

**UYDU TABANLI KUADRATİK MODEL İLE
TÜRKİYE'DE GÜNEŞ RADYASYONU DAĞILIMININ
BELİRLENMESİ**

Yasemin ÖZDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2012

ANKARA

Yasemin ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “UYDU TABANLI KUADRATİK MODEL İLE TÜRKİYE’DE GÜNEŞ RADYASYONU DAĞILIMININ BELİRLENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Elif ORHAN
Tez Danışmanı, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Bülent G. AKINOĞLU
Tez İkinci Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı, O.D.T.Ü.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İleri Teknolojiler Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Aytunç ATEŞ
Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Y.B.Ü.

Doç. Dr. Elif ORHAN
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Nurgül SEFEROĞLU
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih : 13/06/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yasemin ÖZDEMİR

**UYDU TABANLI KUADRATİK MODEL İLE TÜRKİYE'DE GÜNEŞ
RADYASYONU DAĞILIMININ BELİRLENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Yasemin ÖZDEMİR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2012

ÖZET

Genel atmosferik dolaşımın en önemli kaynağı olan güneş radyasyonunun ölçümü önemlidir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş radyasyonundan faydalanma ihtiyacı da güneş gözlemlerinin önemini artırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yere ulaşan güneş radyasyonu miktarının tahmin edilmesi çok önemlidir.

Bu tez çalışmasında, global güneş radyasyonu değerlerini hesaplamak amacıyla uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. MSG-2 uydusunun SEVIRI radyometresi verileri kullanılarak bulut indeksleri elde edilmiştir. Hesaplanan bulut indeksleri, uydu tabanlı kuadratik modelde kullanılarak; Türkiye'nin 2007 yılı aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri yaklaşık 20 km çözünürlükle hesaplanmıştır. Altı meteoroloji istasyonundan alınan yer ölçümleri ile uydu görüntülerinden türetilen global güneş radyasyonu verileri karşılaştırılmıştır. Modelin değerlendirilmesi çalışmaları için RMSE, MBE, RE hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan istatistiksel hata analizlerine göre; uydu verileri yardımıyla hesaplanan aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri % 9,0 nispi hata oranına sahiptir. Sonuç olarak; 2007 yılı için yüksek çözünürlüklü ve düşük hata oranına sahip aylık ortalama global radyasyon verileri, MSG-2 uydu görüntüleri kullanılarak elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 202.1.097
Anahtar Kelimeler : Güneş Işınımı, Kuadratik Model, Meteosat, Türkiye
Sayfa Adedi : 90
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Bülent G. AKINOĞLU, Doç. Dr. Elif ORHAN

**DETERMINATION OF THE DISTRIBUTION OF SOLAR RADIATION IN
TURKEY BY SATELLITE BASED QUADRATIC MODEL**

(M.Sc. Thesis)

Yasemin ÖZDEMİR

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2012

ABSTRACT

Solar radiation is the most important source of atmospheric general circulation, and its measurement is important. In addition, the need for utilization of renewable energy as a source of solar radiation increases the importance of solar observations. For these reasons, estimating the amount of solar radiation reaching the ground is very important.

In this thesis, global solar radiation values were calculated by using satellite images. MSG-2 satellite SEVIRI radiometer data have been used for calculating the cloud indexes. The calculated cloud indexes have been replaced in the satellite-based quadratic model and than about 20 km resolution monthly average global solar radiation values have been calculated for Turkey in 2007. The global solar radiation data derived from satellite images has compared with measurements which have taken from six meteorological stations. For the model validation study, RMSE, MBE, RE have been calculated. According to the statistical error analysis, the relative error rate of monthly average global solar radiations calculated from satellite data is % 9,0. Consequently, the global solar radiation data obtained from MSG-2 satellite images have computed with low error rates and high resolution for 2007.

Science Code : 202.1.097

Key Words : Solar Radiation, Quadratic Model, Meteosat, Turkey

Page Number: 90

Adviser : Prof. Dr. Bülent G. AKINOĞLU, Assoc. Prof. Dr. Elif ORHAN

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Doç. Dr. Elif ORHAN'a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof. Dr. Bülent G. AKINOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca MGM'de birlikte çalıştığım ve tez çalışmamda bana her türlü yardımını esirgemeyen Bülent AKSOY'a, yine çalışmalarımda program yazma konusundaki yardımlarından dolayı Kemal DOKUYUCU'ya, ve haritalandırma konusundaki yardımlarından dolayı Zerrin DEMİRÖRS'e teşekkür ederim.

Uydu verilerinin temininde yardımlarından dolayı ve MSGView programı için Aydın E. ERTÜRK'e teşekkür ederim. Ayrıca beni her konuda destekleyen, maddi ve manevi olarak yardımlarını esirgemeyen aileme Őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TEORİ	6
2.1. Güneş	6
2.2. Elektromanyetik Radyasyon	7
2.3. Güneş Işığı Spektrumu	13
2.4. Güneş Sabiti	15
2.5. Dünya Atmosferi Dışına Gelen Güneş Işınımı (Ekstraterrestrial Radyasyon)	15
2.6. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı	22
2.6.1. Güneş ışınımının atmosferde aldığı yol	22
2.6.2. Güneş ışınımına atmosfer etkisi	23
2.6.3. Güneş ışınımının atmosferde saçılması	24
2.6.4. Güneş ışınımının atmosferde soğurulması	25
2.6.5. Güneş ışınımının atmosferde yansımaları	27
2.6.6. Bulutların güneş ışınımına etkisi	27
2.7. Yere Ulaşan Güneş Işınımının Bileşenleri ve Gözlem Sistemleri	31
2.7.1. Piranometre (Pyranometer)	32

	Sayfa
2.7.2. Pirheliyometre (Pyrheliometer).....	33
2.7.3. Gölge bantlı pıranometre	34
2.7.4. Helyograf	35
2.8. Uydular.....	36
2.8.1. Sabit yörüngeli uydular.....	37
2.8.2. Kutupsal yörüngeli uydular.....	38
2.8.3. EUMETSAT uyduları ve MSG.....	39
2.8.4. MSG-SEVIRI	42
2.8.5. MSG veri ve ürünleri	46
3. GÜNEŞ RADYASYONU TAHMİN MODELLEMELERİ.....	47
3.1. Yer Tabanlı Radyasyon Tahmin Modelleri.....	47
3.1.1. Yer tabanlı fiziksel modeller.....	47
3.1.2. Yer tabanlı istatistiksel modeller	48
3.2. Uydu Tabanlı Radyasyon Tahmin Modelleri	50
3.2.1. Uydu tabanlı fiziksel modeller	50
3.2.2. Uydu tabanlı istatistiksel modeller	51
3.2.3. Uydu tabanlı melez modeller	52
4. MODEL, VERİLER VE KARŞILAŞTIRMA	55
4.1. Uydu Tabanlı Kuadratik Model.....	55
4.2. Çalışmanın Aşamaları	57
4.3. Uydu Verileri ve İşlenmesi.....	58
4.4. Uydu Verilerinden Global Güneş Radyasyonunun Hesaplanması.....	62

	Sayfa
4.5. Yer Verileri.....	65
4.6. Uydu ve Yer Verilerinin Karşılaştırılması	66
5. SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	77
EK-1 Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı	78
ÖZGEÇMİŞ.....	90

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Güneş ışınımının spektral dağılımı	15
Çizelge 2.2. Dünya-Güneş mesafesinin bazı günler için değeri.....	21
Çizelge 2.3. 80 dereceden büyük doruk açıları için hava kütlesi	23
Çizelge 2.4. Bulut tipleri ve albedo değerleri.....	30
Çizelge 2.5. SEVIRI kanallarının teknik özellikleri.....	44
Çizelge 4.1. İstasyonların enlem, boylam ve yükseklikleri.....	65
Çizelge 4.2. Tüm model ve gözlem çıktılarının istatistiksel analizleri.....	67

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Güneşin yapısı.....	7
Şekil 2.2. Elektromanyetik dalgalar.....	8
Şekil 2.3. Elektromanyetik spektrum diyagramı.....	9
Şekil 2.4. Güneş ışığı spektrumu.....	14
Şekil 2.5. Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi.....	17
Şekil 2.6. Bazı güneş açıları.....	18
Şekil 2.7. Dünyanın Güneş etrafındaki hareketi.....	20
Şekil 2.8. Dünya Güneş mesafesinin değişimi.....	21
Şekil 2.9. Ozon miktarına bağlı olarak soğurulan enerji oranı.....	26
Şekil 2.10. Dünyaya gelen güneş radyasyonuna bulutların etkisi.....	29
Şekil 2.11. Güneş ışınımının bulut kalınlığına bağlı olarak yansıtma, geçirgenlik ve soğurma bantları.....	30
Şekil 2.12. Piranometrenin içyapısı.....	32
Şekil 2.13. Piranometre (Kipp & Zonen CM21/CM22).....	33
Şekil 2.14. Pirhelyometre (Hukseflux DR01).....	34
Şekil 2.15. Gölge bantlı piranometre.....	34
Şekil 2.16. Helyograf (Campbell-Stokes).....	35
Şekil 2.17. Sabit yörüngeli uydu.....	37
Şekil 2.18. Kutupsal yörüngeli uydu.....	39
Şekil 2.19. Meteosat ikinci nesil uydusu (MSG).....	41
Şekil 2.20. SEVIRI enstrümanı.....	43
Şekil 2.21. SEVIRI dünya görüntüleme prensibi.....	45

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. MSGView programının arayüz görüntüsü	59
Şekil 4.2. Model çıktılarına göre Türkiye'deki 3610 grid noktasının merkezleri	63
Şekil 4.3. 2007 yılı yıllık ortalama global güneş radyasyonu dağılım haritası	64
Şekil 4.4. İstasyonların Türkiye haritası üzerindeki yerleri	66
Şekil 4.5. Altı istasyonun aylık ortalama global güneş radyasyonu gözlem ve model verileri arasındaki farkların dağılımı	68
Şekil 4.6. Uydu tabanlı aylık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin yer ölçümlerinin aylık ortalamalarına göre saçılım grafiği	69
Şekil 4.7. Altı istasyonun, 12 aylık ortalama global güneş radyasyonu gözlem ve model verilerinin karşılaştırılması	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a	Azimut (azimuth) açısı
c	Işık hızı ($2,998 \times 10^8$ m/s)
CAL_offset	Sapma değeri ($\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}(\text{cm}^{-1})^{-1}$)
CAL_slope	Eğim değeri ($\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}(\text{cm}^{-1})^{-1}$)
f	Frekans (hertz)
h	Plank sabiti ($6.6260693 \cdot 10^{-34}$ Js)
H_{beam}	Direk radyasyon
H_{dif}	Difüz radyasyon
H_g	Global radyasyon
I_{gs}	Güneş Sabiti (1367 W/m ²)
I_λ	Tayfsal ışınım
k	Boltzmann sabiti ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K)
L/L₀	Dünya-güneş uzaklığı
m	Optik hava kütlesi
R	Radyans ($\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}(\text{cm}^{-1})^{-1}$)
S	Gün uzunluğu
T	Sıcaklık (Kelvin)
δ	Deklinasyon Açısı
θ_z	Zenit (zenith) açısı
λ	Dalga Boyu
s	Güneşlenme süresi
Ø	Enlem

