6.749
	Temmuz	2	7.084
	Ağustos	16	5.986
	Eylül	33	5.301
	Ekim	43	3.026
	Kasım	59	3.633
	Aralık	61	2.496
Bayburt	Ocak	63	3.923
	Şubat	57	5.598
	Mart	40	4.742
	Nisan	22	5.256
	Mayıs	7	5.362
	Haziran	0	7.054
	Temmuz	3	7.337
	Ağustos	17	6.273
	Eylül	34	5.325
	Ekim	50	4.404
	Kasım	61	4.219
	Aralık	57	1.616
İğdir	Ocak	57	2.272
	Şubat	53	4.152
	Mart	37	4.130
	Nisan	21	5.183
	Mayıs	7	5.488
	Haziran	0	6.712
	Temmuz	2	6.459
	Ağustos	16	5.781
	Eylül	33	5.132
	Ekim	45	3.221
	Kasım	58	3.089
	Aralık	60	2.116

Elde edilen optimal panel eğim açıları Şekil 4.5’de gösterilmiştir. İlkbahar ve yaz aylarında oluşan korelasyon oldukça iyi durumdadır, fakat sonbahar ve kış aylarında ise belirli sapmalar görülmektedir.



**Şekil 4.5 :** ‘E’ iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri.

Elde edilen aylık optimal eğim açısı değerlerine karşılık bölgenin diğer lokasyonlarında da kullanılabilen regresyon modellerine ait katsayılar aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 4.26 :** ‘E’ iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açısı regresyon model katsayıları.

	a	b	c ( $\times 10^{-2}$ )	d ( $\times 10^{-5}$ )	e ( $\times 10^{-6}$ )
Doğrusal	33.429	-1.357			
2. derece	35.966	-1.356	-0.950		
3. derece	35.958	-1.466	-0.951	27.401	
4. derece	35.429	-1.467	-0.157	27.733	-14.782

Mevsimsel olarak optimal panel açısı değerlendirildiğinde ise Çizelge 4.27’deki sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Iğdır, mevsimsel olarak düşünüldüğünde diğer istasyonlardan biraz ayrılmaktadır. Daha ılıman bir bölge olması özellikle sonbahar ve kış aylarında bir değişim olmasına yol açmış olabilir.

**Çizelge 4.27 :** ‘E’ iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açısı değerleri.

Mevsim	Erzincan	Erzurum	Bayburt	Iğdır
Kış	58	58	59	56
İlkbahar	22	22	23	21
Yaz	6	5	7	6
Sonbahar	47	44	48	43

Çizelge 4.28’de ise istasyonların yarı yıllık eğim açısı değerleri verilmiştir. Yukarıda bahsedildiği gibi Iğdır özellikle sonbahar-kış döneminde bir farklılık göstermektedir.

**Çizelge 4.28 :** ‘E’ iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açısı değerleri.

Dönem	Erzincan	Erzurum	Bayburt	Iğdır
Kış-Sonbahar	52	51	53	49
İlkbahar-Yaz	13	13	14	13

Tüm istasyon verilerinin ortak değerlendirilmesiyle ‘E’ iklim bölgesi için elde edilen aylık, mevsimlik, yarı yıllık ve yıllık optimal eğim açısı değerleri Çizelge 4.29’da verilmiştir.

**Çizelge 4.29 :** ‘E’ iklim bölgesi için optimal panel eğim açısı değerlendirmesi.

Aylık	$s^{opt}$	Mevsimlik	$s^{opt}$	Yarı Yıllık	$s^{opt}$	Yıllık
Ocak	61	Kış	58	K-S	51	30
Şubat	55	İlkbahar	22	İ-Y	13	
Mart	38	Yaz	6			
Nisan	21	Sonbahar	46			
Mayıs	6					
Haziran	0					
Temmuz	2					
Ağustos	16					
Eylül	33					
Ekim	48					
Kasım	60					
Aralık	61					

Yıllık olarak  $m^2$ 'ye düşen güneş radyasyonu miktarları hesaplandığında ise Çizelge 4.30'daki sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçları da sabit açılı duruma göre değerlendirdiğimizde aylık açısı değişiminin %5'den fazla bir katkısı olduğu görülmektedir. Mevsimlik ve yarı yıllık değişimlerinde diğer bölgelerden daha fazla değişime sahip oldukları görülmektedir.

**Çizelge 4.30 :** ‘E’ iklim bölgesi için  $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon [ $kWh/m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yarı Yıllık	Yıllık
( $kWh/m^2$ -yıl)	1746.5	1729.5	1720.1	1654.8
Değişim	%5.54	%4.51	%3.95	-

#### 4.1.6 ‘F’ iklim bölgesi için optimal açısı değerleri

‘F’ iklim bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ni ve Doğu Anadolu’nun güney kesimlerini içine alan bir bölgeyi kapsamaktadır. Bu bölge içerisinde 6 adet istasyon

mümkün olduğunca dengeli dağıtılarak incelenmiştir. Bölgenin oldukça yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli bulunmaktadır.

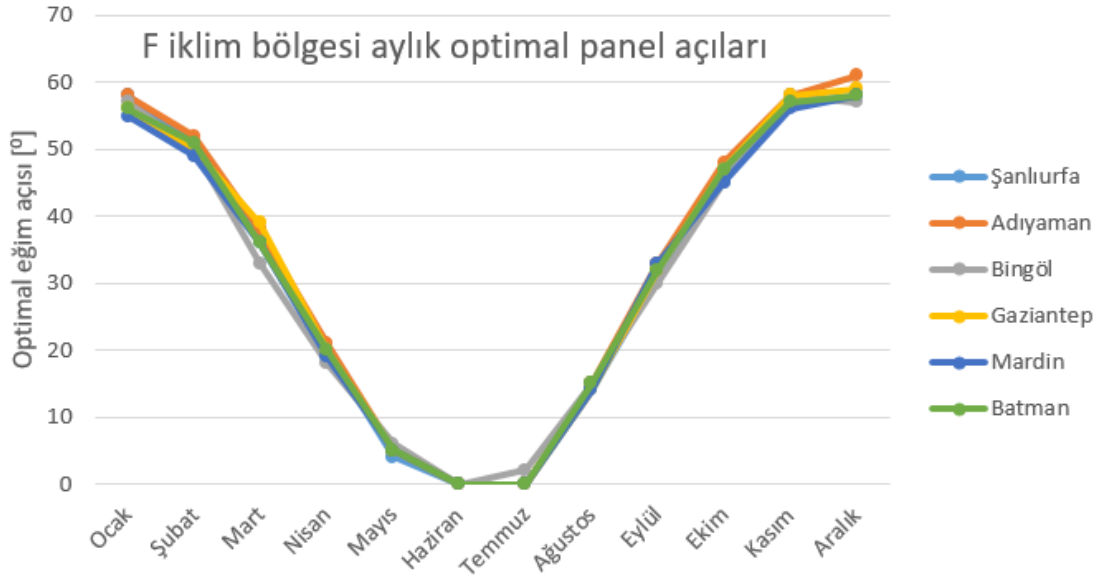
**Çizelge 4.31 :** ‘F’ iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
Adıyaman	Ocak	58	3.207
	Şubat	52	4.558
	Mart	38	5.274
	Nisan	21	6.257
	Mayıs	5	6.645
	Haziran	0	7.607
	Temmuz	0	7.674
	Ağustos	15	6.655
	Eylül	33	6.095
	Ekim	48	4.909
	Kasım	58	4.080
	Aralık	61	3.007
Bingöl	Ocak	57	2.459
	Şubat	50	3.444
	Mart	33	3.271
	Nisan	18	4.153
	Mayıs	6	5.406
	Haziran	0	6.699
	Temmuz	2	7.154
	Ağustos	15	5.662
	Eylül	30	4.573
	Ekim	45	3.449
	Kasım	58	3.388
	Aralık	57	1.966
Gaziantep	Ocak	56	2.883
	Şubat	50	4.388
	Mart	39	6.004
	Nisan	20	6.217
	Mayıs	5	6.610
	Haziran	0	7.573
	Temmuz	0	7.582
	Ağustos	14	6.589
	Eylül	32	6.014
	Ekim	47	4.986
	Kasım	58	4.230
	Aralık	59	2.938
Mardin	Ocak	55	2.615
	Şubat	49	4.002
	Mart	36	4.547
	Nisan	19	5.512
	Mayıs	5	6.345
	Haziran	0	7.103
	Temmuz	0	7.017
	Ağustos	14	6.458
	Eylül	33	6.529
	Ekim	45	4.141
	Kasım	56	3.397
	Aralık	58	2.516
Şanlıurfa	Ocak	58	3.383
	Şubat	51	4.709
	Mart	37	5.133

**Çizelge 4.31 (devam):** ‘F’ iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]	
Şanlıurfa	Nisan	20	5.816	
	Mayıs	4	6.542	
	Haziran	0	7.532	
	Temmuz	0	7.637	
	Ağustos	14	6.616	
	Eylül	31	5.901	
	Ekim	46	4.521	
	Kasım	57	3.922	
	Aralık	58	2.549	
	Batman	Ocak	56	2.486
		Şubat	51	4.071
		Mart	36	4.559
Nisan		20	5.431	
Mayıs		5	6.183	
Haziran		0	7.255	
Temmuz		0	7.256	
Ağustos		15	6.584	
Eylül		32	5.659	
Ekim		47	4.349	
Kasım		57	3.440	
Aralık		58	2.238	

6 adet istasyona ait aylık optimal panel eğim açı değerleri Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında aralarında bir uyum olduğu gözlenmektedir.



**Şekil 4.6 :** ‘F’ iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri.

Bölgenin iç taraflarında yani Doğu Anadolu Bölgesi’nin güney kesimlerinde yer alan istasyon fazla bulunmamaktadır. Bununla ilgili olarak güneş deklinasyonu ile optimal eğim açısı arasında oluşturulan regresyon model katsayıları aşağıdaki

tabloda verilmiştir. Bölgenin diğer kısımları için de bu modeller vasıtasıyla aylık optimal eğim açı değerleri belirlenebilecektir.

**Çizelge 4.32 :** ‘F’ iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açı regresyon model katsayıları.

	a	b	c ( $\times 10^{-2}$ )	d ( $\times 10^{-5}$ )	e ( $\times 10^{-6}$ )
Doğrusal	31.616	-1.318			
2. derece	34.004	-1.317	-0.895		
3. derece	33.995	-1.448	-0.895	32.464	
4. derece	34.075	-1.448	-1.015	32.414	2.223

Mevsimsel olarak optimal panel açı değerlendirmesi yapıldığında ise Çizelge 4.33’deki sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Genel olarak birbirine yakın olan değerlerde Bingöl için ilkbahar ayında biraz daha fazla sapma görülmektedir. Bu durum Şekil 4.6’da görülmektedir.

**Çizelge 4.33 :** ‘F’ iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açı değerleri.

Mevsim	Adıyaman	Bingöl	Gaziantep	Mardin	Şanlıurfa	Batman
Kış	56	54	55	53	55	54
İlkbahar	21	17	22	19	20	20
Yaz	4	5	3	4	3	5
Sonbahar	45	43	44	42	43	43

Yarı yıllık yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen cevaplar Çizelge 4.34’de verilmiş olup, yukarıda belirtilen Bingöl’ün ilkbaharda görülen sapma değeri burada da mevcuttur.

**Çizelge 4.34 :** ‘F’ iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açı değerleri.

Dönem	Adıyaman	Bingöl	Gaziantep	Mardin	Şanlıurfa	Batman
Kış- Sonbahar	49	48	48	46	48	47
İlkbahar- Yaz	12	10	12	11	11	11

Yukarıda belirtilen regresyon modellerinin bölgedeki diğer lokasyonlara uygulama imkanının yanı sıra tüm istasyonları değerlendirip çeşitli durumlar için elde edilen optimum eğim açı değerleri Çizelge 4.35’de verilmiştir.

Çizelge 4.36’da ise, istasyonların aylık, mevsimsel, yarı yıllık ve yıllık güneş radyasyon verilerinden yola çıkılarak yıllık  $m^2$ ’ye düşen güneş radyasyon miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen cevaplara göre şimdiye kadar incelenen iklim bölgeleri

içinde en yüksek güneş radyasyon yoğunluğu değerine sahip olan iklim bölgesinin ‘F’ olduğu görülmektedir. Ayrıca panellerin aylık olarak optimal açı değerleri ayarlanarak konumlandırılması halinde sabit açılı sisteme göre %5’in üzerinde bir fayda sağladığı, mevsimsel ve yarı yıllık senaryolarda da bu oranların sırasıyla %4.16 ve %3.62 olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.35 :** ‘F’ iklim bölgesi için optimal panel eğim açı değerlendirmesi.