Kısaltmalar	Açıklama
AWOS	Otomatik Hava Gözlem İstasyonu (Automated Weather Observation Station)
ESA	Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency)
ESD	Dünya-Güneş Mesafesi (Earth-Sun Distance)
EUMETSAT	Avrupa Uyduları İşletme Merkezi (European Meteorological Satellite Administrator)
HRIT	Yüksek hızlı bilgi iletimi (High Rate Information Transmission)
HRV	Yüksek çözünürlüklü görünür kanal (High Resolution Visible Channel)
IR	Kızılötesi (Infrared)
LRIT	Düşük hızlı bilgi iletimi (Low Rate Information Transmission)
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MSG	Meteosat İkinci Nesil Uydusu (Meteosat Second Generation)
NIR	Yakın Kızılötesi (Near Infrared)
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
SEVIRI	Görünür ve Kızılötesi Görüntüleyici (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager)
VIS	Görünür kanal (Visible Channel)

1. GİRİŞ

Atmosferde meydana gelen olayların başlıca fiziksel nedeni güneşten gelen ışıdır. Enerji kaynakları bugün sahip olduğumuz medeniyetin temel taşlarından birini oluşturmaktadır. Bu kaynakların başında ise kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil yakıtlar gelmektedir. Ancak, binlerce yılda oluşmuş olan fosil kaynaklar, sanayinin gelişmesiyle birlikte hızla tüketilmeye başlanmıştır. Bu kaynakların ömrü birkaç yüzyıl kadardır. Dünya enerji ihtiyacının % 88'ini karşılayan fosil yakıtların kullanımı, çevre kirliliğinin artmasına ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır (Akkaya, S., 2007). Fosil yakıtların atıkları, hava, su ve toprağı kirletmektedir. Dolayısıyla, hem fosil kaynakların sınırlı olması hem de bu kaynakların kullanımı sonucu meydana gelen çevre kirliliğı nedenleri ile enerji üretiminde yenilenebilir, çevreyle uyumlu kaynakların araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, katı atık ve gelgit enerjileri yenilenebilir enerji kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu enerji kaynaklarının arasında güneş, en önemli potansiyele sahip yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Güneş enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır. Doğal enerji kaynaklarının pek çoğunun kökeni olan güneş enerjisinden, ısıtma ve elektrik elde etme gibi amaçlarla doğrudan yararlanılmaktadır. Güneş enerjisi, çevre açısından temiz bir kaynak olma özelliğinden dolayı fosil yakıtlara karşı güçlü bir alternatiftir. Yeryüzüne her yıl düşen güneş ışıdırı enerjisi, yeryüzünde şimdiye kadar belirlenmiş olan fosil yakıt yataklarının yaklaşık 160 katı kadardır. Ayrıca yeryüzünde fosil, nükleer ve hidroelektrik tesislerinin bir yılda üreteceğı enerjiden 15000 kat kadar daha fazladır (Varınca, Kamil B., Gönüllü, M.Talha, 2006). Bu bakımdan güneş enerjisinin insanların faydalanabileceğı şekilde, verimli sistemlerle uygun ve kullanılabilir bir enerji türüne dönüştürülebilmesi, canlı doğanın geleceğı için önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında yer alan güneş enerjisi, hem sahip olduğu mevcut potansiyel hem de üretim teknolojileri bakımından farklı ve önemli bir yere sahiptir. Dünyanın gereksinim duyduğu enerjinin çok büyük kısmı, Güneş tarafından sağlanıyor. Burada temel sorun, güneş enerjisini ulaşılabilir bir maliyetle diğer enerji

türlerine dönüştürmektir. Dönüşüm maliyetinin uygun değerlere indirilmesi halinde; diğer enerji türlerine ihtiyaç kalmayacaktır.

Yaşamın sürdürülebilmesi için vazgeçilmez bir unsur olan güneş enerjisi, son günlerde iklim değişikliğinin insan yaşamı üzerindeki etkilerinin giderek artmasıyla birlikte, üzerinde daha çok çalışılması gereken bir konu olmuştur.

Yukarıda belirtilen hususlar nedeniyle, şu anda temel çalışmalar güneş enerjisi potansiyelini belirlemeye yöneliktir. Bu amaçla yapılan meteorolojik gözlemler, insan gücü ve önemli ekonomik yatırımlar gerektirmektedir. Güneş gözlem cihazları, meteorolojik gözlem sistemleri içerisinde hemen hemen en pahalı olanlarıdır. Gözlem cihazlarının pahalı olması, cihazların bakım ve kalibrasyonunun yeterli şekilde ve sıklıkta yapılamaması, verilerin iletiminde ve saklanmasında yaşanan problemler, deneyimli ve yeterli eleman olmaması gibi problemler, gözlem istasyonlarının kurulmasını ve işletimini olumsuz yönde etkilemektedir.

Yer gözlemlerinde yaşanan bu sıkıntılar, bilim insanlarını güneş verisi elde etmek amacı ile radyasyon tahmin modellemesi çalışmalarına doğru yönlendirmiştir. Önceleri sadece yer istasyonlarından alınan verilerle yapılan modelleme çalışmaları, daha sonraları uydu teknolojisinin gelişmesiyle birlikte; hiçbir yer verisine ihtiyaç duymadan ve sadece uydu görüntüleri kullanılarak yapılmaya başlanmıştır. Uydu görüntülerinin çözünürlüğüne bağlı olarak çok daha kısa mesafeler için güneş radyasyonu tahmini yapılabilmektedir.

Güneş radyasyonu tahmininde uydu görüntülerinin kullanılması ile model çalışmaları ivme kazanmıştır. Uydu tabanlı radyasyon tahmin modellerini üç ana başlık altında toplayabiliriz. Bunlar; fiziksel (dinamik) modeller, istatistiksel modeller ve melez modellerdir. Fiziksel modeller, radyasyon transfer denklemlerini kullanarak yatay yüzeye gelen güneş radyasyonunu belirlemeye çalışırlar. Gautier ve ark.(1980) tarafından yapılan çalışma, uydu tabanlı fiziksel modellerin en bilinen örneğidir. Bu model, enerjinin korunumu ilkesine dayanmakta olup iki temel unsurdan oluşmaktadır. Bu unsurlar; açık ve bulutlu hava yaklaşımlarının çözümlemesidir.

Temel mantık, uydu algılayıcısına gelen radyasyonun, atmosferin tepe noktasında yatay yüzeye gelen güneş cinsinden ifade edilmesidir.

İstatistiksel modeller ise, uydu sayma sayıları, yansıma ve ilgili yer ölçümleri arasındaki ilişkilere dayanır. Cano ve ark. (1980) tarafından gerçekleştirilen istatistiksel yaklaşım ise bilinen en yaygın istatistiksel modellemedir. Modelde ilk aşama bulut miktarının belirlenmesidir. Bunun için uydu verilerinden bulut indeksleri hesaplanmıştır. Bulut indeks haritası, mevcut uydu görüntüleri ile referans bir albedo haritasının kıyaslaması ile elde edilmelidir. Bulut indeksinin belirlenmesinden sonra, güneş radyasyonu gözlem verileri kullanılarak atmosferik geçirgenlik faktörleri hesaplanır. Bu faktörler ile bulut indeksi arasında aranan regresyon denkleminde model oluşturulmuştur.

Melez modeller ise basit fiziksel bir yaklaşımı kullanmanın yanı sıra gözlemlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesini de içerdiğinden melez olarak adlandırılmıştır. Oldenburg Üniversitesindeki bir çalışma grubu tarafından tasarlanan model Diabate ve ark. (1988) tarafından geliştirilmiştir. Model, açık ve bulutlu hava yaklaşımı olarak iki ana bölümde değerlendirilir.

Bu tez çalışmasında kullanılan model, istatistiksel bir modeldir. İstatistiksel modellerde ilk olarak yer ölçümlerine dayanan güneş radyasyonu verileri kullanılmıştır. Bu modellerin en yaygını, Angstrom- Prescott (Angström 1924, Prescott 1940) ilişkisi olarak bilinir. Model, yer verilerine dayanan güneşlenme sürelerini kullanarak global güneş radyasyonunu tahmin eden doğrusal bir denklemdir. Gopinathan (1988), Soler (1990) ve Wahap (1993) gibi pek çok araştırmacı, tahmin edilen güneş radyasyon verisinin doğruluğunu artırmak amacı ile Angström formülüne değişik meteorolojik parametreler ilave etmişlerdir.

Akınoğlu ve Ecevit (1990), Angström denkleminin kuadratik formunu elde etmek amacı ile yüz istasyona ait güneşlenme verilerini kullandılar. Orijinal doğrusal denklemi kuadratik formda türetmişlerdir. Bu yaklaşım, yapılan tüm istatistiksel analizlerle küresel olarak geçerliliği kanıtlanmış bir yaklaşımdır. Eğer küresel olarak

herhangi bir yer için aylık ortalama güneşlenme süresi verileri mevcut ise; model, ilgili yer için aylık ortalama global güneş radyasyonu kabul edilebilir bir yaklaşıklıkla tahmin eden iyi bir yaklaşımdır.

Uydu verilerinin güneş radyasyonunun tahmininde kullanılmaya başlanması ile birlikte modelleme çalışmaları ivme kazanmıştır. Bu amaçla, Kandırmaz (2006) yaptığı çalışmada, bulut indeksi ile günlük güneşlenme süreleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için uydu tabanlı bir model önermiştir. Modelde günlük olarak güneşlenme süresi verileri ile uydu görüntülerinden türetilen günlük ortalama bulut indeksi verileri arasında doğrusal istatistiksel ilişki elde edilmiştir ve test edilmiştir. Günlük güneşlenme süresi değerleri 1,66 gün/saat RMSE ile tahmin edilmiştir, çözünürlüğü yaklaşık 7x7 km olan görüntüler kullanılmış ve 6 aylık bir süre için Türkiye’de 12 ilin güneşlenme süresi dağılım haritaları üretilmiştir.

Orijinal yer tabanlı kuadratik model, ODTÜ, Fizik Bölümü ve MGM’den kurulu bir ekip tarafından gerçekleştirilen bir çalışma ile uydu tabanlı kuadratik bir modele dönüştürülmüştür (Aksoy ve ark. 2011). Anılan bu çalışmada model, yer gözlem veri seti gerekliliğinden kurtarılarak; uydu veri setine bağımlı hale getirilmiştir. Uydu tabanlı kuadratik model, Türkiye’den seçilen 5 istasyonun bir yıllık (2004 yılı) Meteosat 7 uydu verileri kullanılarak geliştirilmiştir. İlk olarak, uydu görüntülerinin piksel değerlerinden türetilen bulut indeksleri hesaplanmıştır. Bulut indeksi ile güneşlenme süresi arasındaki doğrusal ilişki elde edilmiştir. Türkiye’deki 5 istasyonun (Sinop, Ankara, İzmir, Afyon, Bursa) verileri kullanılarak regresyon analizleri yapılmıştır. Bulut indeksi ile güneşlenme süreleri arasındaki doğrusal ilişki kuadratik formülde yerine konularak; Uydu Tabanlı Kuadratik Model olarak adlandırdıkları modeli geliştirmişlerdir. Bu model, ilgili istasyonların aylık ortalama bulut indeksleri kullanılarak global güneş radyasyonunu hesaplayan bir eşitliktir. Hiçbir yer verisi kullanmadan güneş radyasyonunu hesaplayan bu model ile uydu performansına bağlı olarak istenilen çözünürlükte veri elde etmek mümkündür.

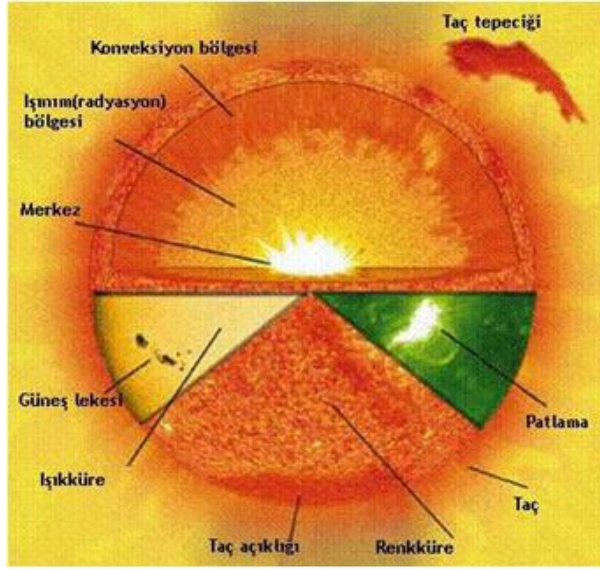
Aksoy ve ark.(2011) tarafından geliştirilen bu model esas alınarak, bu tez çalışmasında uydu görüntülerinden elde edilen veriler kullanılarak, Türkiye’de global

güneş radyasyonu hesaplamaları yapılmıştır. 2007 yılı için, her 15 dakikada bir EUMETSAT tarafından sağlanan, MSG-2 uydusu SEVIRI radyometresi görüntülerinden türetilen bulut indeksleri, uydu tabanlı kuadratik model yaklaşımında uygulanarak; global güneş radyasyonu verileri hesaplanmıştır. Türkiye sınırları için $0,2^{\circ} \times 0,2^{\circ}$ çözünürlükte 3610 nokta için bulut indeksi hesaplayan bir algoritma geliştirilmiştir. Altı yer meteoroloji gözlem istasyonundan alınan güneş radyasyon verileri ile modelden hesaplanan veriler karşılaştırılmıştır. Bu model kullanılarak global güneş radyasyon değerleri, % 9,0 bağıl hata oranı ile hesaplanmıştır.

2. TEORİ

2.1. Güneş

Güneş, hemen hemen mükemmel bir küre şeklinde olup, basıklığı yalnızca 9 milyonda birdir (Godier ve Rozelot, 2000). Yani kutuplar arası çapı ile ekvator çapı arasında bulunan fark yalnızca 10 km'dir. Güneş plazma halindedir ve katı değildir. Bu nedenle; kendi eksenini etrafında dönerken kademeli olarak döner. Yani ekvatorunda, kutuplarda olduğundan daha hızlı döner. Bu gerçek dönüşün periyodu ekvatorunda 25 gün, kutuplarda 35 gündür. Güneş'in belirli sınırları yoktur. Dış katmanlarında, merkezinden uzaklaştıkça gaz yoğunluğu üstel olarak azalır. Ancak güneşin belirgin bir iç yapısı bulunur. Güneşin yarıçapı merkezinden ışık yuvarının (fotosfer) kenarına kadar ölçülür. Bu, hemen yukarısında gazların önemli miktarda ışık saçamayacak kadar çok ince olduğu katmandır. Işık yuvarı çıplak gözle görülen yüzeydir. Güneş çekirdeği; toplam hacminin %10'una, toplam kütesinin % 40'ına sahiptir (Cohen, 2007). Güneşin çapı dünyanın çapının 109 katı (1,5 milyon km), hacmi 1,3 milyon katı ve ağırlığı 333000 katı kadardır. Güneşin yoğunluğu ise dünyanın yoğunluğunun 1/4'ü kadardır. Güneşin yüzey sıcaklığı 5500 °C ve çekirdeğinin sıcaklığı ise 15,6 milyon°C' dir. Güneşten çıkan enerjinin iki milyonda biri yeryüzüne ulaşır. Güneş ışınları 8,44 dakikada yeryüzüne ulaşır. Güneş dünyaya en yakın yıldızdır. Çekim kuvveti, dünya yer çekiminin 28 katıdır. Güneşin kütesinin % 78,5'ini hidrojen, % 19,7'sini helyum, % 0,86'sını oksijen, % 0,4'ünü karbon, % 0,14'ünü demir ve % 0,54'ünü de diğer elementler oluşturmaktadır (Strobel, 2007).



Şekil 2.1. Güneşin yapısı
(<http://www.nasa.gov/missionpages/sunearth/spaceweather>)

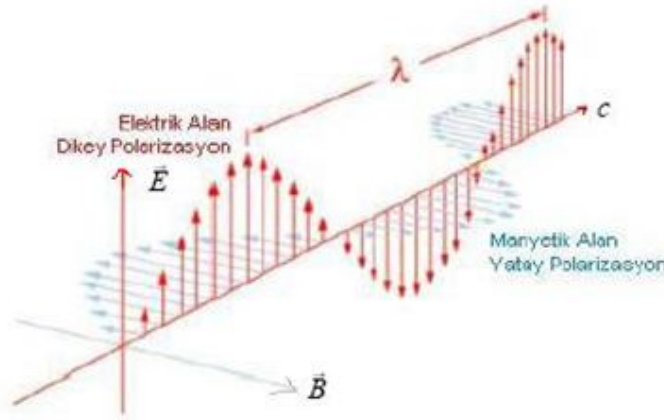
Şekil 2.1’de güneşin yapısı görülmektedir. Güneş çekirdeği, merkezde proton-proton zincirleme tepkimesi diye adlandırılan aşamalardan oluşan ve hidrojeni helyuma çeviren nükleer füzyon ile oluşur. Çekirdek, füzyon ile önemli derecede ısı oluşturulan tek yerdir. Yıldızın geri kalanı çekirdekten dışarıya doğru transfer edilen enerjiyle ısınır. Çekirdekte füzyonla oluşan tüm enerji arka arkaya gelen katmanlardan geçerek uzaya gün ışığı ve parçacıkların kinetik enerjisi olarak yayılır. Ortaya çıkan gün ışığı kendi içerisinde farklı dalgalı boylarında fotonları taşımaktadır. Elektromanyetik dalgalar halinde hareket eden fotonlar yeryüzüne ulaşır. (Basu, S, Cohen H., Godier S., Manuel O.K.)

2.2. Elektromanyetik Radyasyon

Elektromanyetik spektrumun bir ucunda dalgalı boyları en büyük, enerjileri ve frekansları ise en küçük olan radyo dalgaları bulunur. Diğer ucunda ise; dalgalı boyları çok küçük, fakat enerji ve frekansları büyük olan X ve γ ışınları bulunur. Elektromanyetik radyasyon foton adı verilen ayrık enerji paketlerinden oluşur. Bir foton titreşim halindeki bir elektrik alan (E) ve titreşim halindeki bir manyetik alan

(M) bileşeninden oluşur. Bu fotonlar birbirlerine ve fotonun yayılma yönüne diktirler. Fotonun hareket yönü boyunca elektrik ve manyetik alan bileşenleri yön değiştirirler. Bir saniyede bu değişimler veya titreşimlerin sayısı frekans olarak adlandırılır ve Hertz (s^{-1}) ile ölçülür. Elektromanyetik radyasyonların ortak özellikleri şunlardır;

- Boşlukta düz bir çizgi boyunca yayılırlar.
- Hızları ışık hızına (yaklaşık 300 000 km/s) eşittir.
- Geçtikleri ortama; frekanslarıyla doğru orantılı, dalgalılarıyla ters orantılı olmak üzere enerji aktarırlar.
- Enerjileri, maddeyi geçerken, soğurma ve saçılma nedeniyle azalır.
- Elektromanyetik radyasyonlar, sinüzoidal yayılım yaparlar. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi elektromanyetik dalgaların elektriksel ve manyetik bileşenleri birbirine dik ve eş zamanlı olarak salınım yaparlar.



Şekil 2.2. Elektromanyetik dalgalar
(<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/waves/emwavecon>)

Sinüzoidal yayılımdaki hız, frekans ve dalgalı boyu parametreleri fotonun yayılımını açıklamaktadır. Hız (c); dalgalı boyu (λ) ile frekansın (f) çarpımına eşittir. Elektromanyetik radyasyonların hızları, ışık hızına eşittir. Bu nedenle formülde c , ışık hızını göstermektedir.

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.1)$$

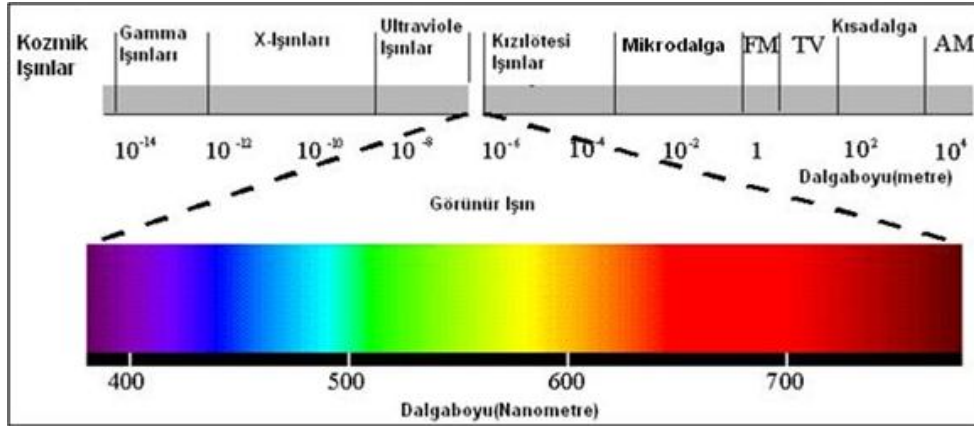
Fotonlar ışık hızı ile hareket ederler ve enerjileri frekansları ile doğru orantılıdır. Foton enerjilerini E sembolü ile gösterildiğinde, enerji formülü aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$E = h.f \quad (2.2)$$

Buradaki h Planck sabitini ($h = 6,6260693 \cdot 10^{-34}$ Js), f frekansı göstermektedir. Bu eşitlik daha önce verilen $c = \lambda.f$ eşitliğiyle birleştirilirse, enerji eşitliği aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \quad (2.3)$$

Elektromanyetik spektrum Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Elektromanyetik Spektrum

Radyo Dalgaları Bölgesi

Bu ışınların dalgaboyları $10^{10} - 10^{13}$ A°, frekansları $10^9 - 10^5$ Hertz ve enerjileri ise 10^{-9} eV kadardır. Radyo ve TV dalgaları, elektromanyetik spektrumun sahip oldukları en uzun dalgaboyuna sahiptir. Gezegen ve kuyruklu yıldızlar, büyük gaz bulutları, yıldız ve galaksiler gibi uzaydaki cisimler, çok farklı dalgaboylarında ışıklar yayarlar. Radyo dalgaları görünür bölge dalgalarından daha büyük olduğu için, radyo

teleskopları ile gözlenmektedir. Radyo teleskopları, kuyruklu yıldızlarda, çok büyük gaz bulutlarında, yıldızlarda, galaksilerde ve gezegenlerdeki olayların araştırılmasında oldukça fazla kullanılmaktadır. Bu kaynaklardan gelen radyo dalgalarının incelenmesiyle, astronomlar gezegenin yapıları, hareketleri ve bileşimini oluşturan maddeler hakkında çok şey ortaya koyabilmektedirler.