Aylık	$s^{opt}$	Mevsimlik	$s^{opt}$	Yarı Yıllık	$s^{opt}$	Yıllık
Ocak	57	Kış	54	K-S	48	26
Şubat	50	İlkbahar	20	İ-Y	11	
Mart	37	Yaz	4			
Nisan	20	Sonbahar	43			
Mayıs	5					
Haziran	0					
Temmuz	0					
Ağustos	15					
Eylül	32					
Ekim	46					
Kasım	57					
Aralık	59					

**Çizelge 4.36 :** ‘F’ iklim bölgesi için  $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon [ $kWh/m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yarı Yıllık	Yıllık
( $kWh/m^2$ -yıl)	1837.5	1819.6	1810.1	1746.9
Değişim	%5.19	%4.16	%3.62	-

#### 4.1.7 ‘G’ iklim bölgesi için optimal açı değerleri

İncelenen son bölgesi olan ‘G’ iklim bölgesi, Akdeniz’in kıyı kesimlerini içine almaktadır. Bölge, 6 adet ölçüm istasyon verisiyle incelenmiştir. Yapılan hesaplar sonucunda elde edilen optimal eğimli yüzeye düşen güneş radyasyon miktarı ve optimal eğim açısı Çizelge 4.37’de verilmiştir.

**Çizelge 4.37 :** ‘G’ iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [ $kWh/m^2$ -gün]
Adana	Ocak	55	2.650
	Şubat	49	3.843
	Mart	36	4.667
	Nisan	19	5.524
	Mayıs	4	5.909
	Haziran	0	6.496

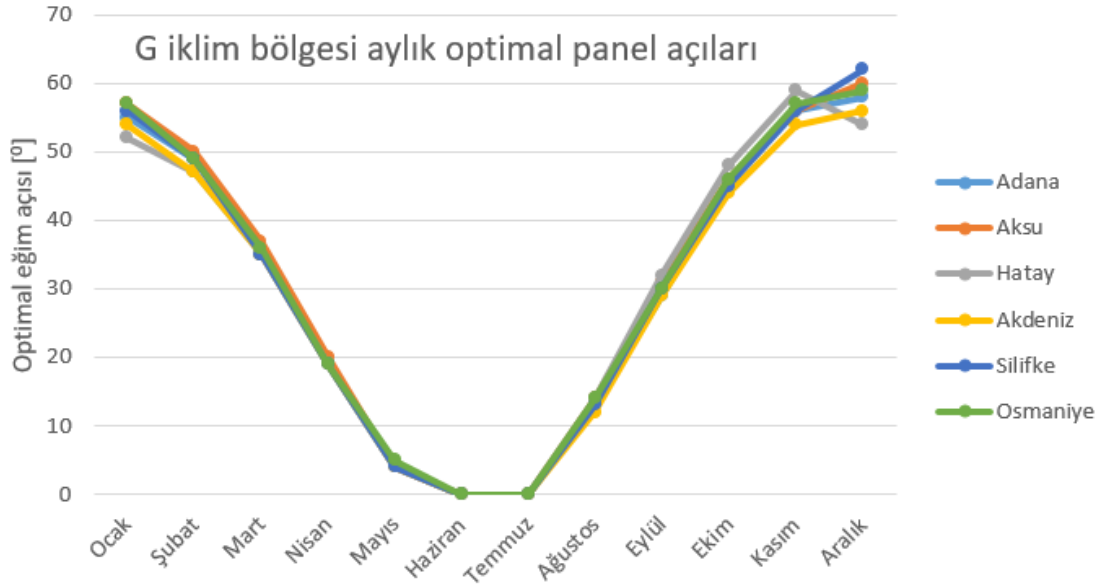
**Çizelge 4.37 (devam):** ‘G’ iklim bölgesi için TARBİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
Adana	Temmuz	0	6.537
	Ağustos	13	5.628
	Eylül	29	4.939
	Ekim	45	4.047
	Kasım	56	3.578
	Aralık	58	2.448
Aksu (Antalya)	Ocak	57	3.076
	Şubat	50	4.312
	Mart	37	5.138
	Nisan	20	5.852
	Mayıs	4	6.101
	Haziran	0	6.695
	Temmuz	0	7.007
	Ağustos	14	6.113
	Eylül	31	5.513
	Ekim	46	4.618
	Kasım	56	3.612
	Aralık	60	3.263
Hatay	Ocak	52	2.180
	Şubat	47	3.457
	Mart	35	4.565
	Nisan	19	5.919
	Mayıs	4	6.452
	Haziran	0	7.256
	Temmuz	0	7.174
	Ağustos	14	7.068
	Eylül	32	6.443
	Ekim	48	5.649
	Kasım	59	5.015
	Aralık	54	2.055
Akdeniz (Mersin)	Ocak	54	2.334
	Şubat	47	3.398
	Mart	35	4.487
	Nisan	19	5.340
	Mayıs	4	5.491
	Haziran	0	6.130
	Temmuz	0	6.199
	Ağustos	12	5.059
	Eylül	29	4.904
	Ekim	44	3.806
	Kasım	54	2.967
	Aralık	56	2.134
Silifke (Mersin)	Ocak	56	2.921
	Şubat	49	4.315
	Mart	35	4.582
	Nisan	19	5.679
	Mayıs	4	6.109
	Haziran	0	6.996
	Temmuz	0	7.002
	Ağustos	13	6.183
	Eylül	30	5.576
	Ekim	45	4.361
	Kasım	56	3.817
	Aralık	62	4.125
Osmaniye	Ocak	57	2.945
	Şubat	49	3.929

**Çizelge 4.37 (devam):** ‘G’ iklim bölgesi için TARBIİL istasyon verilerine göre aylık optimal açı değerleri ve optimal eğim açısındaki radyasyon değerleri.

Lokasyon	Aylar	Optimal Açı [°]	$H_T$ [kWh/m <sup>2</sup> -gün]
Osmaniye	Mart	36	4.578
	Nisan	19	5.272
	Mayıs	5	5.785
	Haziran	0	6.301
	Temmuz	0	6.617
	Ağustos	14	5.764
	Eylül	30	4.989
	Ekim	46	4.455
	Kasım	57	3.776
	Aralık	59	2.683

Elde edilen aylık optimal eğim açı değerlerinin grafik üzerinde gösterimi ise Şekil 4.7’de verilmiştir. Sonbahar ve kış aylarında meydana gelen farklılıkların nedeni olarak ilgili aylarda gökyüzünün bulutluluk oranının daha fazla olması görülebilir.



**Şekil 4.7 :** ‘G’ iklim bölgesine ait aylık optimal panel eğim açısı değerleri.

İklim bölgesinde yer alan diğer lokasyonların da aylık optimal eğim açı değerlerini belirlemesi için yapılan regresyon modellerine ait katsayılar aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 4.38 :** ‘G’ iklim bölgesi için deklinasyon açısına bağlı optimal panel eğim açı regresyon model katsayıları.

	a	b	c ( $\times 10^{-2}$ )	d ( $\times 10^{-5}$ )	e ( $\times 10^{-6}$ )
Doğrusal	30.726	-1.303			
2. derece	32.738	-1.302	-0.753		
3. derece	32.730	-1.431	-0.754	31.987	
4. derece	33.096	-1.430	-1.304	31.757	10.240

Çizelge 4.39’da ise mevsimsel olarak ilgili TARBİL ölçüm istasyonlarına ait optimal panel eğim açısı değerleri verilmiştir. İlkbahar yaz dönemlerinde gökyüzünün açık olmasından dolayı optimal değerlerde herhangi bir büyük sapma görülmezken, sonbahar ve kış aylarında sapma miktarının bazı ölçüm istasyonlarında biraz daha fazla olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.39 :** ‘G’ iklim bölgesi için mevsimsel optimal panel eğim açısı değerleri.

Mevsim	Adana	Aksu	Hatay	Akdeniz	Silifke	Osmaniye
Kış	53	55	50	51	56	54
İlkbahar	19	20	18	19	19	19
Yaz	3	3	4	3	3	4
Sonbahar	42	43	45	40	42	44

Aşağıdaki çizelgede ise şimdiye kadar yapılan, ‘G’ iklim bölgesine ait yarı yıllık optimal eğim açısı değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.40 :** ‘G’ iklim bölgesi için yarı yıllık optimal panel eğim açısı değerleri.

Dönem	Adana	Aksu	Hatay	Akdeniz	Silifke	Osmaniye
Kış- Sonbahar	47	48	47	45	49	48
İlkbahar- Yaz	11	12	10	11	10	11

Çizelge 4.41’de ‘G’ iklim bölgesine ait genel değerlendirme sunulmuş olup, yıllık sabit açılı optimal panel eğim açısı değeri 26° olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.41 :** ‘G’ iklim bölgesi için optimal panel eğim açısı değerlendirmesi.

Aylık	$s^{opt}$	Mevsimlik	$s^{opt}$	Yarı Yıllık	$s^{opt}$	Yıllık
Ocak	55	Kış	54	K-S	47	26
Şubat	49	İlkbahar	19	İ-Y	11	
Mart	36	Yaz	3			
Nisan	19	Sonbahar	43			
Mayıs	4					
Haziran	0					
Temmuz	0					
Ağustos	13					
Eylül	30					
Ekim	46					
Kasım	57					
Aralık	59					

Şimdiye kadar hesaplanan optimal eğim açısı değerlerinde, yıllık olarak  $m^2$ 'ye ne kadar miktarda güneş radyasyon yoğunluğuna sahip olunacağı sorusuna cevabı ise Çizelge 4.42'de bulabilmekteyiz.

Yapılan değerlendirmede, aylık açısı değişiminin %5'lik getirisi, diğer senaryoların da yaklaşık olarak %4 ve %3.5 oranında getirisi olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.42 :** 'G' iklim bölgesi için  $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon [ $kWh/m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yarı Yıllık	Yıllık
( $kWh/m^2$ -yıl)	1758.7	1741.9	1733.1	1673.5
Değişim	%5.09	%4.09	%3.56	-

#### 4.2 Türkiye İçin Optimal Panel Eğim Açısı Değerlerinin Belirlenmesi

Şu an gelinen noktaya kadar, Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için aylık, mevsimlik, yarı yıllık ve yıllık olarak optimal panel eğim açısı değerleri belirlenmiş ve bu senaryolara bağlı olarak  $m^2$ 'ye düşen enerji yoğunluğunu değerleri hesaplanıp sabit açılı sisteme göre karşılaştırmaları yapılmıştır. Burada ise, tüm istasyonlar tek bir bölgedeymiş gibi düşünülerek Türkiye için genel bir optimal eğim açısı değerlendirmesi yapılacaktır. Çizelge 4.43'de sözü edilen değerlendirmeye ait sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 4.43 :** Türkiye için optimal panel eğim açısı değerlendirmesi.

Aylık	$s^{opt}$	Mevsimlik	$s^{opt}$	Yarı Yıllık	$s^{opt}$	Yıllık
Ocak	58	Kış	55	K-S	49	27
Şubat	51	İlkbahar	20	İ-Y	12	
Mart	37	Yaz	5			
Nisan	21	Sonbahar	43			
Mayıs	6					
Haziran	0					
Temmuz	2					
Ağustos	15					
Eylül	32					
Ekim	46					
Kasım	58					
Aralık	60					

Sonuçlara göre aylık optimal eğim açısı değerlerinin diğer iklim bölgeleriyle uyumlu değerlere sahip olduğu görülmektedir, 'C ve E' iklim bölgelerine ait eğim açısı değerlerinde ise sonbahar ve kış aylarında diğerlerine oranla daha fazla sapma

meydana gelmektedir, bunun nedeni olarak da bölgedeki bulutluluk oranı gösterilebilir. Aynı şekilde mevsimlik ve yarı yıllık eğim açısı değerlerinde de ilkbahar-yaz aylarında daha az olan sapmalar sonbahar-kış dönemlerinde artmaktadır. Genel olarak bakıldığında ise elde edilen bu rakamlar bizlere genel anlamda optimal eğim açıları konusunda bilgi vermektedir.