Mikrodalga Bölgesi

Uzun dalgaboyuna karşılık gelen ve mikrodalga bölgesinin başlangıcını oluşturan dalgaların, dalgaboyları 10^7-10^{10} Å, frekansları $10^{11}-10^5$ Hertz ve enerjileri ise 10^{-4} eV kadardır. Bu dalgalar, maddeleri oluşturan atom ve moleküllerle etkileşerek onların hareketlerinde meydana getirdikleri sürtünme nedeniyle ortaya ısı enerjisinin çıkmasına neden olmaktadır. Bu şekilde mikrodalgaya maruz kalan maddeler ısınmaktadır. Mikrodalgalar, sisli ortamlara, hafif yağmurlu ve karlı ortamlara, bulutlu ve dumanlı ortamlara nüfuz edebilmesi, bu dalgaları dünyayı uzaydan gözlemleyebilmek için oldukça önemli bir duruma getirmiştir. Kısa dalgaboylarına karşılık gelen mikrodalgalar, uzaktan algılama çalışmalarında da kullanılmaktadırlar. Hava tahminlerinde kullanılan Doppler radar sistemleri buna bir örnektir. Yine mikrodalgalar, gökyüzündeki hareketliliği izlemek, telefon ve bilgisayar verilerini bir şehirden başka bir şehre iletmek içinde kullanılmaktadırlar. Ayrıca ERS-1 uydusunun 7,5 cm uzunluğunda dalgaboyuna sahip C-bandı, JERS uydusunun 20 cm uzunluğunda dalgaboyuna sahip L-bandı birer radar algılayıcılarıdır.

Kızılötesi Bölgesi

Kızılötesi bölgeye karşılık gelen elektromanyetik dalga ışınımı, elektromanyetik spektrumun mikrodalga spektrumu ile görünür bölge spektrumları arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır. Spektrumun bu bölgesi kızılötesi ışınımı olarak adlandırılmaktadır. Kızılötesi ışınımın dalgaboyları $7 \times 10^3 - 10^7$ Å, frekansları $10^{15} - 10^{11}$ Hertz ve enerjileri ise 1 eV kadardır. Yakın, orta ve uzak kızılötesi olmak üzere üç bölgeye ayrılmaktadır. Kızılötesi ışınımının temel kaynağı, ısı ve ısı ışınımı olduğu için, herhangi bir cisim, kızılötesi olarak sıcaklık yayar. İnsan ve hayvan

vücutlarının kızılötesi ışınları yaymasının yanı sıra; dünya, güneş, yıldızlar ve galaksiler gibi uzak cisimler de kızılötesi ışınları yaymaktadırlar. Dünyayı gözlemleyebilmemiz ve dünya dışı gözlemler yapabilmemiz için, dünya yörüngesine yapay uydular yerleştirilmiştir. Araştırmacılar, NOAA, Meteosat ve Landsat gibi uydularla kızılötesi spektral yansımaları dikkate alan çalışmalar yapmaktadırlar. Uydulara yerleştirilmiş özel sensörlerle, dünya yüzeyinden yayınlanan veya yansıyan kızılötesi ışınlarının miktarına bağlı olarak veriler toplanmaktadır.

Görünür Bölge

Görünür ışık dalgaları, elektromanyetik dalganın sadece çıplak gözle görülebilen kısmına karşılık gelir. Bu dalgaların, dalgaboyları $4 \times 10^3 - 7 \times 10^3 \text{ \AA}$, frekansları $10^{16} - 10^{15}$ Hertz ve enerjileri ise 5 eV kadardır. Kırmızıdan başlayarak turuncu, sarı, yeşil, mavi, mor olmak üzere birbirinden farklı altı rengi kapsamaktadır. Buradaki her bir renk farklı bir dalgaboyuna karşılık gelmektedir. Güneş, görünür bölge dalgaları için doğal bir kaynaktır ve gözlerimiz, güneş ışınlarının çevremizdeki cisimler üzerinden yansımalarını görmektedir. Gördüğümüz bir cismin rengi, görünür bölgedeki yansıyan ışığın dalgaboylarına karşılık gelen renktir.

Morötesi (Ultraviyole) Bölge

Morötesi dalgaların frekansları $10^{17} - 10^{16}$ Hertz ve enerjileri ise 10 eV kadardır. Yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonunun yaklaşık % 5'ini oluşturur ve dalgaboyları 100-400 nm arasındadır. Morötesi radyasyon üç gruba ayrılabilir; 320-400 nm arasında UV-A, 280-320 nm arasında UV-B ve 200-280 nm arasında UV-C olmak üzere üç kategoride sınıflandırılabilir. Morötesi radyasyonun % 95-98'i UV-A, % 2-5' i UV-B'dir, UV-C yeryüzüne ulaşmadan stratosferik ozon tabakasında emilir. Yoğun olarak atmosferin stratosfer tabakasında bulunan ozon tabakasının, gelen ultraviyole radyasyonu soğurarak insanları bu ışınların zararlı etkilerinden koruması, doğal yaşamın sağlıklı bir şekilde sürdürülebilmesi için hayati bir önem taşımaktadır. Örneğin Hubble uzay teleskopu, yıldız ve galaksileri gözlemek için çoğunlukla, yakın morötesi ışınımına karşılık gelen dalgaboyunu kullanmaktadır.

X-Işınları Bölgesi

Elektromanyetik spektrumda ışığın dalgaboyu azaldıkça, enerjisi artmaktadır. X-ışınları, oldukça küçük dalgaboylarına sahip olduğu için bunların enerjileri büyüktür. X-ışınlarının dalgaboyları $1-100 \text{ \AA}$, frekansları $10^{19} - 10^{17}$ Hertz ve enerjileri ise $5 \times 10^2 - 5 \times 10^5 \text{ eV}$ kadardır. X-ışınları, bir dalga etkisinden daha çok parçacık etkisi göstermektedir. Dünya atmosferi, oldukça kalın olduğu için uzaydan dünya yüzeyine gelen hiçbir X-ışını, atmosferden yer yüzeyine nüfus edemez. Bu bizim yaşamımızı sürdürmemiz için önemli olmasına rağmen astronomi araştırmalarını oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle X-ışını detektör ve teleskoplarını, yapay uydulara yerleştirerek araştırmalar yapılmaktadır.

Gama Işını Bölgesi

Gamma ışınları kozmik ışınlardan sonra, elektromanyetik spektrumun en fazla enerjiye, en kısa dalgaboyuna sahip olduğu bölgesine karşılık gelir. Bu dalgalar, radyoaktif atomlar veya nükleer patlamalar sonucu oluşmaktadır. Gamma ışınları, ışığın en enerjik biçimine sahip olup evrenin en sıcak bölgeleri tarafından üretilmektedir. Gamma ışınlarının dalgaboyları $0,01-1 \text{ \AA}$, frekansları $10^{21} - 10^{18}$ Hertz ve enerjileri ise $5 \times 10^5 - 5 \times 10^6 \text{ eV}$ kadardır. Gamma ışını astronomi araştırmaları, atmosfer üzerindeki uydular ve uzay araçlarına yerleştirilen detektör sistemlerinden elde edilen görüntü çalışmaları neticesinde ilerletilmiştir.

Kozmik Işın Bölgesi

Dünyamız uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklarla sürekli olarak bombardıman edilmektedir. Yüksek enerjili parçacıkların büyük bir çoğunluğu atmosfere ulaşan nötronlar ve protonlardır. Kozmik ışınların yoğunluğu; güneş patlamalarına, yerin manyetik alanına ve yerküreden yüksekliğe bağlı olarak değişmektedir. Kozmik ışınların, dalgaboyları $0,001-0,01 \text{ \AA}$, frekansları $10^{22} - 10^{21}$ Hertz ve enerjileri ise $5 \times 10^7 \text{ eV}$ kadardır. Protonlar, elektrik yüklü parçacıklardan oluştuğu için atmosfere ulaştıklarında dünyanın manyetik alanının etkisine girerler. Bu nedenle kozmik ışın

yoğunluğu ekvator dan kutuplara gidildikçe artar. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar.

2.3. Güneş Işığı Spektrumu

Güneşten yayılan enerji düzgün olarak ve her yöne dağılmaktadır. Bu enerji yayılımı Eş. (2.4)'de gösterilen Planck'ın siyah cisim ışıması (black body radiation) formülüyle uyuşmaktadır.

$$I_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\left(e^{\frac{hc}{kT\lambda-1}} \right) \lambda^5} \quad (2.4)$$

Burada I_{λ} , ışınım şiddeti olmak üzere,

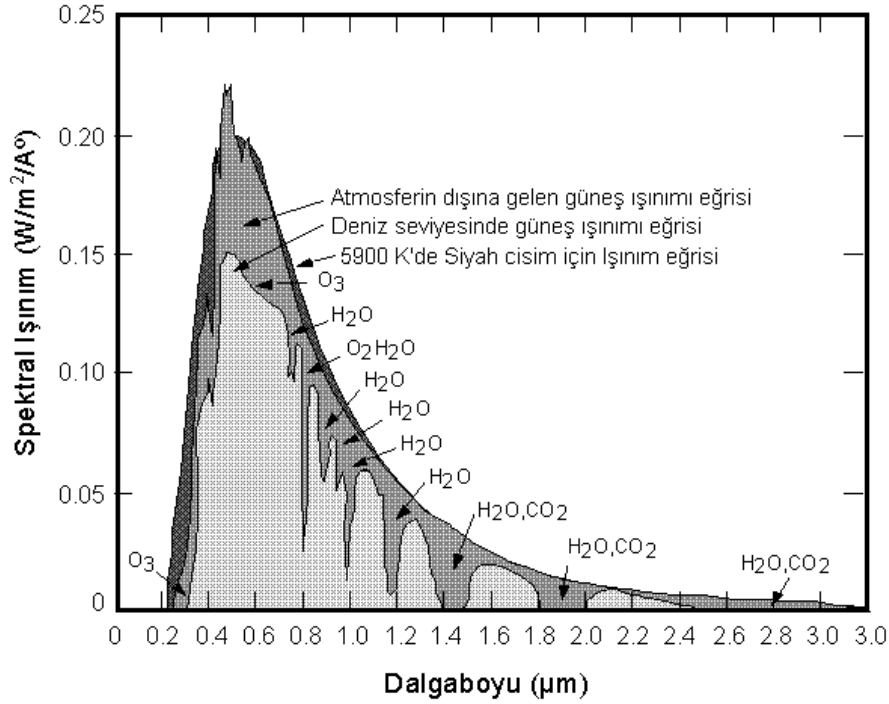
$h = 6,626 \times 10^{-34}$ J.s (Planck sabiti),

$k = 1,381 \times 10^{-23}$ J/K (Boltzmann sabiti),

$c = 2,998 \times 10^8$ m/s (ışık hızı),

T sıcaklığı, λ ise dalgaboyunu göstermektedir.

Eş. (2.4) incelendiğinde görülecektir ki; belli bir dalgaboyundaki ışığın şiddeti, dalgaboyuna ve sıcaklık derecesine bağlıdır. Şekil 2.4'de atmosferin dışına ve deniz seviyesine gelen güneş ışınımı eğrisi ile 5900 Kelvinde siyah cismin ışınım eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Güneş ışığı spektrumu
(<http://www.csr.utexas.edu/projects/rs/hrs/process.html>)

Yere ulaşan güneş ışınımının dalgaboyu aralığı 0,3–4,0 μm aralığındadır. Bu dalgaboyu aralığındaki radyasyon güneş radyasyonu veya kısa dalga boylu radyasyon olarak adlandırılır. Çizelge 2.1’de yeryüzeyine ulaşan güneş ışınımının spektral dağılımı verilmiştir. Yer yüzeyine ulaşan güneş ışınımının %7’si morötesi bölgesinin dalgaboyu aralığındadır ve bu dalgaboyu aralığında gelen ışınım atmosferik fotokimya da önemli bir rol oynar. Aynı zamanda atmosferin stratosfer ve mezosfer tabakalarını ısıtır. Bu ısınma stratosfer tabakasında yoğun olarak bulunan ozon tabakası tarafından, morötesi radyasyonun soğurulması sonucu gerçekleşir. 0,4-0,7 μm dalgaboyu aralığında yer yüzeyine ulaşan görünür ışınım ise güneş radyasyonunun % 45’ini içerir ve sadece güneş radyasyon bütçesi için değil dünyadaki hayat için önemlidir. Aynı zamanda bitkilerin fotosentez sürecinde de önemli bir yere sahiptir.

Çizelge 2.1. Güneş ışınımının spektral dağılımı

Işınım Türü	Dalgaboyu (μm)	Enerjideki oran
Morötesi (Ultraviyole)	0,1- 0,4	% 7
Görünür (Visible)	0,4-0,7	% 45
Kızılötesi (Infrared)	0,7-4,0	% 48

2.4. Güneş Sabiti

Dünya yörüngesinin dış merkezliliğinden dolayı Dünya - Güneş arasındaki uzaklık % 1,7 oranında değişmektedir. Dünya ile Güneş arasındaki açı 32° olduğunda Dünya- Güneş uzaklığı $1,49 \times 10^{11}$ m olup bir atmosferik birim olarak adlandırılır. Güneşten dünya atmosferinin dışına, ortalama Dünya - Güneş uzaklığında yatay birim alana birim zamanda dik gelen enerji miktarına güneş sabiti denir. Yapılan çalışmalarda, ortalama güneş sabiti değeri $I_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$ (Iqbal, M. 1983)'dir.

2.5. Dünya Atmosferi Dışına Gelen Güneş Işınımı (Ekstraterrestrial Radyasyon)

Atmosfer dışına, yatay birim alana birim zamanda gelen ışınım ekstrasferrestrial radyasyon (extraterrestrial radiation) denir. Atmosfer dışı ışınımı etkileyen iki etken vardır. Bunlardan birincisi güneşten yayılan enerjide oluşan değişimler ki, bunlar güneş lekelerindeki aktivitelerden etkilenir ve farklı periyotta değişimler gösterir. Yapılan ölçümlerle güneş sabitinin % 0,02 oranında her yıl azaldığı belirtilmektedir. İkinci etken ise, Güneş-Dünya mesafesinin değişken olmasıdır. Bu değişim, atmosfer dışı ışınımın $\pm \%3$ değişimine neden olmaktadır.

Atmosfer dışına gelen ışınımın hesaplanabilmesi için öncelikle;

- deklinasyon açısına (δ),
- zenit (zenith) açısına (θ_z),
- saat açısına (h),
- azimut (azimuth) açısına (a),

- gün uzunluğuna (S) ve
- Dünya-Güneş uzaklığına (L/L_0)

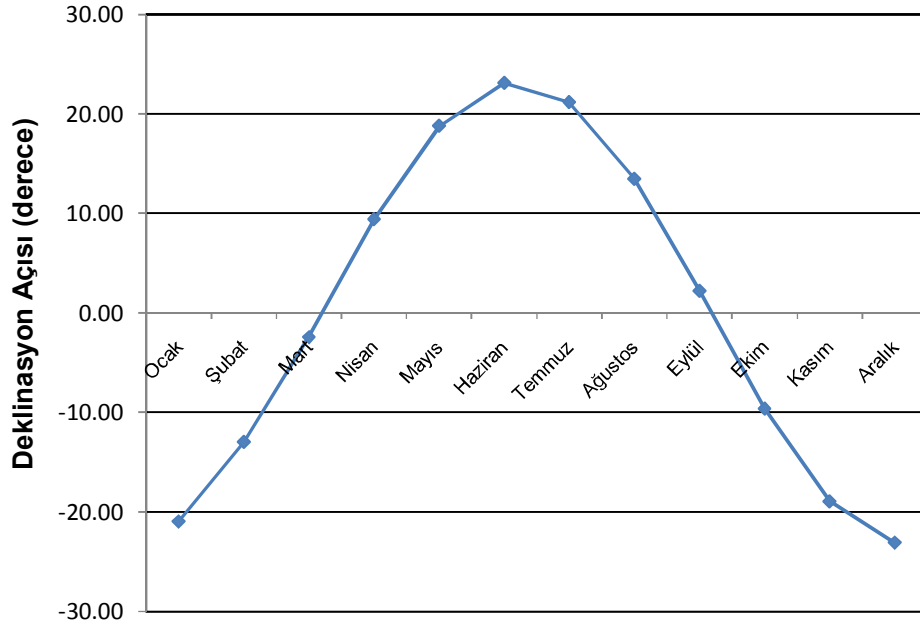
ihtiyaç vardır. Bu değişkenlerin bazıları atmosfer dışına yatay birim alana gelen enerjiyi direk olarak etkilerken bazıları dolaylı olarak etkilemektedir.

Deklinasyon açısı (δ),

Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Bu açı, dünyanın dönme ekseninin, yörünge düzleminin normali ile yaptığı açı $23^{\circ}27'$ lık açıdan ileri gelir. Ekinoks noktalarında; 21 Mart ilkbahar ekinoksu (K) ve 22 Eylül sonbahar ekinoksunda (K) deklinasyon açısı sıfır olur. Gün dönümü noktalarında (21 Haziran yaz gün dönümünde $23,45^{\circ}$ ve 21 Aralık kış gün dönümünde $-23,45^{\circ}$) mutlak değerce maksimum olur. Deklinasyon açısı (δ),

$$\delta = 23,45^{\circ} \sin \left[360 \frac{n + 284}{365} \right] \quad (2.5)$$

bağıntısı ile hesap edilmektedir. n , 1 Ocak'tan itibaren gün sayısı olmak üzere ampirik formüller ile (Cooper, 1969) hesaplanabilir. Çoğu zaman aylık ortalama deklinasyon açısına ihtiyaç duyulur. Her ayın belirli bir gününde aynı denklemlerle hesaplanan deklinasyon açısı iyi bir yaklaşımla aylık ortalama değerleri verir. Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi Şekil 2.5'de görülmektedir. Genellikle güneş ışınımı hesapları, bir ayın bütün günleri yerine; aylık ortalama değerler için ortalama deklinasyon açısına karşılık gelen günde yapılır.



Şekil 2.5. Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi

Saat açısı (h)

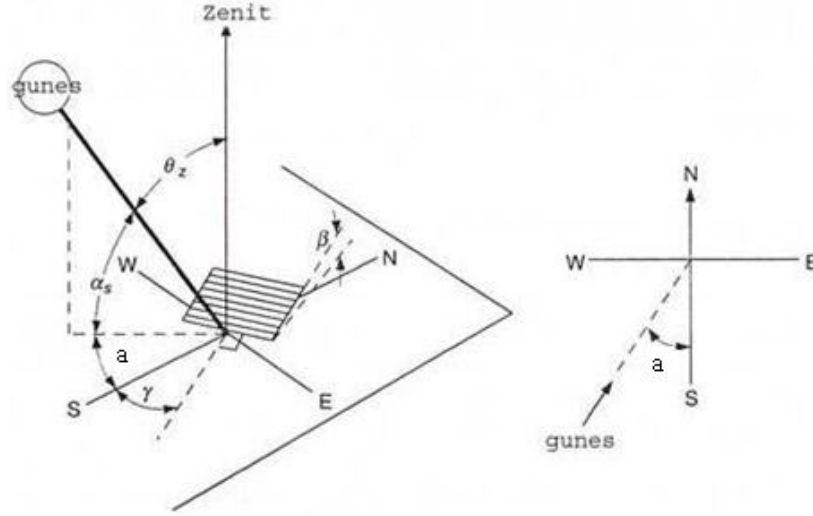
Göz önüne alınan yerin boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğrunun, yani güneş ışınlarının belirttiği boylam (güneş boylamı denilebilir) arasındaki açıdır. Saat açısı, güneş boylamının göz önüne alınan yerin boylamı ile aynı olduğu güneş öğlesinden itibaren ölçülür; öğleden önceleri (-), öğleden sonraları (+) işareti alınır. Bilindiği gibi, her 15° saat açısı (boylam farkı) zaman olarak 1 saate karşılık gelir.

Zenit (Zenith) açısı (θ_z)

Direkt güneş ışınlarının (güneşin doğrultusunun) yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır. Diğer bir deyişle güneş ışınlarının yatay düzleme geliş açısıdır. Yatay düzleme güneş ışınları dik geldiği zaman $\theta_z = 0^\circ$ dir (güneş zenitte iken), güneşin doğusunda ve batısında $\theta_z = 90^\circ$ olur. Atmosferin dışına gelen anlık güneş enerjisi miktarı, ortalama Dünya - Güneş uzaklığına ve zenit açısına aşağıdaki ifadeyle bağlıdır.

$$\cos\theta_z = \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos h + \sin\phi \cdot \sin\delta \quad (2.6)$$

Burada ϕ bulunulan yerin enlem açısı, δ deklinasyon açısı ve h saat açısıdır.