**Çizelge 4.44 :** Türkiye geneli için  $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon [kWh/ $m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yarı Yıllık	Yıllık
(kWh/ $m^2$ -yıl)	1493.9	1479.9	1472.3	1423
Değişim	%4.98	%4.0	%3.51	-

Türkiye geneli için  $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon miktarları değerlendirildiğinde aylık eğim açısı değişimlerinde sabit açılı duruma göre yaklaşık %5 daha fazla güneş radyasyonu düştüğü belirlenmiştir. Mevsimlik ve yarı yıllık senaryolarda ise bu durum sırasıyla %4 ve %3.51'dir. Elde edilen bu sonuçlar diğer iklim bölgelerindeki sonuçlarla uyum içindedir.

### 4.3 İstatistiksel Yöntemler

Bölüm 4.1 başlığı altında incelenen iklim bölgeleri için ve Bölüm 4.2'de Türkiye geneli için elde edilen, simülasyon faaliyetlerinde kullanılacak veya iklim bölgelerinin diğer lokasyonlarında kullanılacak regresyon modellerinin istatistiksel olarak karşılaştırmalarının yapılması için belirli hata indeksleri kullanılmıştır. Kullanılan indeksler; ortalama sistematik hata (Mean Bias Error-MBE), ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error-MAE), hatanın karesinin ortalamasının karekökü (Root Mean Square Error-RMSE) ve  $R^2$  testidir. MBE uzun süreli performans hakkında bilgi veren bir yöntemdir, pozitif değerleri tahminin üzerinde olduğunu, negatif değerler ise tahminin altında olduğunu ifade etmektedir. RMSE kısa süreli performans kriteri olup daima pozitif değerler alır. Sıfıra ne kadar yakınsa performansı o kadar iyi anlamını taşımaktadır.  $R^2$  testi ise ölçüm ile tahmin edilen değerlerin arasındaki lineer ilişkiyi belirlemede önemlidir. 0-1 arasında değerler almaktadır ve 1 değeri en iyi performansı ifade eder.

Ayrıca MBE ve MAE için normalize hata değerleri de hesaplanmıştır. Normalize hata değerleri hesaplanırken ise birbirinden farklı olarak ölçümün aralığı ve ortalaması değerleri kullanılmaktadır. Bunun nedeni iki farklı yöntemde kullanıldığı

duruma göre anlam kazanmaktadır. Örneğin; pozitif ve negatif değerleri barındıran bir veri setinde normalizasyon işlemi ölçümün ortalaması üzerinden yapılırsa anlamsız bir analiz olmaktadır. Bunun yanında, belirli bir değer çevresinde ufak salınımlar yapan bir sinyalin hatası hesaplandığında normalizasyon işlemini ölçümün ortalaması üzerinden yapmak daha anlamlı olabilmektedir. Çalışmadaki veri kümesi iki durumda anlamlı cevaplar vermektedir. Bu çalışmada ise ölçümün aralığı kullanılarak yapılan normalizasyon hesabı yapılmıştır. Kullanılan hata indekslerin matematiksel tanımları aşağıda verilmiştir.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_h - x_o) \quad (4.5)$$

$$nMBE = \frac{MBE}{\max(x_o) - \min(x_o)} \quad (4.6)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_h - x_o| \quad (4.7)$$

$$nMAE = \frac{MAE}{\max(x_o) - \min(x_o)} \quad (4.8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_h - x_o)^2} \quad (4.9)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_h - x_o)^2}{\sum_{i=1}^n (x_o - \bar{x}_o)^2} \quad (4.10)$$

Yukarıda verilen hata performans kriterlerine göre, hesaplanan optimal açı değerleri ve optimal açı tahmini için oluşturulan regresyon modellerine ilişkin hata cevapları Ek C’de verilmiştir.

Hata sonuçlarına göre bulutluluk oranı az olan bölgelerin optimal eğim açı kestirimi daha hassas olarak yapılabilmektedir.  $R^2$  değerlerine bakarak bunları kolayca görebilmekteyiz. Fakat tüm regresyon modelleri sonucunda elde edilen değerler oldukça düşük hata değerlerine sahiptir ve uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilirler.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, ilk olarak [9]'da Türkiye için kümeleme yöntemiyle yapılan çalışmanın çıktısı olan Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri haritası, ilgili çalışmadaki enlem boylam bilgileri ve ayrıca illerin sınırları göz önünde tutularak renklendirilmiştir. Daha sonrasında güneş radyasyon verilerinin alındığı TARBİL ölçüm istasyonlarının koordinatlarıyla referans çalışmadaki [9] koordinatlar birlikte değerlendirilerek Türkiye genelinde 43 adet TARBİL istasyonu belirlenmiştir. Bu istasyon verileri de işlenerek aylık ortalama günlük güneş radyasyon verileri çıkarılmıştır. Elde edilen veriler, yatay düzlem üzerine düşen güneş radyasyonu değerlerini içerdiğinden, eğimli yüzeylerdeki güneş radyasyonu hesapları Bölüm 2'de verilen denklemler kullanılarak yapılmış ve aylık olarak optimum açı değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler istasyon tabanlı olup, genel olarak iklim bölgesini temsil etmesi açısından güneşin deklinasyonuna bağlı lineer, 2. derece, 3. derece ve 4. derece polinomlardan oluşan regresyon modelleri önerilmiştir. Bunların dışında mevsimlik, yarı yıllık ve yıllık olarak da optimal eğim açı değerleri belirlenmiştir.

Türkiye için yıllık senaryoda optimal sabit eğim açısı  $27^{\circ}$  belirlenmiştir, diğer iklim bölgeleri de bu değerlerden birkaç derece farkla optimum sabit açı değerlerine sahiptir. Zaten optimum değer bir iki derece gibi değişimleri optimum noktada çok büyük değişimlere yol açmamaktadır. Gerçek bir uygulamada da bunu düşündüğümüzde eğer ki eğim açısı değişimini yapacak makine değil de bir insansa, bu denli küçük farkların olması kaçınılmazdır. Aynı şekilde mevsimsel olarak değerlendirmede kış, ilkbahar, yaz, sonbahar mevsimleri için belirlenen eğim açıları sırasıyla {55,20,5,43} olmuştur. Diğer iklim bölgeleri de aynı şekilde ufak sapmalarla bu değerler etrafındadır. Yarı yıllık eğim açısı değerleri ise soğuk aylar için 49, sıcak aylar için ise 12 derece olarak belirlenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlarla literatürde bazı lokasyonlar için yapılan diğer çalışmaların sonuçlarının da büyük oranlarda benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Örneğin; İzmir ili için [5] ve [23]'de yapılan çalışmaların sonuçlarıyla bu çalışmadaki aylık optimal eğim açısı değerlendirmesi Şekil 5.1'de verilmiştir.



**Şekil 5.1 :** İzmir iline ait aylık optimal eğim açısının literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması.

Öte yandan Ankara iline ait aylık optimal panel eğim açısı değerlendirmesinde [5]'de yapılan çalışma sonucu ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında Çizelge 5.1'deki sonuçlar elde edilmektedir. Yukarıda verilen İzmir ili için ve aşağıdaki çizelgede verilen Ankara ili için literatür verileriyle oldukça uyumlu cevaplar elde edilmiştir. Arada oluşan ufak farklar ise kullanılan verilerin aynı olmamasından kaynaklanmaktadır.

**Çizelge 5.1 :** Ankara iline ait aylık optimal eğim açısının [5]'te elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ankara (Haymana)	59	52	38	22	7	0	2	16	33	48	58	60
Ref. [5]	59	51	38	20	6	0	2	16	33	49	58	60

Farklı iklim bölgeleri için oluşturulan regresyon modelleri cevaplarına bakıldığında ise hemen hemen hepsi optimal panel eğim açısı değerini hassas bir şekilde vermektedir. Lakin bulutluluk oranı yüksek bölgelerde ise sapmalar biraz daha fazla olmaktadır. Optimal açı değerlerinde bir iki derecelik oynamanın panel üzerine düşen güneş radyasyonu miktarında önemli değişimlere yol açmadığı düşünüldüğünde, lineer modellerin de rahatlıkla kullanılacağı söylenebilir.

Optimal eğim açı değerlerinin bulunmasının ardından ilgili senaryolar altında yıllık olarak  $m^2$ 'ye düşen güneş radyasyon miktarları hesaplanmış ve sabit açılı sisteme göre değişimleri bölgeler bazında verilmiştir. Bu sonuçlara göre, aylık optimal eğim açısı değişiminin yıllık sabit açılı duruma göre ortalama %5'lik bir artış getirdiği belirlenmiştir. Mevsimsel ve yarı yıllık senaryolarda ise bu yüzdeler ortalama olarak sırasıyla %4 ve %3.5 civarlarındadır. Çizelge 5.2'de iklim bölgeleri ve Türkiye geneli için  $m^2$ 'ye düşen güneş radyasyon miktarları ve sabit açılı sisteme göre değişimleri toplu bir şekilde verilmiştir.

**Çizelge 5.2 :** Türkiye geneli ve farklı iklim bölgeleri için  $m^2$ 'ye düşen yıllık ortalama güneş radyasyon [ $kWh/m^2$ -yıl] ve yıllık sabit açılı duruma göre değişimleri.

	Aylık	Mevsimlik	Yarı Yıllık	Yıllık
'A'	1513.1	1500.4	1491.4	1449.2
Değişim	%4.41	%3.53	%2.91	-
'B'	1770.4	1753.6	1744.2	1682.5
Değişim	%5.22	%4.23	%3.67	-
'C'	1274.2	1264.0	1257.8	1228.2
Değişim	%3.75	%2.91	%2.41	-
'D'	1686.3	1670.9	1662.7	1604.1
Değişim	%5.12	%4.16	%3.65	-
'E'	1746.5	1729.5	1720.1	1654.8
Değişim	%5.54	%4.51	%3.95	-
'F'	1837.5	1819.6	1810.1	1746.9
Değişim	%5.19	%4.16	%3.62	-
'G'	1758.7	1741.9	1733.1	1673.5
Değişim	%5.09	%4.09	%3.56	-
Türkiye Genel	1493.9	1479.9	1472.3	1423
Değişim	%4.98	%4.0	%3.51	-

Yukarıdaki çizelgeden de görüldüğü üzere iklim bölgeleri için incelenen aylık, mevsimlik ve yarı yıllık senaryolarda sabit açılı duruma göre güneş radyasyon değerlerinin değişimlerinde birbirine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sadece 'C' iklim bölgesindeki değişimler diğerlerine oranla daha azdır, bunun nedeni ise bulutlu günlerin diğer bölgelere oranla daha fazla olmasıdır.

Güneş panel verimlerinin artırılması için araştırma geliştirme faaliyetleri halen devam etmekte iken sistemlerin enerji çıktısını az bir oranda bile olsa arttırabilmek oldukça önemlidir. 1 MW kurulu güce sahip santrallerin yıllık olarak 1 GWh'in üzerinde üretim yaptığını düşündüğümüzde bu oranların kayda değer getirilerinin olacağı görülmektedir.

Sistemleri açıları ayarlanabilir duruma getirmek ise mevcut sistemler için pek mümkün olmayıp gelecekte yapılacak projelere uygulanabilir olabilirler. Bunun için gerekli fizibilite çalışmaları sonucunda yatırımcı, bu durumun uygulanabilir olup olmadığı konusunda karar verebilecektir.