Şekil 2.6. Bazı güneş açıları

Şekil 2.6'da gösterilen güneş açıları,

α_s , Yükseklik açısı olup Güneş ışınımı ile yatay arasındaki açıdır. Tanımlamaya göre $\alpha_s = 90 - \theta_z$ olur.

a , Güneş azimut açısı olup güneş ışınlarının kuzeye göre, saat dönüş yönünde, sapmasını gösteren açıdır.

γ , Yüzey azimut açısı olup yüzeyin dikeyinin, yerel boylama göre, sapmasını gösteren açıdır. Güneye bakan yüzeyler için $\gamma = 0$ olur. Doğuya yönelen yüzeyde artı değer alır. Batıya yönelen yüzeyde eksi değer alır.

θ_z , Zenit açısı olup ışın ile yatay yüzeyin dikeyi arasındaki açıdır. Tanımlamaya göre $\theta_z = 90 - \alpha$ olur.

β , Eğim açısı olup yüzey ile yatay arasındaki açıdır. Ekvatora yönelen yüzey için artı değer alır.

Azimut Açısı (a)

Şekil 2.6'da gösterildiği gibi güneş ışınlarının kuzeye göre, saat dönüş yönünde, sapmasını gösteren açı olup, sinüsü ise Eş. (2.7) ile ifade edilir.

$$\text{Sina} = \frac{\cos \delta \cdot \sinh}{\sin \theta_z} \quad (2.7)$$

Gün Uzunluğu (S)

Güneşin doğuşu ile batışı arasındaki zamana gün uzunluğu denir. Zenit açısı yatay düzlemin normali ile Güneş - Dünya doğrultusundaki güneş ışınlarının yaptığı açı olduğundan, güneş doğuşunda ve batışında Güneş zenit açısı $\theta_z = 90^\circ$, Güneş öğlesinde Güneş zenit açısı $\theta_z = 0^\circ$ 'dir. Zenit açısı formülünde $\theta_z = 90^\circ$ yazılarak güneş doğuşu ve batışındaki saat açısının (h) cosinüs'ü;

$$\text{Cosh} = -\tan \delta \cdot \tan \phi \quad (2.8)$$

şeklinde verilir. Derece cinsinden gün uzunluğu (h),

$$h = \arccos(-\tan \delta \cdot \tan \phi) \quad (2.9)$$

şeklinde verilir ve saat cinsinden gün uzunluğu ise,

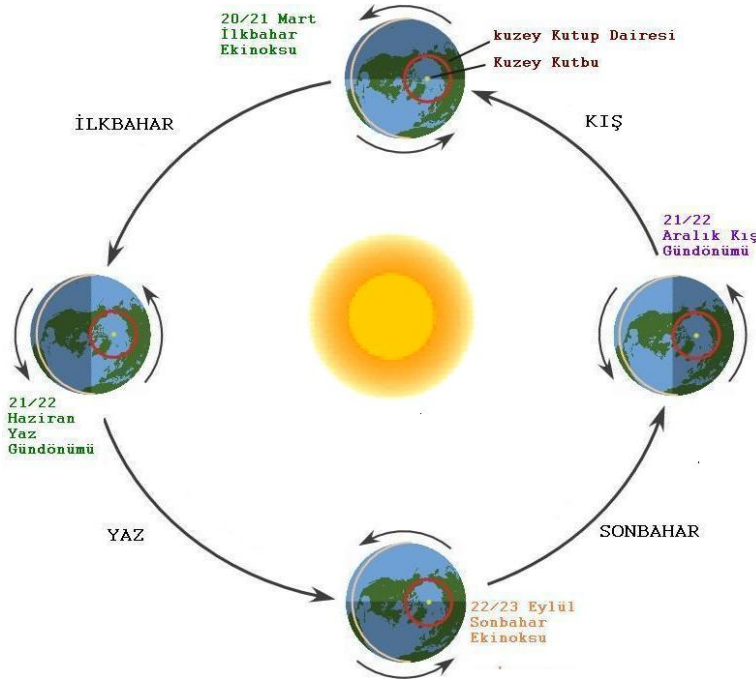
$$S = \frac{2}{15} \arccos(-\tan \delta \cdot \tan \phi) \quad (2.10)$$

ile hesaplanmaktadır (Duffie and Beckman 1974). Burada δ ilgili yerin enlemi, ϕ deklinasyon açısıdır.

Dünya- Güneş uzaklığı (L/L₀)

Her gezegen, Güneş etrafında daireye yakın eliptik bir yörünge etrafında döner. Dünyamız bu dönmeyi 365 gün 5 saat 48 dk 46 s'de tamamlar, bu süreye bir güneş yılı denir. Kepler kanununa göre, dünyamızın yörünge düzleminde dünya-güneş vektörü eşit zamanlarda eşit alanlar tarar. Dünya-güneş mesafesi değiştiğinden, dünyanın yörünge hızı da periyodik olarak değişir. Ayrıca dünya, yörünge düzleminin normalinden $23^\circ 27'$ açı yapan eksen etrafında döner. Eksenin eğikliği

mevsimlerin meydana gelmesine, gece ve gündüz uzunluğunun değişmesine sebep olduğu gibi güneş doğrultusunun günlere göre değişmesine de sebep olur (Şekil 2.7).



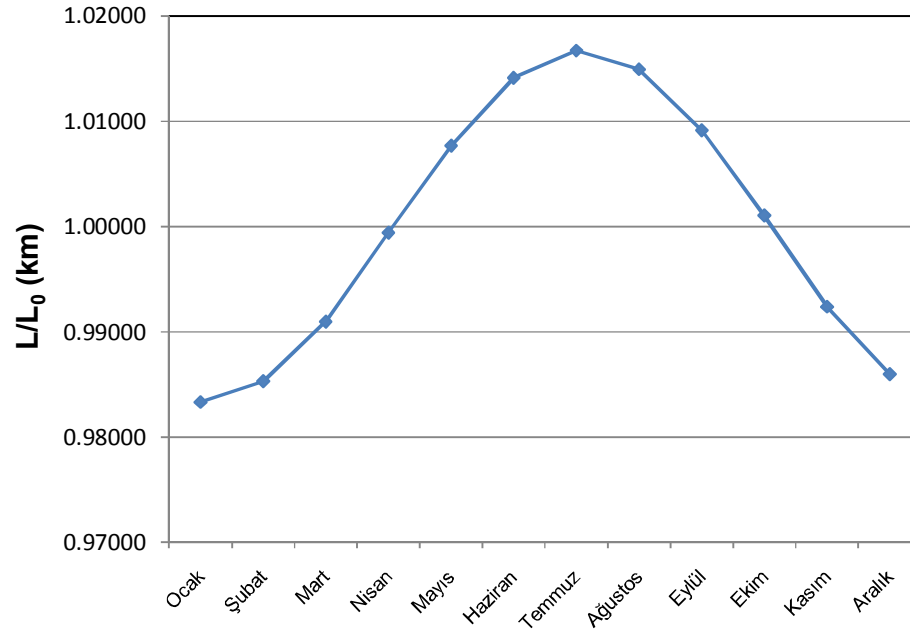
Şekil 2.7. Dünyanın Güneş etrafındaki hareketi

Dünyanın Güneş etrafındaki ve kendi eksenini etrafındaki hareketleri göz önüne alındığında, Dünya üzerindeki herhangi bir yerin enlem, boylam ve yüksekliği ile belirtilmesi ile polar koordinatlar kullanılarak güneşin gök küredeki hareketi yere göre incelenmelidir.

Dünya, kutuplardan basık, ekvator yarıçapı 6378 km, kutup yarıçapı ise 6357 km küreye yakın bir şekle sahiptir. Dünya ile Güneş arasındaki ortalama mesafe $1,496 \times 10^8$ km'dir. Yörünge eliptik olduğundan ve Güneş tam merkezde bulunmadığından Dünya - Güneş mesafesi değişir. Bu mesafe 4 Temmuzda, maksimum (ortalama mesafeden % 1,7 kadar büyük) 3 Ocakta minimum (ortalama mesafeden % 1,7 kadar küçük) olur. Ortalama mesafe L_0 ve Dünya Güneş uzaklığı L olmak üzere, L/L_0 'ın bazı günler için değeri Çizelge 2.2'de ve yıl boyunca değişimi Şekil 2.8'de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Dünya - Güneş mesafesinin bazı günler için değeri (Kılıç, A. ve Öztürk, A, 1983)

Aylar	L/L ₀	Aylar	L/L ₀
Ocak	0,98334	Temmuz	1,01672
Şubat	0,98531	Ağustos	1,01495
Mart	0,99097	Eylül	1,00914
Nisan	0,99941	Ekim	1,00107
Mayıs	1,00770	Kasım	0,99239
Haziran	1,01413	Aralık	0,98598
$L_0=1,495985 \times 10^8$ km			



Şekil 2.8. Dünya Güneş mesafesinin yıl boyunca değişimi

2.6. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı

Yeryüzüne gelen güneş ışınımı, ışınımın atmosferde aldığı yola ve atmosferin soğurma ve saçılma etkilerini kapsayan toplam azaltma miktarına bağlıdır. Güneş ışınımı, atmosferde esas olarak su buharı, ozon, oksijen ve karbondioksit tarafından yutulur, hava molekülleri, su buharı molekülleri ve aerosoller tarafından saçılır.

2.6.1. Güneş ışınımının atmosferde aldığı yol

Güneş ışınımının atmosferi geçerken aldığı yol, ışının geliş doğrultusuna göre değişir. Bu sebeple yeryüzüne ulaşan enerji miktarı da ışının aldığı yola bağlıdır. Normal basınçta güneş ışınımının herhangi bir doğrultuda atmosferi geçerken aldığı yol, güneş zenit'te iken aldığı yola oranına 'bağıl optik hava kütlesi' denir. Zenit açısı, $\theta_z = 0^\circ$ şartında güneş ışınımının aldığı yol birim kabul edildiğine göre, bağıl optik hava kütlesi,

$$m = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (2.11)$$

olarak yazılabilir. Burada θ_z zenit açısıdır. Herhangi bir basınçta güneş ışınımının atmosferde kat ettiği mesafenin güneşin zenitte bulunduğu zamanda kat ettiği mesafeye oranına "mutlak hava kütlesi" denir.

Dik gelen radyasyon için, solar ışının 1,0'luk bir hava kütlesinden geçtiği varsayılır. 80°den büyük açılar için hava kütlesi sonsuza ulaşır ve bu durumda; Çizelge 2.3'de Robinson (1996) tarafından verilen değerler kullanılabilir. Hava kütlesi normal olarak deniz seviyesinde alınır ve z yüksekliğindeki bir yerdeki hava kütlesi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$m_z = m_0 \left(\frac{p_z}{p_0} \right) \quad (2.12)$$

m_z , z yükseklikteki hava kütlesi, m_0 , deniz seviyesindeki hava kütlesini, p_z , z yükseklikteki hava basıncı ve p_0 ise deniz seviyesindeki hava kütlesini göstermektedir.