Gelecek çalışmalarda, iklimsel olarak yağış, rüzgar ve nem faktörlerinin güneş radyasyonu üzerindeki etkileri, ölçüm yapılan istasyonların rakımlarının ölçülen güneş radyasyonu üzerindeki etkileri, optimal eğim açısında yapılan üretimin şebekeye bağlı olmayan (off-grid) sistemlerdeki depolama optimizasyonu üzerindeki etkileri, Türkiye özelinde pek fazla çalışma yapılmayan güneşi takip eden sistemler üzerine de bir verimlilik analizi ve tekno-ekonomik faaliyetler üzerine araştırmalar yapılması planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <<https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>>, alınma tarihi 12.08.2018.
- [2] **Url-2** <<https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2017-06/10Y%C4%B1ll%C4%B1kTalepTahminleriRaporu2016%282%29.pdf>>, alınma tarihi 21.07.2018.
- [3] **Url-3** <<https://yearbook.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html>>, alınma tarihi 16.08.2018.
- [4] **Url-4** <<https://yearbook.enerdata.net/renewables/wind-solar-share-electricity-production.html>>, alınma tarihi 16.08.2018.
- [5] **Bakırcı, K.** (2012). General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, 6149-6159.
- [6] **Chow, T. T. ve Chan, A. L. S.** (2004). Numerical study of desirable solar-collector orientations for the coastal region of South China, *Applied Energy*, **79(3)**, 249-260.
- [7] **Yadav, A. K. ve Chandel, S. S.** (2013). Tilt angle optimization to maximize incident solar radiation: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **23**, 503-5013.
- [8] **Chen, Y. M., Lee, C. H. ve Wu, H. C.** (2005). Calculation of the optimum installation angle for fixed solar-cell panels based on the genetic algorithm and the simulated-annealing method, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **20(2)**, 467-473.
- [9] **Ünal, Y., Kindap, T. ve Karaca, M.** (2003). Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis, *International Journal of Climatology*, **23**, 1045-1055.
- [10] **Benghanem, M.** (2011). Optimization of tilt angle for solar panel: case study for Madinah, Saudi Arabia, *Applied Energy*, **88(4)**, 1427-1433.
- [11] **Iqbal, M.** (1979). Optimum collector slope for residential heating in adverse climates, *Solar Energy*, **22(1)**, 77-79.
- [12] **Elminir, H. K., Ghitas, A. E., El-Hussainy, F., Hamid, R., Beheary, M. M. ve Abdel-Moneim, K. M.** (2006). Optimum solar flat-plate collector slope: case study for Helwan, *Energy Conversion and Management*, **47**, 624-637.
- [13] **El-Kassaby, M. M.** (1994). Investigation of a variable tilt angle Australian type solar collector, *Renewable Energy*, **4(3)**, 327-332.
- [14] **Mehlerli, E. D., Zervas, P. L., Sarimveis, H., Palyvos, J. A. ve Markatos, N. C.** (2010). Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays, *Renewable Energy*, **35(11)**, 2468-2475.

- [15] **Doğan, İ.** (1995). Optimum tilt-angle for solar collectors used in Cyprus, *Renewable Energy*, **6(7)**, 813-819.
- [16] **Gopinathan, K. K.** (1991). Solar radiation on variously oriented sloping surfaces, *Solar Energy*, **47(3)**, 173-179.
- [17] **Yakup, M. A. M. ve Malik, A. Q.** (2001). Optimum tilt-angle and orientation for solar collector in Brunei, Darussalam, *Renewable Energy*, **24**, 223-234.
- [18] **Soulayman, S. S.** (1991). On the optimum tilt of solar absorber plates, *Renewable Energy*, **1(3)**, 551-554.
- [19] **Morcos, V. H.** (1994). Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Assiut, Egypt, *Renewable Energy*, **4(3)**, 291-298.
- [20] **Moghadam, H., Tabrizi, F. F. ve Sharak, A. Z.** (2011). Optimization of solar flat collector inclination, *Desalination*, **265(1-3)**, 107-111.
- [21] **Bakırcı, K.** (2012). Correlations for optimum tilt angles of solar collectors: a case study in Erzurum, Turkey, *Energy Sources Part A*, **34(11)**, 983-993.
- [22] **Tang, R. ve Wu, T.** (2004). Optimum tilt-angles for solar collectors used in China, *Applied Energy*, **79**, 239-248.
- [23] **Ülgen, K.** (2006). Optimum tilt angle for solar collectors, *Energy Sources Part A*, **28**, 1171-1180.
- [24] **Bari, S.** (2000). Optimum slope angle and orientation of solar collectors for different periods of possible utilization, *Energy Conversion and Management*, **41(8)**, 855-860.
- [25] **Kacira, M., Şimşek, M., Babür, Y. ve Demirkol, S.** (2004). Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Şanlıurfa, *Renewable Energy*, **29**, 1265-1275.
- [26] **Le Roux, W. G.** (2016). Optimum tilt and azimuth angles for fixed solar collectors in South Africa using measured data, *Renewable Energy*, **96**, 603-612.
- [27] **Günerhan, H. ve Hepbaşlı, A.** (2007). Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications, *Building and Environment*, **42**, 779-783.
- [28] **Jafarkazemi, F. ve Saadabadi, S. A.** (2013). Optimum tilt angle and orientation of solar surfaces in Abu Dhabi, UAE, *Renewable Energy*, **56**, 44-49.
- [29] **Kaldellis, J. ve Zafirakis, D.** (2012). Experimental investigation of the optimum photovoltaic panels tilt angle during the summer period, *Energy*, **38(1)**, 305-314.
- [30] **Khahro, S. F., Tabassum, K., Talpur, S., Alvi MBux, Liao, X. ve Dong, L.** (2015). Evaluation of solar energy resources by establishing empirical models for diffuse solar radiation on tilted surface and analysis for optimum tilt angle for a prospective location in Southern Region Sindh, Pakistan, *Electrical Power and Energy Systems*, **64**, 1073-1080.

- [31] **Hartner, M., Ortner, A., Hiesl, A. ve Haas, R.** (2015). East to west – the optimal tilt angle and orientation of photovoltaic panels from an electricity system perspective, *Applied Energy*, **160**, 94-107.
- [32] **Chang, Y.** (2010). Optimal the tilt angles for photovoltaic modules in Taiwan, *Electrical Power Energy Systems*, **32**, 956-964.
- [33] **Khorasanizadeh, H., Mohammadi, K. ve Mostafaeipour, A.** (2014). Establishing a diffuse solar radiation model for determining the optimum tilt angle of solar surfaces in Tabass, Iran, *Energy Conversion and Management*, **78**, 805-814.
- [34] **Despotovic, M. ve Nedic, V.** (2015). Comparison of optimum tilt angles of solar collectors determined at yearly, seasonal and monthly levels, *Energy Conversion and Management*, **97**, 121-131.
- [35] **Al Garni, H. Z., Awasthi, A. ve Wright, D.** (2019). Optimal orientation angles for maximizing energy yield for solar PV in Saudi Arabia, *Renewable Energy*, **133**, 538-550.
- [36] **Danandeh, M. A. ve Mousavi, G. S. M.** (2018). Solar irradiance estimation models and optimum tilt angle approaches: a comparative study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **92**, 319-330.
- [37] **Masters, G. M.** (2004). *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. New Jersey, John Wiley & Sons.
- [38] **Liu, B. Y. H. ve Jordan, R. C.** (1962). Daily insolation on surface tilted toward the equator, *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, **67**, 526-541.
- [39] **Page, J. K.** (1961). The estimate of monthly mean values of daily total short-wave radiation on vertical and inclined surface from sunshine records for latitude 40°N-40°S. *Proceedings of the UN Conference on New Sources of Energy*, (pp.378-390).
- [40] **Url-5** < <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojisozlugu.aspx?m=U&k=aa33> >, alınma tarihi 22.08.2018.
- [41] **Howell, J. R., Bannerot, R. B. ve Vliet, G. C.** (1982). *Solar-Thermal Energy Systems Analysis and Design*. New York, McGraw-Hill Inc.
- [42] **Klein, S. A.** (1977). Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces, *Solar Energy*, **19**, 325-329.
- [43] **Liu, B. Y. H. ve Jordan, R. C.** (1960). The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation, *Solar Energy*, **4(3)**, 1-19.
- [44] **Erinç, S.** (1996). *Klimatoloji ve metodları*. İstanbul, Alfa Basım Yayım.
- [45] **Bakırcı, K.** (2009). Models of solar radiation with hours of bright sunshine: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**, 2580-2588.



## **EKLER**

**EK A:** İstasyon enlem, boylam ve rakım bilgileri.

**EK B:** TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.

**EK C:** Regresyon modellerine ilişkin hata sonuçları.



**EK A**

**Çizelge A.1 : [9]'da kullanılan meteoroloji istasyonlarına ait enlem, boylam ve rakım bilgileri.**

İstasyon	Enlem	Boylam	Rakım	İstasyon	Enlem	Boylam	Rakım
Bandırma	27.58	40.21	58	Diyarbakır	40.14	37.54	677
Bursa	29.04	40.11	100	İslahiye	36.38	37.02	518
Balıkesir	27.53	39.38	3	Bingöl	40.29	38.53	1177
Dikili	26.53	39.04	3	Adıyaman	38.17	37.45	672
Akhisar	27.51	38.55	93	Hakkari	43.44	37.35	1728
Manisa	27.26	38.37	71	Kilis	37.07	36.43	638
Uşak	29.24	38.41	919	Batman	41.07	37.53	540
İzmir	27.10	38.26	25	Ergani	39.46	38.17	1000
Aydın	27.51	37.51	57	Nusaybin	41.13	37.14	500
Bodrum	27.06	37.03	27	Erzincan	39.30	39.45	1215
Muğla	28.22	37.13	646	Erzurum	41.16	39.55	1869
Fethiye	29.07	36.37	3	Ağrı	43.03	39.43	1632
Kütahya	29.58	39.25	969	Van	43.23	38.30	1725
Çanakkale	40.09	26.25	6	Kars	43.06	40.37	1775
Denizli	37.47	29.05	426	Iğdır	44.03	39.55	858
Finike	30.42	36.53	3	Ardahan	42.43	41.07	1829
Edremit	27.01	39.36	21	Bayburt	40.14	40.15	1584
Simav	28.59	39.05	809	Bolu	31.31	40.44	742
Ödemiş	27.58	38.14	118	Kastamonu	33.47	41.12	799
Nazilli	28.19	37.55	60	Merzifon	35.20	40.52	755
Elmalı	29.55	36.45	1095	Çorum	34.57	40.33	837
Çeşme	26.18	38.19	5	Sivas	37.01	39.45	1285
Keles	29.04	39.55	1063	Bilecik	29.59	40.09	526
Selçuk	27.22	37.57	17	Yozgat	34.48	39.49	1298
Edirne	26.34	41.40	48	Afyon	30.32	38.45	1034
Tekirdağ	27.33	40.59	3	Kayseri	35.29	38.44	1068
Kireçburnu	29.03	41.10	56	Burdur	30.17	37.43	967
Göztepe	29.05	40.58	33	Isparta	30.33	37.46	997
Kocaeli	29.56	40.47	76	Konya	32.29	37.52	1026
Lüleburgaz	27.21	41.24	46	Niğde	34.41	37.58	1208
Şile	30.25	40.47	83	Eskişehir	30.31	39.49	801
Florya	28.45	40.59	36	Ankara	32.53	39.57	890
Kırklareli	27.14	41.44	232	Çankırı	33.37	40.36	751
Çorlu	27.48	41.10	183	Amasya	35.50	40.39	415
Kumköy	29.02	41.15	30	Tokat	36.34	40.18	608
Sakarya	30.25	40.47	31	Esenboğa	33.00	40.08	949
Kartal	29.11	40.54	28	Kırşehir	34.10	39.09	1007
Yalova	29.16	40.39	4	Nevşehir	34.40	38.35	1260
Anamur	32.50	36.05	5	Kızılcahamam	32.39	40.28	1033
Mersin	34.36	36.48	3	Sivrihisar	31.32	39.27	1070
Adana	35.20	37.00	20	Akşehir	31.25	38.21	1002
İskenderun	36.10	36.25	4	Beyşehir	31.43	37.41	1129
Dört Yol	36.13	36.51	28	Ulukışla	34.29	37.33	1453
Antakya	36.10	36.12	100	Karaman	33.13	37.11	1025
Alanya	32.30	36.33	7	Ürgüp	34.55	38.38	1060
Silifke	33.56	36.23	15	Tomarza	35.29	38.44	1347
Mut	33.26	36.39	275	Zonguldak	31.48	41.27	136
Gazipaşa	32.19	36.16	21	İnebolu	33.46	41.59	64
Yumurtalık	35.47	36.46	27	Sinop	35.10	42.01	32
Karataş	35.23	36.34	22	Samsun	36.18	41.17	4
Malatya	38.19	38.21	998	Giresun	38.24	40.55	37
Elazığ	39.14	38.40	991	Trabzon	39.43	41.00	31
Siirt	41.57	37.55	896	Rize	40.31	41.02	4
Gaziantep	37.23	37.04	840	Artvin	41.49	41.11	597
Şanlıurfa	38.46	37.08	549	Hopa	41.26	41.24	33
Mardin	40.44	37.18	1080	Bozkurt	33.47	41.22	167
Amasra	32.23	41.45	73				

**Çizelge A.2 : TARBİL istasyonlarına ait enlem boylam ve rakım bilgileri.**

İstasyon	Enlem	Boylam	Rakım	İstasyon	Enlem	Boylam	Rakım
Gelibolu	40.475	26.710	83	Ereğli	37.708	34.221	1039
Edirne	41.741	26.471	140	Karatay	37.743	32.933	1006
İstanbul	40.971	29.663	215	Akşehir	38.398	31.560	991
Tekirdağ	40.969	27.472	35	Tokat	40.324	36.448	580
Kumluca	36.358	30.262	30	Aksaray	38.503	33.839	946
Bursa	40.247	28.855	97	Erzincan	39.651	39.673	1150
Ayvacık	39.562	26.130	11	Erzurum	39.348	41.831	1668
Denizli	37.934	28.954	159	Bayburt	40.349	40.258	1504
İzmir	38.565	27.052	12	Iğdır	39.980	44.032	1785
Kütahya	39.023	29.434	847	Adıyaman	37.680	38.360	605
Muğla	37.023	27.950	5	Bingöl	38.876	40.541	1028
Artvin	41.481	41.714	1786	Gaziantep	36.919	37.180	845
Giresun	41.020	38.892	10	Mardin	37.113	40.682	493
Samsun	41.558	35.867	4	Şanlıurfa	36.722	38.910	361
Sinop	41.965	35.013	120	Batman	37.955	41.132	562
Trabzon	40.887	39.967	482	Adana	37.034	35.378	66
Zonguldak	41.361	31.997	171	Aksu	36.941	30.891	11
Haymana	39.614	32.700	1056	Hatay	36.259	36.488	92
Kızılcahamam	40.336	32.749	1095	Akdeniz	36.943	34.777	111
Eskişehir	39.759	30.598	785	Silifke	36.350	33.974	100
Kayseri	38.576	35.763	1501	Osmaniye	37.297	36.005	51
Kırşehir	39.336	34.382	1130				

**EK B****Çizelge B.1 : TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.**

İstasyon	Aylar	H	H <sub>d</sub>	H <sub>0</sub>	K <sub>T</sub>
Gelibolu (Çanakkale)	Ocak	1.49	0.88	4.09	0.36
	Şubat	2.26	1.22	5.56	0.41
	Mart	3.40	1.65	7.46	0.46
	Nisan	5.18	1.97	9.46	0.55
	Mayıs	6.07	2.24	10.87	0.56
	Haziran	6.66	2.28	11.45	0.58
	Temmuz	7.05	2.01	11.15	0.63
	Ağustos	5.76	2.00	9.99	0.58
	Eylül	4.20	1.76	8.17	0.51
	Ekim	2.47	1.34	6.11	0.40
	Kasım	1.59	0.94	4.43	0.36
	Aralık	1.26	0.77	3.69	0.34
Edirne	Ocak	1.36	0.82	3.88	0.35
	Şubat	2.26	1.18	5.36	0.41
	Mart	3.40	1.61	7.30	0.47
	Nisan	4.84	2.01	9.36	0.52
	Mayıs	5.66	2.32	10.84	0.52
	Haziran	6.34	2.37	11.45	0.55
	Temmuz	7.14	1.97	11.13	0.64
	Ağustos	5.48	2.06	9.92	0.55
	Eylül	3.71	1.77	8.03	0.46
	Ekim	2.21	1.28	5.92	0.37
	Kasım	1.44	0.89	4.22	0.34
	Aralık	1.20	0.73	3.48	0.35
İstanbul	Ocak	1.36	0.84	4.01	0.34
	Şubat	2.14	1.19	5.48	0.39
	Mart	2.86	1.61	7.40	0.39
	Nisan	4.40	2.08	9.42	0.47
	Mayıs	5.43	2.36	10.86	0.50
	Haziran	5.94	2.46	11.45	0.52
	Temmuz	6.43	2.23	11.14	0.58
	Ağustos	5.00	2.16	9.96	0.50
	Eylül	3.59	1.79	8.12	0.44
	Ekim	1.87	1.21	6.03	0.31
	Kasım	1.53	0.92	4.35	0.35
	Aralık	1.05	0.71	3.61	0.29
Tekirdağ	Ocak	1.91	0.88	4.01	0.48
	Şubat	3.29	1.06	5.48	0.60
	Mart	4.20	1.50	7.40	0.57
	Nisan	4.93	2.01	9.42	0.52
	Mayıs	5.34	2.37	10.86	0.49
	Haziran	5.87	2.47	11.45	0.51
	Temmuz	6.59	2.18	11.14	0.59
	Ağustos	5.19	2.13	9.96	0.52
	Eylül	3.74	1.79	8.12	0.46
	Ekim	2.33	1.31	6.03	0.39
	Kasım	1.51	0.92	4.35	0.35
	Aralık	1.09	0.72	3.61	0.30
Kumluca (Antalya)	Ocak	2.24	1.05	4.78	0.47
	Şubat	3.40	1.29	6.19	0.55
	Mart	4.46	1.64	7.96	0.56
	Nisan	6.04	1.81	9.74	0.62
	Mayıs	6.57	2.11	10.95	0.60
	Haziran	7.33	2.01	11.41	0.64
Temmuz	7.36	1.87	11.16	0.66	

**Çizelge B.1 (devam):** TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.

İstasyon	Aylar	H	H <sub>d</sub>	H <sub>0</sub>	K <sub>r</sub>
Bursa	Ağustos	6.27	1.91	10.19	0.62
	Eylül	5.38	1.57	8.59	0.63
	Ekim	3.88	1.35	6.70	0.57
	Kasım	2.74	1.08	5.11	0.54
	Aralık	1.70	0.96	4.39	0.39
	Ocak	1.51	0.89	4.13	0.37
	Şubat	2.03	1.20	5.59	0.36
	Mart	3.23	1.66	7.49	0.43
	Nisan	4.74	2.06	9.47	0.50
	Mayıs	5.60	2.34	10.88	0.52
	Haziran	6.15	2.42	11.45	0.54
	Temmuz	6.79	2.12	11.15	0.61
Ayvacık (Çanakkale)	Ağustos	5.52	2.08	10.00	0.55
	Eylül	3.91	1.80	8.20	0.48
	Ekim	2.54	1.35	6.14	0.41
	Kasım	1.79	0.98	4.47	0.40
	Aralık	1.44	0.81	3.73	0.39
	Ocak	1.66	0.93	4.24	0.39
	Şubat	2.86	1.24	5.70	0.50
	Mart	3.97	1.62	7.58	0.52
	Nisan	5.95	1.75	9.53	0.62
	Mayıs	6.45	2.13	10.89	0.59
	Haziran	6.99	2.16	11.45	0.61
	Temmuz	7.17	1.96	11.15	0.64
Denizli	Ağustos	5.89	1.98	10.04	0.59
	Eylül	4.74	1.67	8.27	0.57
	Ekim	3.26	1.33	6.24	0.52
	Kasım	2.17	1.01	4.58	0.47
	Aralık	1.64	0.85	3.85	0.42
	Ocak	1.86	0.99	4.52	0.41
	Şubat	2.89	1.30	5.95	0.49
	Mart	3.91	1.69	7.78	0.50
	Nisan	5.45	1.97	9.64	0.57
	Mayıs	6.04	2.27	10.92	0.55
	Haziran	6.81	2.23	11.43	0.60
	Temmuz	7.26	1.92	11.16	0.65
İzmir	Ağustos	5.96	1.99	10.12	0.59
	Eylül	4.94	1.67	8.44	0.59
	Ekim	3.43	1.38	6.48	0.53
	Kasım	2.29	1.07	4.85	0.47
	Aralık	1.83	0.91	4.12	0.44
	Ocak	1.83	0.97	4.41	0.42
	Şubat	2.76	1.29	5.85	0.47
	Mart	3.89	1.67	7.70	0.51
	Nisan	5.55	1.92	9.60	0.58
	Mayıs	5.78	2.32	10.91	0.53
	Haziran	6.34	2.37	11.44	0.55
	Temmuz	6.70	2.15	11.16	0.60
Kütahya	Ağustos	5.75	2.05	10.09	0.57
	Eylül	4.54	1.76	8.37	0.54
	Ekim	3.12	1.40	6.39	0.49
	Kasım	1.84	1.03	4.74	0.39
	Aralık	1.75	0.89	4.01	0.44
	Ocak	1.86	0.96	4.33	0.43
	Şubat	2.79	1.27	5.78	0.48
	Mart	3.67	1.68	7.64	0.48

**Çizelge B.1 (devam):** TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.

İstasyon	Aylar	H	H <sub>d</sub>	H <sub>0</sub>	K <sub>T</sub>
Muğla	Nisan	4.92	2.06	9.56	0.51
	Mayıs	5.56	2.36	10.90	0.51
	Haziran	6.06	2.43	11.44	0.53
	Temmuz	6.99	2.04	11.15	0.63
	Ağustos	5.89	2.00	10.07	0.58
	Eylül	4.71	1.70	8.33	0.57
	Ekim	3.12	1.38	6.32	0.49
	Kasım	2.10	1.03	4.67	0.48
	Aralık	1.63	0.87	3.94	0.41
	Ocak	2.04	1.03	4.67	0.44
	Şubat	2.75	1.35	6.09	0.45
	Mart	3.97	1.71	7.89	0.50
Artvin	Nisan	5.67	1.94	9.70	0.58
	Mayıs	6.30	2.20	10.94	0.58
	Haziran	7.16	2.09	11.42	0.63
	Temmuz	7.31	1.90	11.16	0.65
	Ağustos	6.19	1.93	10.16	0.61
	Eylül	4.95	1.70	8.53	0.58
	Ekim	3.74	1.35	6.61	0.57
	Kasım	2.64	1.06	5.00	0.53
	Aralık	2.11	0.93	4.28	0.49
	Ocak	1.00	0.71	3.92	0.26
	Şubat	1.69	1.09	5.40	0.31
	Mart	2.70	1.58	7.33	0.37
Giresun	Nisan	3.91	2.07	9.38	0.42
	Mayıs	4.09	2.35	10.85	0.38
	Haziran	5.16	2.53	11.45	0.45
	Temmuz	5.32	2.48	11.14	0.48
	Ağustos	3.72	2.15	9.94	0.37
	Eylül	3.47	1.78	8.06	0.43
	Ekim	1.90	1.21	5.96	0.32
	Kasım	1.07	0.76	4.26	0.25
	Aralık	0.82	0.60	3.52	0.23
	Ocak	1.09	0.75	4.00	0.27
	Şubat	2.13	1.19	5.47	0.39
	Mart	3.28	1.64	7.39	0.44
Samsun	Nisan	4.47	2.07	9.42	0.47
	Mayıs	4.57	2.40	10.86	0.42
	Haziran	5.62	2.50	11.45	0.49
	Temmuz	5.08	2.46	11.14	0.46
	Ağustos	3.81	2.16	9.96	0.38
	Eylül	3.47	1.79	8.11	0.43
	Ekim	1.86	1.21	6.03	0.31
	Kasım	1.87	0.96	4.34	0.43
	Aralık	0.83	0.61	3.60	0.23
	Ocak	1.40	0.83	3.91	0.36
	Şubat	2.32	1.19	5.39	0.43
	Mart	3.30	1.62	7.32	0.45
	Nisan	4.65	2.04	9.38	0.50
	Mayıs	5.03	2.39	10.85	0.46
	Haziran	6.26	2.39	11.45	0.55
	Temmuz	6.61	2.18	11.13	0.59
	Ağustos	4.87	2.17	9.93	0.49
	Eylül	4.11	1.74	8.06	0.51
	Ekim	1.88	1.21	5.95	0.32
	Kasım	1.68	0.93	4.25	0.39