Çizelge 2.3. 80°'den büyük doruk açıları için hava kütlesi

Doruk Açısı	Hava kütlesi
80	5,63
85	10,69
86	12,87
87	16,04
88	20,84
89	28,35
90	29,94

2.6.2. Güneş ışınımına atmosfer etkisi

Atmosferde ilerleyen güneş ışınımı (radyasyon), moleküler parçacıklar, aerosol ve bulutların etkisi ile soğurulur, yansıtılır ve saçılır. Bundan dolayı yeryüzüne ulaşan enerjinin değeri oldukça azalmaktadır. Elektromanyetik radyasyonun dünya atmosferine girdikten sonra, atmosferde meydana gelen olaylar;

1. Saçılma,
2. Soğurulma,
3. Yansıma olarak sıralamak mümkündür.

Su buharı ile zengin olan atmosferi oluşturan gaz kütlesi yeryüzüyle güneş arasına yerleşmiştir. Güneşten atmosfere giren elektromanyetik enerji %100 kabul edilirse, enerji atmosfere girdikten sonra yaklaşık olarak aşağıdaki gibi bölünür.

- %31'i doğrudan güneş radyasyonu ile gelir.
- %23'ü bulutlar ve atmosfer etkisi ile uzaya yansır.

- %17'si atmosfer tarafından emilir.
- %16'sı dağılmaya uğrar.
- %0.6'sı havadaki toz parçacıkları ile dağılır.
- %0.7'si toprak yansımaya uğrar (Altınışık, 1998).

2.6.3. Güneş ışınımının atmosferde saçılması

Güneş ışınımı atmosferden geçerken ortamda bulunan hava molekülleri, su buharı, toz ve aerosoller tarafından saçılır. Atmosferdeki pus, duman, sis ve bulutlar aerosol olarak kabul edilebilir. Atmosferdeki aerosoller kaynakları ikiye ayrılabilirler. Aerosoller doğrudan kaynaktan parçacık şeklinde yayıldıkları gibi (rüzgârın etkisiyle toz ve bacalardan çıkan parçacıklar) atmosferde gaz fazındaki kimyasal reaksiyonlardan da oluşabilir.

Saçılma, ışınımın dalgaboyuna ve ışınımın geçtiği parçacıkların boyutlarına bağlıdır. Saçıcı parçacıkların yarıçapı (r), gelen ışınımın dalgaboyundan (λ) çok küçük ise ($r < 0,1\lambda$) Rayleigh saçılması (moleküler saçılma) meydana gelir. Rayleigh saçılma katsayısı $1/\lambda^4$ ile değişmektedir.

Rayleigh saçılması, görünür ışınım bölgesinde (0,3-0,7 μm) daha etkilidir. Işınımın dalgaboyu küçüldükçe, saçılma daha fazla olmaktadır. Rayleigh saçılmasında maksimum saçılma, ileri ve geri yönlerde eşit şiddette, minimum saçılma ise ışının gelme doğrultusuna dik yönde meydana gelir. Gündüzleri atmosfere gelen mavi, yeşil ve kırmızı dalgaboylarındaki güneş ışığı içerisinde mavi dalgaboyunun büyük bir kısmı kendinden daha küçük gaz molekülleri tarafından dağıtılır. Yeşil ve kırmızı dalgaboyları yeryüzüne kadar ulaşır. Bu nedenle gökyüzü mavi olarak görülür. Güneş batarken aynı işlem tekrarlanır. Ancak mavi ışığın tümü, bazen de yeşil dalgaboyu atmosferdeki gaz molekülleri tarafından dağıtıldığından yeryüzüne bir miktar yeşil ışıkla birlikte kırmızı ışık ulaşır. Bu nedenle güneş batarken renk yarı sarı veya kırmızıdır.

Işınımın saçılmasına neden olan parçacıkların yarıçapları (r) $0,1\lambda$ ile $0,25\lambda$ arasında ise Mie saçılması geçerlidir. Mie saçılması, ışının gelme yönüne dik doğrultuda simetrik değildir. Tanecik yarıçapı arttıkça ileriye doğru saçılma da artmaktadır. Atmosferde aerosoller tarafından saçılma genellikle Mie saçılması olarak kabul edilir. Bu olay özellikle atmosferin alt kısmında 4560 metrenin altında meydana gelmektedir.

Işınımın dalgaboyundan çok daha büyük boydaki atmosfer parçacıklarının, hiçbir dalgaboyundaki enerjiyi seçmeden dağıtması işlemine seçici olmayan saçılma denir. Atmosferin daha alt tabakalarında oluşan bu saçılma türü, parçacıkların (büyük toz parçacıkları, su damlacıkları vb.) ışınımın dalgaboyundan çok daha büyük olması durumunda gerçekleşir. Seçici olmayan saçılma olarak adlandırılmasının nedeni bütün dalgaboylarında gelen ışığın eşit olarak saçılmasıdır. Bu saçılımın gerçekleşmesi durumunda sis ve bulutlar beyaz (mavi + yeşil + kırmızı renklerin eşit saçılımı) renkte gözükecektir.

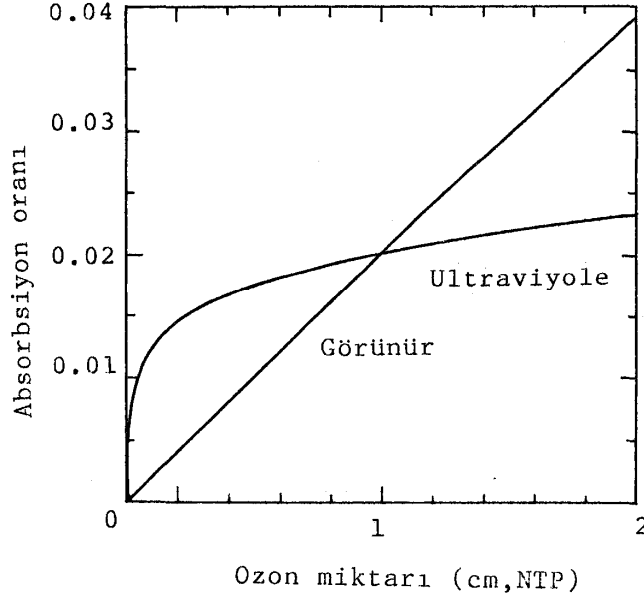
2.6.4. Güneş ışınımının atmosferde soğurulması

Elektromanyetik enerji atmosferden geçerken mevcut moleküller tarafından soğurulmaktadır. Bunun nedeni; poliatomik moleküllerin titreşim ve dönmelerinin değişik enerji seviyelerinde olduğu kadar, atom ve moleküle bağlı elektronların farklı enerji seviyelerine geçmesidir. Atmosferdeki belli başlı gazlar; oksijen (O_2), ozon (O_3), su buharı (H_2O), karbondioksit (CO_2)'dir.

Ozon tarafından soğurulma

Güneş enerjisi spektrumundaki ışınımın atmosferde soğurulması morötesi bandında büyük oranda ozona, kızılötesi bandında ise karbondioksit ve su buharına bağlıdır. Güneş ışınımı $0,22-0,29 \mu m$ arasındaki spektral bölgede stratosferde ozon tarafından soğurulur. Bu sebepten atmosferin alt seviyelerine morötesi ışınımın çok az bir kısmı ulaşır. Ozon tarafından soğurulma dalgaboyu arttıkça azalır. Morötesi ve görünür

bölgedeki soğurulma oranları Şekil 2.9’da verilmiştir. Atmosferdeki ozon miktarı aylara ve enlemlere göre değişir.



Şekil 2.9. Ozon miktarına bağlı olarak soğurulan enerji oranı (Dopplick, 1972)

Su buharı tarafından soğurulma

Soğurulma oranları ışınımın dalgaboyuna bağlı olduğu gibi ortamın basınç ve sıcaklığına da bağlıdır. Sıcaklık soğurulma bandının genişliğini ve şiddetini etkiler. Basıncın etkisi kuvvetli soğurulma bantlarında önemlidir. Sıcaklık, soğurulma bandının genişliğini ve şiddetini etkiler. Işınımın su buharı tarafından soğurulması, yakın – kızılötesi bölgede $0,7 < \lambda < 4 \mu\text{m}$ dalgaboyu aralığında çok kuvvetlidir.

Karbondioksit tarafından soğurulma

Karbondioksit soğurulma bantları kızılötesi ışınım bölgesinde yer alır. Yamamoto’ya (1961) göre 4,3, 2,7, 2,0, 1,6 μm dalgaboylarındaki bantlar karbondioksit tarafından soğurulma için önemlidir. Ancak bu dalgaboylarındaki soğurulma çok küçük olduğu için genellikle ihmal edilir.

Oksijen tarafından soğurulma

Güneş ışınımının oksijen tarafından soğurulması görünür ışınım bölgesinde 0,69 ve 0,76 μm bandında meydana gelmektedir. 0,26 μm 'den daha kısa dalga boylu ışınım bölgesinde (0,4-0,06 μm) sürekli bir soğurulma bandı vardır. Ancak her iki ışınım bölgesinde de soğurulma katsayıları çok küçüktür. Karbondioksit ve oksijenin toplam soğurma oranı yaklaşık 0,011 olarak verilmektedir.

2.6.5. Güneş ışınımının atmosferde yansımaları

Gelen güneş radyasyonunun atmosferik bir parçacıkla çarpışmasından sonra 180° yön değiştirmesidir. Bu yön değiştirme güneş radyasyonunda mutlak kayba neden olur. Yansıtmanın çoğu atmosferde bulutlarda, yani troposfer tabakasında meydana gelir. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımını etkileyen en önemli faktörlerden biri de bulutlardır. Güneş ışınımının bulutlardan tarafından saçılması, soğurulması ve yansıtılması bulutların kalınlıklarına ve mikro fizik özelliklerine bağlıdır. Bu yüzden farklı seviyedeki bulutlar, güneş ışınımını farklı şekilde etkilerler. Bir bulut ya da yüzeyden yansıyan elektromanyetik radyasyon miktarının, bulut ya da yüzeye düşen radyasyona oranına albedo denir ve bulut tipine göre 0,1 ile 0,9 arasında değişir. Albedo genellikle yüzde olarak verilir.

2.6.6. Bulutların güneş ışınımına etkisi

Alçak bulutlar güneş ışınımını en fazla azaltan bulutlardır. Taban yükseklikleri yerden itibaren 600-1500 metre arasındadır. Stratüs tipi bulutların taban yüksekliklerinin 100 metreye kadar düştükleri tespit edilmiştir. Alçak bulutlar, yarıçapları 1-60 μm arasında değişen sıvı damlacıklar içerirler. Taban ve tepe seviyeleri arasındaki yükseklik 200-800 metre arasındadır. Kümüülüs tipi bulutlarında bu yükseklik birkaç kilometreye ulaşabilmektedir.