**Çizelge B.1 (devam):** TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.

İstasyon	Aylar	H	H <sub>d</sub>	H <sub>0</sub>	K <sub>r</sub>
Sinop	Aralık	1.01	0.68	3.51	0.29
	Ocak	1.00	0.71	3.84	0.26
	Şubat	2.13	1.17	5.32	0.40
	Mart	3.24	1.61	7.27	0.45
	Nisan	4.81	2.01	9.34	0.51
	Mayıs	4.99	2.39	10.84	0.46
	Haziran	6.28	2.39	11.45	0.55
	Temmuz	6.49	2.21	11.13	0.58
	Ağustos	5.13	2.13	9.91	0.52
	Eylül	3.87	1.76	8.01	0.48
	Ekim	1.75	1.16	5.89	0.30
Trabzon	Kasım	1.39	0.87	4.18	0.33
	Aralık	0.82	0.60	3.44	0.24
	Ocak	1.02	0.73	4.02	0.26
	Şubat	2.00	1.18	5.49	0.36
	Mart	2.76	1.60	7.41	0.37
	Nisan	4.01	2.08	9.43	0.43
	Mayıs	3.74	2.29	10.86	0.34
	Haziran	4.35	2.48	11.45	0.38
	Temmuz	3.43	2.24	11.14	0.31
	Ağustos	2.90	1.95	9.97	0.29
	Eylül	2.86	1.72	8.13	0.35
Zonguldak	Ekim	1.22	0.94	6.05	0.20
	Kasım	1.56	0.93	4.36	0.36
	Aralık	0.78	0.59	3.62	0.21
	Ocak	1.33	0.82	3.94	0.34
	Şubat	2.22	1.19	5.42	0.41
	Mart	3.50	1.62	7.35	0.48
	Nisan	4.60	2.05	9.39	0.49
	Mayıs	5.07	2.39	10.85	0.47
	Haziran	5.10	2.53	11.45	0.44
	Temmuz	5.95	2.36	11.13	0.53
	Ağustos	4.96	2.16	9.94	0.50
Haymana (Ankara)	Eylül	4.33	1.71	8.08	0.54
	Ekim	2.42	1.31	5.98	0.41
	Kasım	1.72	0.94	4.28	0.40
	Aralık	1.09	0.71	3.54	0.31
	Ocak	1.70	0.93	4.24	0.40
	Şubat	2.78	1.25	5.69	0.49
	Mart	3.81	1.64	7.57	0.50
	Nisan	5.13	2.01	9.52	0.54
	Mayıs	5.84	2.30	10.89	0.54
	Haziran	6.52	2.32	11.45	0.57
	Temmuz	6.96	2.05	11.15	0.62
Kızılcahamam (Ankara)	Ağustos	6.01	1.94	10.04	0.60
	Eylül	4.65	1.69	8.26	0.56
	Ekim	3.06	1.36	6.23	0.49
	Kasım	2.07	1.01	4.57	0.45
	Aralık	1.40	0.82	3.84	0.36
	Ocak	1.60	0.90	4.11	0.39
	Şubat	2.37	1.23	5.58	0.43
	Mart	3.38	1.65	7.48	0.45
	Nisan	4.53	2.08	9.47	0.49
	Mayıs	4.86	2.41	10.88	0.45
	Haziran	6.01	2.45	11.45	0.53
Temmuz	6.72	2.14	11.15	0.60	

**Çizelge B.1 (devam):** TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.

İstasyon	Aylar	H	H <sub>d</sub>	H <sub>0</sub>	K <sub>T</sub>
Eskişehir	Ağustos	5.69	2.03	10.00	0.57
	Eylül	4.12	1.78	8.19	0.50
	Ekim	2.76	1.36	6.13	0.45
	Kasım	2.03	0.98	4.45	0.46
	Aralık	1.36	0.80	3.72	0.37
	Ocak	1.80	0.93	2.96	0.43
	Şubat	2.45	1.25	3.34	0.43
	Mart	3.53	1.67	4.12	0.47
	Nisan	4.82	2.06	5.05	0.51
	Mayıs	5.31	2.38	5.33	0.49
	Haziran	6.38	2.36	6.38	0.56
	Temmuz	7.08	2.00	7.08	0.63
Kayseri	Ağustos	5.78	2.02	5.93	0.58
	Eylül	4.43	1.74	4.99	0.54
	Ekim	2.82	1.37	3.65	0.45
	Kasım	1.82	1.00	2.74	0.40
	Aralık	1.38	0.82	2.22	0.36
	Ocak	2.25	0.95	4.41	0.51
	Şubat	3.13	1.24	5.85	0.53
	Mart	3.79	1.68	7.70	0.49
	Nisan	4.71	2.10	9.60	0.49
	Mayıs	5.27	2.39	10.91	0.48
	Haziran	6.12	2.42	11.44	0.54
	Temmuz	6.81	2.11	11.16	0.61
Kırşehir	Ağustos	5.73	2.05	10.09	0.57
	Eylül	4.58	1.75	8.37	0.55
	Ekim	3.06	1.40	6.38	0.48
	Kasım	2.32	1.04	4.74	0.49
	Aralık	1.77	0.89	4.01	0.44
	Ocak	2.00	0.94	4.28	0.47
	Şubat	2.90	1.24	5.73	0.50
	Mart	3.65	1.67	7.61	0.48
	Nisan	5.04	2.03	9.54	0.53
	Mayıs	5.90	2.29	10.90	0.54
	Haziran	6.90	2.20	11.44	0.60
	Temmuz	7.52	1.79	11.15	0.67
Ereğli (Konya)	Ağustos	6.40	1.79	10.05	0.64
	Eylül	4.85	1.65	8.29	0.58
	Ekim	3.09	1.37	6.27	0.49
	Kasım	2.24	1.01	4.62	0.48
	Aralık	1.57	0.85	3.88	0.40
	Ocak	1.89	1.00	4.56	0.41
	Şubat	2.72	1.32	5.99	0.45
	Mart	3.30	1.72	7.80	0.42
	Nisan	4.61	2.12	9.66	0.48
	Mayıs	5.16	2.41	10.93	0.47
	Haziran	6.07	2.43	11.43	0.53
	Temmuz	6.29	2.28	11.16	0.56
Karatay (Konya)	Ağustos	5.91	2.01	10.13	0.58
	Eylül	4.38	1.82	8.46	0.52
	Ekim	3.02	1.44	6.51	0.46
	Kasım	2.14	1.08	4.89	0.44
	Aralık	1.55	0.90	4.16	0.37
	Ocak	1.89	1.00	4.55	0.41
	Şubat	2.95	1.31	5.98	0.49
	Mart	3.69	1.72	7.80	0.47

**Çizelge B.1 (devam):** TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.

İstasyon	Aylar	H	H <sub>d</sub>	H <sub>0</sub>	K <sub>r</sub>
Akşehir	Nisan	5.55	1.94	9.65	0.58
	Mayıs	6.15	2.24	10.93	0.56
	Haziran	6.89	2.19	11.43	0.60
	Temmuz	7.15	1.97	11.16	0.64
	Ağustos	6.58	1.75	10.13	0.65
	Eylül	4.73	1.74	8.46	0.56
	Ekim	3.11	1.43	6.50	0.48
	Kasım	1.99	1.07	4.88	0.41
	Aralık	1.47	0.88	4.15	0.36
	Ocak	2.06	0.98	4.44	0.46
	Şubat	3.02	1.27	5.88	0.51
	Mart	3.61	1.70	7.72	0.47
Tokat	Nisan	5.14	2.03	9.61	0.53
	Mayıs	5.96	2.28	10.91	0.55
	Haziran	6.35	2.36	11.44	0.56
	Temmuz	6.85	2.10	11.16	0.61
	Ağustos	6.12	1.93	10.10	0.61
	Eylül	4.67	1.73	8.39	0.56
	Ekim	3.25	1.39	6.41	0.51
	Kasım	2.29	1.05	4.77	0.48
	Aralık	1.64	0.89	4.04	0.40
	Ocak	1.79	0.91	4.12	0.43
	Şubat	2.57	1.23	5.58	0.46
	Mart	3.39	1.65	7.48	0.45
Aksaray	Nisan	4.92	2.03	9.47	0.52
	Mayıs	5.00	2.40	10.88	0.46
	Haziran	6.25	2.39	11.45	0.55
	Temmuz	6.22	2.30	11.15	0.56
	Ağustos	5.60	2.05	9.99	0.56
	Eylül	4.72	1.65	8.19	0.58
	Ekim	3.05	1.34	6.13	0.50
	Kasım	2.09	0.98	4.45	0.47
	Aralık	1.42	0.81	3.72	0.38
	Ocak	2.06	0.98	4.42	0.47
	Şubat	2.98	1.27	5.86	0.51
	Mart	3.93	1.67	7.71	0.51
Erzincan	Nisan	4.96	2.06	9.60	0.52
	Mayıs	5.95	2.29	10.91	0.54
	Haziran	6.41	2.35	11.44	0.56
	Temmuz	6.59	2.19	11.16	0.59
	Ağustos	6.40	1.81	10.09	0.63
	Eylül	4.36	1.80	8.38	0.52
	Ekim	3.06	1.41	6.39	0.48
	Kasım	2.22	1.05	4.75	0.47
	Aralık	1.54	0.87	4.03	0.38
	Ocak	1.65	0.92	4.23	0.39
	Şubat	3.07	1.20	5.69	0.54
	Mart	3.75	1.65	7.57	0.50
	Nisan	5.13	2.01	9.52	0.54
	Mayıs	5.51	2.36	10.89	0.51
	Haziran	6.81	2.23	11.45	0.59
	Temmuz	7.15	1.97	11.15	0.64
	Ağustos	6.15	1.89	10.03	0.61
	Eylül	4.73	1.67	8.26	0.57
	Ekim	3.46	1.29	6.23	0.56
	Kasım	2.49	0.96	4.57	0.55

**Çizelge B.1 (devam):** TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.

İstasyon	Aylar	H	H <sub>d</sub>	H <sub>0</sub>	K <sub>T</sub>
Erzurum	Aralık	1.79	0.84	3.83	0.47
	Ocak	2.01	0.94	4.28	0.47
	Şubat	3.31	1.15	5.73	0.58
	Mart	4.00	1.62	7.60	0.53
	Nisan	4.68	2.09	9.54	0.49
	Mayıs	5.19	2.40	10.90	0.48
	Haziran	6.75	2.25	11.44	0.59
	Temmuz	7.08	2.00	11.15	0.63
	Ağustos	5.83	2.01	10.05	0.58
	Eylül	4.67	1.70	8.29	0.56
	Ekim	2.45	1.37	6.27	0.39
	Kasım	2.23	1.01	4.61	0.48
Bayburt	Aralık	1.52	0.84	3.88	0.39
	Ocak	2.13	0.88	4.11	0.52
	Şubat	3.48	1.03	5.58	0.62
	Mart	3.93	1.60	7.48	0.53
	Nisan	4.99	2.02	9.47	0.53
	Mayıs	5.34	2.38	10.87	0.49
	Haziran	7.05	2.14	11.45	0.62
	Temmuz	7.33	1.88	11.15	0.66
	Ağustos	6.08	1.90	10.00	0.61
	Eylül	4.65	1.66	8.19	0.57
	Ekim	3.20	1.31	6.13	0.52
	Kasım	2.39	0.94	4.45	0.54
İğdir	Aralık	1.10	0.73	3.71	0.30
	Ocak	1.50	0.89	4.17	0.36
	Şubat	2.85	1.22	5.63	0.51
	Mart	3.53	1.66	7.53	0.47
	Nisan	4.94	2.04	9.49	0.52
	Mayıs	5.47	2.36	10.88	0.50
	Haziran	6.71	2.26	11.45	0.59
	Temmuz	6.46	2.23	11.15	0.58
	Ağustos	5.63	2.05	10.02	0.56
	Eylül	4.52	1.71	8.23	0.55
	Ekim	2.55	1.36	6.18	0.41
	Kasım	1.96	1.00	4.51	0.44
Adıyaman	Aralık	1.33	0.80	3.78	0.35
	Ocak	2.02	1.01	4.56	0.44
	Şubat	3.19	1.27	5.99	0.53
	Mart	4.42	1.59	7.81	0.57
	Nisan	5.95	1.81	9.66	0.62
	Mayıs	6.63	2.08	10.93	0.61
	Haziran	7.61	1.89	11.43	0.67
	Temmuz	7.67	1.71	11.16	0.69
	Ağustos	6.49	1.79	10.13	0.64
	Eylül	5.34	1.53	8.46	0.63
	Ekim	3.63	1.34	6.51	0.56
	Kasım	2.51	1.05	4.89	0.51
Bingöl	Aralık	1.80	0.92	4.16	0.43
	Ocak	1.63	0.94	4.36	0.37
	Şubat	2.55	1.28	5.81	0.44
	Mart	2.93	1.66	7.66	0.38
	Nisan	4.02	2.11	9.57	0.42
	Mayıs	5.39	2.38	10.91	0.49
	Haziran	6.70	2.27	11.44	0.59
Temmuz	7.15	1.97	11.16	0.64	

**Çizelge B.1 (devam):** TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.

İstasyon	Aylar	H	H <sub>d</sub>	H <sub>0</sub>	K <sub>r</sub>	
Gaziantep	Ağustos	5.54	2.10	10.07	0.55	
	Eylül	4.13	1.82	8.34	0.49	
	Ekim	2.73	1.40	6.34	0.43	
	Kasım	2.15	1.04	4.69	0.46	
	Aralık	1.31	0.82	3.96	0.33	
	Ocak	1.92	1.03	4.69	0.41	
	Şubat	3.15	1.31	6.11	0.52	
	Mart	4.94	1.45	7.90	0.63	
	Nisan	5.93	1.84	9.71	0.61	
	Mayıs	6.60	2.10	10.94	0.60	
	Haziran	7.57	1.90	11.42	0.66	
	Temmuz	7.58	1.76	11.16	0.68	
	Ağustos	6.45	1.83	10.16	0.63	
	Eylül	5.31	1.58	8.54	0.62	
Mardin	Ekim	3.72	1.36	6.62	0.56	
	Kasım	2.63	1.07	5.01	0.52	
	Aralık	1.82	0.95	4.29	0.42	
	Ocak	1.78	1.01	4.66	0.38	
	Şubat	2.94	1.33	6.08	0.48	
	Mart	3.93	1.71	7.87	0.50	
	Nisan	5.29	2.03	9.69	0.55	
	Mayıs	6.33	2.19	10.94	0.58	
	Haziran	7.10	2.11	11.42	0.62	
	Temmuz	7.02	2.03	11.16	0.63	
	Ağustos	6.32	1.88	10.16	0.62	
	Eylül	5.69	1.40	8.52	0.67	
	Ekim	3.23	1.44	6.59	0.49	
	Kasım	2.25	1.10	4.98	0.45	
Şanlıurfa	Aralık	1.63	0.93	4.26	0.38	
	Ocak	2.15	1.04	4.72	0.45	
	Şubat	3.33	1.29	6.14	0.54	
	Mart	4.36	1.65	7.92	0.55	
	Nisan	5.58	1.96	9.72	0.57	
	Mayıs	6.53	2.13	10.94	0.60	
	Haziran	7.53	1.92	11.42	0.66	
	Temmuz	7.64	1.73	11.16	0.68	
	Ağustos	6.48	1.82	10.17	0.64	
	Eylül	5.24	1.61	8.56	0.61	
	Ekim	3.47	1.42	6.65	0.52	
	Kasım	2.51	1.10	5.05	0.50	
	Aralık	1.66	0.94	4.33	0.38	
	Batman	Ocak	1.68	0.97	4.51	0.37
Şubat		2.93	1.30	5.95	0.49	
Mart		3.91	1.69	7.77	0.50	
Nisan		5.20	2.03	9.64	0.54	
Mayıs		6.17	2.23	10.92	0.56	
Haziran		7.25	2.05	11.43	0.63	
Temmuz		7.26	1.92	11.15	0.65	
Ağustos		6.42	1.82	10.12	0.63	
Eylül		5.00	1.65	8.43	0.59	
Ekim		3.30	1.40	6.47	0.51	
Kasım		2.23	1.07	4.84	0.46	
Aralık		1.47	0.88	4.12	0.36	
Adana		Ocak	1.80	1.02	4.67	0.39
		Şubat	2.86	1.34	6.09	0.47
	Mart	4.02	1.70	7.88	0.51	

**Çizelge B.1 (devam):** TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.

İstasyon	Aylar	H	H <sub>d</sub>	H <sub>0</sub>	K <sub>T</sub>	
Aksu (Antalya)	Nisan	5.31	2.03	9.70	0.55	
	Mayıs	5.90	2.30	10.94	0.54	
	Haziran	6.50	2.32	11.42	0.57	
	Temmuz	6.54	2.21	11.16	0.59	
	Ağustos	5.53	2.13	10.16	0.54	
	Eylül	4.48	1.82	8.53	0.53	
	Ekim	3.17	1.45	6.61	0.48	
	Kasım	2.34	1.10	5.00	0.47	
	Aralık	1.60	0.92	4.27	0.37	
	Ocak	2.00	1.04	4.68	0.43	
	Şubat	3.11	1.32	6.10	0.51	
	Mart	4.36	1.64	7.90	0.55	
	Nisan	5.60	1.95	9.71	0.58	
	Mayıs	6.09	2.26	10.94	0.56	
	Haziran	6.69	2.26	11.42	0.59	
	Temmuz	7.01	2.04	11.16	0.63	
	Ağustos	5.99	2.00	10.16	0.59	
	Eylül	4.93	1.71	8.54	0.58	
	Hatay	Ekim	3.51	1.41	6.62	0.53
Kasım		2.36	1.10	5.01	0.47	
Aralık		1.95	0.95	4.29	0.45	
Ocak		1.60	1.00	4.90	0.33	
Şubat		2.67	1.37	6.21	0.43	
Mart		3.98	1.74	7.98	0.50	
Nisan		5.68	1.94	9.75	0.58	
Mayıs		6.44	2.16	10.95	0.59	
Haziran		7.26	2.04	11.41	0.64	
Temmuz		7.17	1.96	11.16	0.64	
Ağustos		6.91	1.61	10.19	0.68	
Eylül		5.67	1.45	8.60	0.66	
Ekim		4.12	1.26	6.71	0.61	
Kasım		2.99	1.01	5.12	0.58	
Aralık		1.45	0.91	4.41	0.33	
Akdeniz (Mersin)		Ocak	1.65	0.99	4.68	0.35
		Şubat	2.61	1.35	6.10	0.43
		Mart	3.90	1.72	7.90	0.49
		Nisan	5.14	2.06	9.71	0.53
	Mayıs	5.48	2.38	10.94	0.50	
	Haziran	6.13	2.41	11.42	0.54	
	Temmuz	6.20	2.31	11.16	0.56	
	Ağustos	4.99	2.22	10.16	0.49	
	Eylül	4.45	1.83	8.54	0.52	
	Ekim	3.03	1.46	6.62	0.46	
	Kasım	2.06	1.10	5.01	0.41	
	Aralık	1.46	0.90	4.29	0.34	
	Silifke (Mersin)	Ocak	1.96	1.05	4.78	0.41
		Şubat	3.15	1.34	6.19	0.51
		Mart	3.99	1.73	7.97	0.50
		Nisan	5.46	2.00	9.74	0.56
		Mayıs	6.10	2.26	10.95	0.56
		Haziran	7.00	2.15	11.41	0.61
		Temmuz	7.00	2.04	11.16	0.63
Ağustos		6.07	1.98	10.19	0.60	
Eylül		5.00	1.71	8.59	0.58	
Ekim		3.39	1.45	6.70	0.51	
Kasım	2.48	1.12	5.11	0.49		

**Çizelge B.1 (devam):** TARBİL ölçüm istasyonlarına ait güneş radyasyon hesaplamaları.

İstasyon	Aylar	H	H <sub>d</sub>	H <sub>0</sub>	K <sub>r</sub>
Osmaniye	Aralık	2.31	0.94	4.39	0.53
	Ocak	1.92	1.02	4.63	0.42
	Şubat	2.89	1.33	6.05	0.48
	Mart	3.95	1.71	7.85	0.50
	Nisan	5.07	2.07	9.68	0.52
	Mayıs	5.77	2.33	10.93	0.53
	Haziran	6.30	2.37	11.43	0.55
	Temmuz	6.62	2.18	11.16	0.59
	Ağustos	5.66	2.09	10.15	0.56
	Eylül	4.51	1.81	8.50	0.53
	Ekim	3.40	1.41	6.57	0.52
	Kasım	2.41	1.08	4.95	0.49
Aralık	1.69	0.93	4.23	0.40	

**EK C**

**Çizelge C.1:** Regresyon modellerine ilişkin hata sonuçları.

İstasyon	Model	MBE	nMBE	MAE	nMAE	RMSE	R <sup>2</sup>
Gelibolu (Çanakkale)	Lineer	0.1777	0.0030	0.1777	0.0030	0.6156	0.9941
	2.	-0.0024	-0.0007	0.0024	0.0007	0.0085	1.0000
	3.	0.0011	0.0000	0.0011	0.0000	0.0039	1.0000
	4.	-0.0419	-0.0000	0.0419	0.0000	0.1452	0.9997
Edirne	Lineer	0.0944	0.0015	0.0944	0.0015	0.3269	0.9984
	2.	-0.0858	-0.0014	0.0858	0.0014	0.2971	0.9987
	3.	-0.0822	-0.0013	0.0822	0.0013	0.2848	0.9988
	4.	-0.1253	-0.0021	0.1253	0.0021	0.4339	0.9971
İstanbul	Lineer	0.3444	0.0059	0.3444	0.0059	1.1929	0.9763
	2.	0.1642	0.0028	0.1642	0.0028	0.5689	0.9946
	3.	0.1678	0.0029	0.1678	0.0029	0.5812	0.9944
	4.	0.1247	0.0022	0.1247	0.0022	0.4321	0.9969
Tekirdağ	Lineer	0.3444	0.0055	0.3444	0.0055	1.1929	0.9723
	2.	0.1642	0.0026	0.1642	0.0026	0.5689	0.9937
	3.	0.1678	0.0027	0.1678	0.0027	0.5812	0.9934
	4.	0.1247	0.0020	0.1247	0.0020	0.4321	0.9964
Kumluca (Antalya)	Lineer	0.4895	0.0084	0.4895	0.0084	1.6958	0.9476
	2.	0.3218	0.0055	0.3218	0.0055	1.1146	0.9774
	3.	0.2930	0.0051	0.2930	0.0051	1.0151	0.9812
	4.	0.3154	0.0054	0.3154	0.0054	1.0924	0.9783
Bursa	Lineer	0.1562	0.0026	0.1562	0.0026	0.5411	0.9959
	2.	-0.0116	0.0002	0.0116	0.0002	0.0401	1.0000
	3.	-0.0403	0.0007	0.0403	0.0007	0.1396	0.9997
	4.	-0.0180	0.0003	0.0180	0.0003	0.0623	0.9999
Ayvacık (Çanakkale)	Lineer	0.0729	0.0012	0.0729	0.0012	0.2525	0.9991
	2.	-0.0949	0.0015	0.0949	0.0015	0.3288	0.9984
	3.	-0.1236	0.0020	0.1236	0.0020	0.4283	0.9973
	4.	-0.1013	0.0016	0.1013	0.0016	0.3509	0.9982
Denizli	Lineer	0.1562	0.0026	0.1562	0.0026	0.5411	0.9959
	2.	-0.0116	0.0002	0.0116	0.0002	0.0401	1.0000
	3.	-0.0403	0.0007	0.0403	0.0007	0.1396	0.9997
	4.	-0.0180	0.0003	0.0180	0.0003	0.0623	0.9999
İzmir	Lineer	0.0729	0.0012	0.0729	0.0012	0.2525	0.9992
	2.	-0.0949	0.0015	0.0949	0.0015	0.3288	0.9986
	3.	-0.1236	0.0020	0.1236	0.0020	0.4283	0.9976
	4.	-0.1013	0.0016	0.1013	0.0016	0.3509	0.9984
Kütahya	Lineer	0.1562	0.0026	0.1562	0.0026	0.5411	0.9957
	2.	-0.0116	0.0002	0.0116	0.0002	0.0401	1.0000
	3.	-0.0403	0.0007	0.0403	0.0007	0.1396	0.9997
	4.	-0.0180	0.0003	0.0180	0.0003	0.0623	0.9999
Muğla	Lineer	0.0729	0.0012	0.0729	0.0012	0.2525	0.9992
	2.	-0.0949	0.0015	0.0949	0.0015	0.3288	0.9986
	3.	-0.1236	0.0020	0.1236	0.0020	0.4283	0.9976
	4.	-0.1013	0.0016	0.1013	0.0016	0.3509	0.9984
Artvin	Lineer	0.4329	0.0080	0.4329	0.0080	1.4996	0.9553
	2.	0.2305	0.0043	0.2305	0.0043	0.7983	0.9873
	3.	0.2029	0.0038	0.2029	0.0038	0.7027	0.9902
	4.	0.2801	0.0052	0.2801	0.0052	0.9704	0.9813
Giresun	Lineer	0.5162	0.0087	0.5162	0.0087	1.7883	0.9236
	2.	0.3138	0.0053	0.3138	0.0053	1.0870	0.9718
	3.	0.2862	0.0049	0.2862	0.0049	0.9914	0.9765
	4.	0.3635	0.0062	0.3635	0.0062	1.2590	0.9621
Samsun	Lineer	0.6829	0.0122	0.6829	0.0122	2.3656	0.8702
	2.	0.4805	0.0086	0.4805	0.0086	1.6644	0.9358

**Çizelge C.1 (devam):** Regresyon modellerine ilişkin hata sonuçları.

İstasyon	Model	MBE	nMBE	MAE	nMAE	RMSE	R <sup>2</sup>
Sinop	3.	0.4529	0.0081	0.4529	0.0081	1.5688	0.9429
	4.	0.5301	0.0095	0.5301	0.0095	1.8364	0.9218
	Lineer	0.0996	0.0017	0.0996	0.0017	0.3449	0.9978
	2.	-0.1029	-0.0017	0.1029	0.0017	0.3564	0.9977
Trabzon	3.	-0.1305	-0.0022	0.1305	0.0022	0.4520	0.9963
	4.	-0.0532	-0.0009	0.0532	0.0009	0.1843	0.9994
	Lineer	0.3496	0.0062	0.3496	0.0062	1.2109	0.9677
	2.	0.1471	0.0026	0.1471	0.0026	0.5097	0.9943
Zonguldak	3.	0.1195	0.0021	0.1195	0.0021	0.4141	0.9962
	4.	0.1968	0.0035	0.1968	0.0035	0.6817	0.9898
	Lineer	0.0162	0.0059	0.0162	0.0003	0.0562	0.9999
	2.	-0.1862	0.0025	0.1862	0.0032	0.6450	0.9928
Haymana (Ankara)	3.	-0.2138	0.0020	0.2138	0.0036	0.7406	0.9904
	4.	-0.1365	0.0033	0.1365	0.0023	0.4730	0.9961
	Lineer	0.2430	0.0041	0.2430	0.0041	0.8419	0.9884
	2.	0.0782	0.0013	0.0782	0.0013	0.2707	0.9988
Kızılcahamam (Ankara)	3.	0.0434	0.0007	0.0434	0.0007	0.1504	0.9996
	4.	0.0316	0.0005	0.0316	0.0005	0.1094	0.9998
	Lineer	0.1597	0.0026	0.1597	0.0026	0.5533	0.9955
	2.	-0.0052	-0.0000	0.0052	0.0000	0.0179	1.0000
Eskişehir	3.	-0.0399	-0.0007	0.0399	0.0007	0.1383	0.9997
	4.	-0.0518	-0.0008	0.0518	0.0008	0.1793	0.9995
	Lineer	0.2430	0.0041	0.2430	0.0041	0.8419	0.9890
	2.	0.0782	0.0013	0.0782	0.0013	0.2707	0.9989
Kayseri	3.	0.0434	0.0007	0.0434	0.0007	0.1504	0.9996
	4.	0.0316	0.0005	0.0316	0.0005	0.1094	0.9998
	Lineer	0.0764	0.0012	0.0764	0.0012	0.2646	0.9990
	2.	-0.0885	-0.0014	0.0885	0.0014	0.3066	0.9987
Kırşehir	3.	-0.1233	-0.0020	0.1233	0.0020	0.4270	0.9975
	4.	-0.1351	-0.0022	0.1351	0.0022	0.4679	0.9970
	Lineer	0.1597	0.0026	0.1597	0.0026	0.5533	0.9953
	2.	-0.0052	-0.0000	0.0052	0.0000	0.0179	1.0000
Ereğli (Konya)	3.	-0.0399	-0.0007	0.0399	0.0007	0.1383	0.9997
	4.	-0.0518	-0.0008	0.0518	0.0008	0.1793	0.9995
	Lineer	0.4097	0.0071	0.4097	0.0071	1.4193	0.9680
	2.	0.2448	0.0042	0.2448	0.0042	0.8481	0.9886
Karatay (Konya)	3.	0.2101	0.0036	0.2101	0.0036	0.7277	0.9916
	4.	0.1982	0.0034	0.1982	0.0034	0.6868	0.9925
	Lineer	0.4930	0.0086	0.4930	0.0086	1.7080	0.9485
	2.	0.3282	0.0058	0.3282	0.0058	1.1368	0.9772
Akşehir (Konya)	3.	0.2934	0.0051	0.2934	0.0051	1.0164	0.9818
	4.	0.2816	0.0049	0.2816	0.0049	0.9754	0.9832
	Lineer	0.2430	0.0041	0.2430	0.0041	0.8419	0.9890
	2.	0.0782	0.0013	0.0782	0.0013	0.2707	0.9989
Tokat	3.	0.0434	0.0007	0.0434	0.0007	0.1504	0.9996
	4.	0.0316	0.0005	0.0316	0.0005	0.1094	0.9998
	Lineer	0.1597	0.0026	0.1597	0.0026	0.5533	0.9952
	2.	-0.0052	-0.0000	0.0052	0.0000	0.0179	1.0000
Aksaray	3.	-0.0399	-0.0007	0.0399	0.0007	0.1383	0.9997
	4.	-0.0518	-0.0008	0.0518	0.0008	0.1793	0.9995
	Lineer	0.3264	0.0054	0.3264	0.0054	1.1306	0.9788
	2.	0.1615	0.0027	0.1615	0.0027	0.5594	0.9948
Erzincan	3.	0.1267	0.0021	0.1267	0.0021	0.4390	0.9968
	4.	0.1149	0.0019	0.1149	0.0019	0.3981	0.9974
	Lineer	0.0597	0.0009	0.0597	0.0009	0.2067	0.9994
	2.	-0.1522	-0.0024	0.1522	0.0024	0.5273	0.9964

**Çizelge C.1 (devam): Regresyon modellerine ilişkin hata sonuçları.**

İstasyon	Model	MBE	nMBE	MAE	nMAE	RMSE	R <sup>2</sup>
Erzurum	3.	-0.2208	-0.0034	0.2208	0.0034	0.7648	0.9923
	4.	-0.2625	-0.0041	0.2625	0.0041	0.9094	0.9892
	Lineer	0.3097	0.0051	0.3097	0.0051	1.0727	0.9826
	2.	0.0978	0.0016	0.0978	0.0016	0.3387	0.9983
Bayburt	3.	0.0292	0.0005	0.0292	0.0005	0.1012	0.9998
	4.	-0.0125	-0.0002	0.0125	0.0002	0.0434	1.0000
	Lineer	0.6430	0.0102	0.6430	0.0102	2.2274	0.8850
	2.	0.4311	0.0068	0.4311	0.0068	1.4934	0.9483
İğdir	3.	0.3626	0.0058	0.3626	0.0058	1.2560	0.9634
	4.	0.3208	0.0051	0.3208	0.0051	1.1113	0.9714
	Lineer	0.3930	0.0065	0.3930	0.0065	1.3614	0.9708
	2.	0.1811	0.0030	0.1811	0.0030	0.6274	0.9938
Adıyaman	3.	0.1126	0.0019	0.1126	0.0019	0.3899	0.9976
	4.	0.0708	0.0012	0.0708	0.0012	0.2453	0.9991
	Lineer	0.3343	0.0058	0.3343	0.0058	1.1580	0.9774
	2.	0.1348	0.0023	0.1348	0.0023	0.4668	0.9963
Bingöl	3.	0.0536	0.0009	0.0536	0.0009	0.1855	0.9994
	4.	-0.0447	-0.0008	0.0447	0.0008	0.1550	0.9996
	Lineer	0.0843	0.0014	0.0843	0.0014	0.2919	0.9987
	2.	-0.1152	-0.0019	0.1152	0.0019	0.3992	0.9977
Gaziantep	3.	-0.1964	-0.0032	0.1964	0.0032	0.6805	0.9932
	4.	-0.2947	-0.0048	0.2947	0.0048	1.0210	0.9847
	Lineer	0.4176	0.0072	0.4176	0.0072	1.4466	0.9631
	2.	0.2181	0.0038	0.2181	0.0038	0.7555	0.9899
Mardin	3.	0.1369	0.0024	0.1369	0.0024	0.4742	0.9960
	4.	0.0386	0.0007	0.0386	0.0007	0.1337	0.9997
	Lineer	0.2509	0.0043	0.2509	0.0043	0.8693	0.9879
	2.	0.0514	0.0009	0.0514	0.0009	0.1782	0.9995
Şanlıurfa	3.	-0.0298	-0.0005	0.0298	0.0005	0.1032	0.9998
	4.	-0.1281	-0.0022	0.1281	0.0022	0.4437	0.9968
	Lineer	0.3343	0.0058	0.3343	0.0058	1.1580	0.9782
	2.	0.1348	0.0023	0.1348	0.0023	0.4668	0.9965
Batman	3.	0.0536	0.0009	0.0536	0.0009	0.1855	0.9994
	4.	-0.0447	-0.0008	0.0447	0.0008	0.1550	0.9996
	Lineer	0.3343	0.0058	0.3343	0.0058	1.1580	0.9772
	2.	0.1348	0.0023	0.1348	0.0023	0.4668	0.9963
Adana	3.	0.0536	0.0009	0.0536	0.0009	0.1855	0.9994
	4.	-0.0447	-0.0008	0.0447	0.0008	0.1550	0.9996
	Lineer	0.2306	0.0040	0.2306	0.0040	0.7988	0.9900
	2.	0.0626	0.0011	0.0626	0.0011	0.2167	0.9993
Aksu (Antalya)	3.	-0.0175	-0.0003	0.0175	0.0003	0.0604	0.9999
	4.	0.0115	0.0002	0.0115	0.0002	0.0398	1.0000
	Lineer	0.0639	0.0011	0.0639	0.0011	0.2215	0.9993
	2.	-0.1041	-0.0017	0.1041	0.0017	0.3606	0.9981
Hatay	3.	-0.1841	-0.0031	0.1841	0.0031	0.6378	0.9941
	4.	-0.1552	-0.0026	0.1552	0.0026	0.5376	0.9958
	Lineer	0.5639	0.0096	0.5639	0.0096	1.9535	0.9182
	2.	0.3959	0.0067	0.3959	0.0067	1.3714	0.9597
Akdeniz (Mersin)	3.	0.3159	0.0054	0.3159	0.0054	1.0943	0.9743
	4.	0.3448	0.0058	0.3448	0.0058	1.1945	0.9694
	Lineer	0.3973	0.0071	0.3973	0.0071	1.3762	0.9676
	2.	0.2292	0.0041	0.2292	0.0041	0.7941	0.9892
Silifke (Mersin)	3.	0.1492	0.0027	0.1492	0.0027	0.5169	0.9954
	4.	0.1781	0.0032	0.1781	0.0032	0.6171	0.9935
	Lineer	-0.1027	-0.0017	0.1027	0.0017	0.3559	0.9984
	2.	-0.2708	-0.0044	0.2708	0.0044	0.9380	0.9892

**Çizelge C.1 (devam):** Regresyon modellerine ilişkin hata sonuçları.

İstasyon	Model	MBE	nMBE	MAE	nMAE	RMSE	R <sup>2</sup>
Osmaniye	3.	-0.3508	-0.0057	0.3508	0.0057	1.2151	0.9819
	4.	-0.3219	-0.0052	0.3219	0.0052	1.1149	0.9847
	Lineer	0.1473	0.0025	0.1473	0.0025	0.5102	0.9960
	2.	-0.0208	-0.0017	0.0208	0.0017	0.0719	0.9999
	3.	-0.1008	-0.0040	0.1008	0.0040	0.3491	0.9981
	4.	-0.0719	-0.0004	0.0719	0.0004	0.2489	0.9991

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad :** Ömer GÖNÜL

**E-posta :** omergonul18@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans :** 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2015 yılında ACROME Robotik'te yarı zamanlı LabView yazılım geliştirme mühendisi olarak çalıştı.
- 2016 Mart-2018 Ağustos arasında Türk-Alman Üniversitesi Enerji Bilimi ve Teknolojileri Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı.
- 2018 Ağustos'tan itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

### DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Türkmen, A., Korkut, M. Y., Erdem, M., Gönül, Ö. ve Sezer, V. (2017). Design implementation and control of dual axis self balancing inverted pendulum using reaction wheels, *10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering ELECO 2017*, Bursa, Türkiye.
- Duman, A. C., Güler, Ö., Deveci, K. ve Gönül, Ö. (2018) Residential load scheduling optimization for demand-side management under time-of-use rate, *6th International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair (ICSG 2018)*, İstanbul, Türkiye.
- Duman, A. C., Güler, Ö., Gönül, Ö. ve Deveci, K. (2018) Mixed-integer linear programming based load scheduling optimization for smart homes in Turkey, *The 15th Conference of Young Scientists on Energy Issues (CYSENI 2018)*, Litvanya.
- Gönül, Ö. ve Erol, O. K. (2018) Solar cell parameter estimation using hybrid Nelder-Mead and Big Bang Big Crunch Optimization Algorithms, *7th International Conference on Applied Analysis and Mathematical Modeling (ICAAM 2018)*, İstanbul, Türkiye.