Orta seviye bulutların taban yükseklikleri yerden yaklaşık olarak 2000-5000 metredir. Bu tip bulutlar yarıçapları 5-24 μm arasında değişen sıvı damlacıklar

içerirler. Altokümüslerin kalınlıkları 200-700 metre arasında değişirken, altostratüslerin kalınlıklarının ise 1000-2000 metre arasında değiştii tespit edilmiştir.

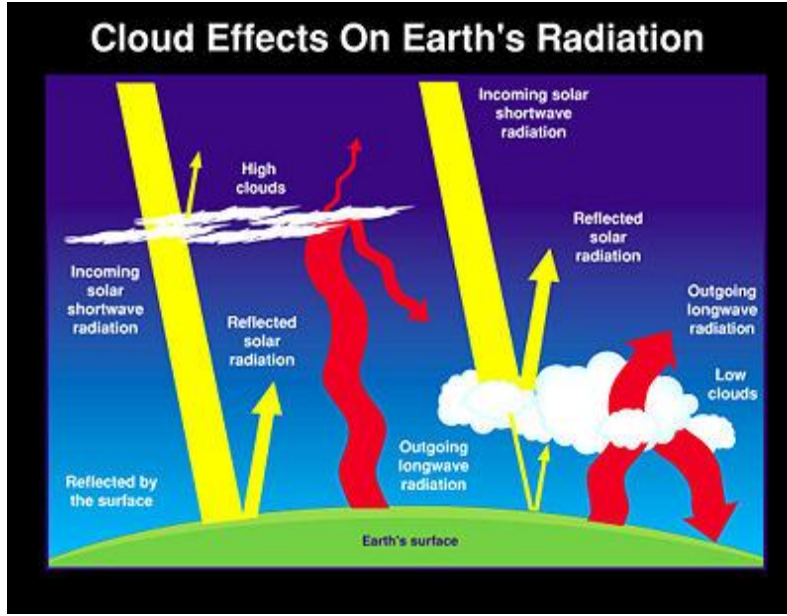
Yüksek seviye bulutların taban yükseklikleri ise 6000-10000 metre arasında olup, kalınlıkları 100-400 metre arasında değişmektedir. Cirrus tipi bulutların kalınlıkları 1-2 kilometreye kadar ulaşabilmektedir.

Bulutlu bir atmosferde direk ışınım kuru hava molekülleri ve aerosoller tarafından olduğu gibi bulutlar tarafından da kuvvetli bir şekilde saçılır. Yeryüzünden yansıyan toplam ışınım, bulutlar ve atmosfer bileşenleri tarafından tekrar saçılarak, bir kısmı uzaya yönelirken, bir kısmı da yeryüzüne geri döner. Şekil 2.10'da dünyamıza gelen güneş radyasyonuna bulutların etkisi gösterilmektedir.

Özellikle bulut kalınlığının ve kapalılığının fazla olduğu atmosferde yaygın ışınım, yeryüzeyi ve bulut tabanı arasındaki yansılardan önemli bir şekilde etkilenir. Bulutlu bir atmosferde soğurma, saçılma ve yansıtma etkileri, bulut tipinin yanı sıra bulutların güneşe göre konumlarına, kapalılığına, kalınlığına, tabaka sayılarına, bulut tabanının ve yeryüzeyinin albedosuna bağlıdır.

Güneşi örtmeyen parçalı bulutlu durumda, güneş belirli bir yükseklikte iken, yeryüzüne gelen toplam güneş ışınımı, açık bir günde gelen güneş ışınımı değerinden daha fazladır. Böyle bir durumda direk ışınım aynı kalacak, yaygın ışınım ise bulut varlığından dolayı artacaktır. Tamamen kapalı durumda, yer yüzeyine gelen toplam ışınım, açık bir günde gelen toplam ışınımdan daima azdır. Genel olarak bulut kapalılığı ile yer yüzeyine gelen ışınım arasında ters bir ilişki vardır.

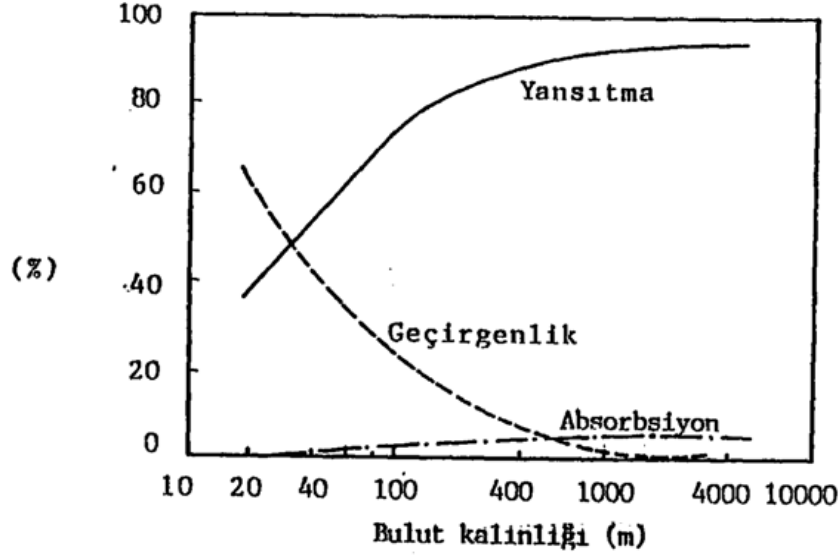
Alçak bulutlar direk ışınımı geçirmezler, yüksek bulutlar ise direk ışınımın hemen hemen yarısını geçirirler.



Şekil 2.10. Dünyaya gelen güneş radyasyonuna bulutların etkisi (<http://visibleearth.nasa.gov/view.php>)

2.6.7. Bulut geçirgenlikleri

Bulutların güneş ışınımını azaltmaları, geçirgenlikleri ile ifade edilir. Bulut geçirgenliği, buluttan yeryüzüne ulaşan toplam ışınımın açık bir günde gelen toplam ışınımına oranı olarak tanımlanır. Bulutların, yansıtma, soğurma ve geçirgenlikleri ile ilgili Hewson (1969) tarafından yapılan teorik hesaplama sonuçları, Şekil 2.11'de bulut kalınlığına bağlı olarak gösterilmiştir. Bulut tabakasının kalınlığı arttıkça geçirgenlik azalmakta ve 3000-4000 metre arasında sifıra yakın bir değer almaktadır. Soğurma ise bulut kalınlığı 500-600 metreyi geçtiğinde sabit kalmaktadır. Geçirgenlik ise bulut kalınlığı arttıkça azalmaktadır.



Şekil 2.11. Güneş ışınımının bulut kalınlığına bağlı olarak yansıtma, geçirgenlik ve soğurma bantları (Kondratyev, 1969)

Kasten ve Cezeplak (1980) tarafından yapılan bir çalışmada, ortalama geçirgenlik alçak seviye bulutları için 0,17, orta seviyeli bulutlar için 0,26 ve yüksek seviyeli bulutlar için 0,61 olarak verilmiştir. Bulutların güneş ışınımını yansıtma oranları, bulut albedosu olarak tanımlanır. Bulut albedosu, bulutun kalınlığı ile doğrusal olmayan bir şekilde artar. Çeşitli bulut tipleri için bulut albedo değerleri Çizelge 2.4'de verilmiştir (Kasten ve Cezeplak (1980)).

Çizelge 2.4. Bulut tipleri ve albedo değerleri

Bulut Tipi	Albedo (%)
Stratus (Stratus)	0,60
Nimbostratus (Nimbostratus)	0,66
Kümüls (Cumulus)	0,51
Kümülonimbus (Cumulonimbus)	0,51
Altostratus (Altostratus)	0,50
Sirrus (Cirrus)	0,20

2.7. Yere Ulaşan Güneş Işınımının Bileşenleri ve Gözlem Sistemleri

Doğrudan (Direct) Işınım (H_{beam}) : Güneşte, paralel ışınlar halinde yere ulaşan radyasyona doğrudan (direct) güneş radyasyonu denir. Herhangi bir atmosferik etkileşime girmeksizin ve yapısında değişme olmadan yere ulaşabilen güneş ışınımıdır.

Yayınık (Diffuse) Işınım (H_{dif}) : Güneşten atmosfere girmiş olan güneş radyasyonunun, bulutlar, kuru hava ve toz molekülleri tarafından çeşitli şekilde yansıtılıp dağıtıldıktan sonra yeryüzüne dönen kısmına yayınık (difüz) radyasyon denir.

Küresel (Global) Güneş Işınımı (H_g) : Piranometre ile ölçülen bu parametre; yatay bir yüzeye gelen yayınık ışınımın doğrudan gelen güneş ışınımının yatay bileşeni ile toplamıdır.

$$H_g = H_{dif} + H_{beam} \cdot \cos\theta \quad (2.13)$$

θ , doğrudan ışınımın yerin yatayıyla yaptığı açıdır.

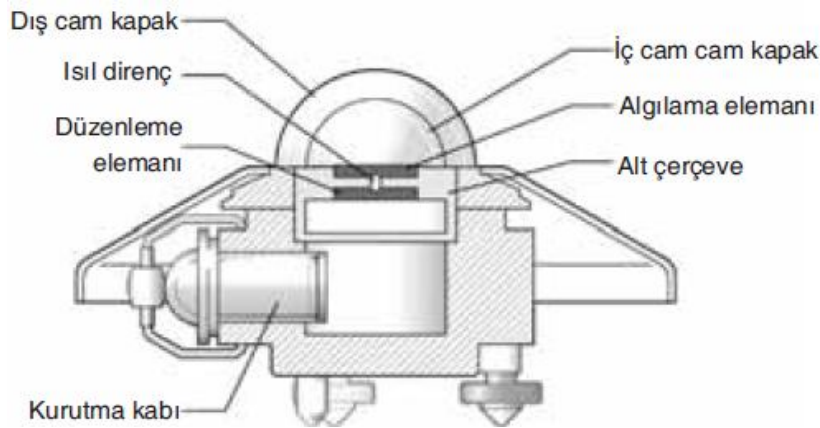
Güneşlenme Süresi (Sunshine duration) : Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından yapılan tanıma göre; gün boyunca, direk güneş ışınımının 120 W/m^2 den büyük olduğu tüm zamanların toplamı olarak bilinir.

Güneş ışınımı her ne kadar varsayımlar ve teorik hesaplarla herhangi bir bölge için tahmin edilebilse de bir bölgedeki gerçek güneş ışınımı değerlerini bulmak için ölçümler yapmak gerekmektedir. Hatta bu değerlerin daha sağlıklı bir netice vermesi için ölçümlerin uzun süreli yapılarak ortalama bir değer elde edilmesi gerekmektedir. Çünkü önceki bölümlerde de açıklandığı gibi herhangi bir yere her herhangi bir tarih ve zamanda düşen güneş ışınımı şiddeti birçok değişkene bağlı olarak (atmosfer koşulları, çevresel şartlar vb.) ani değişiklikler gösterebilmektedir.

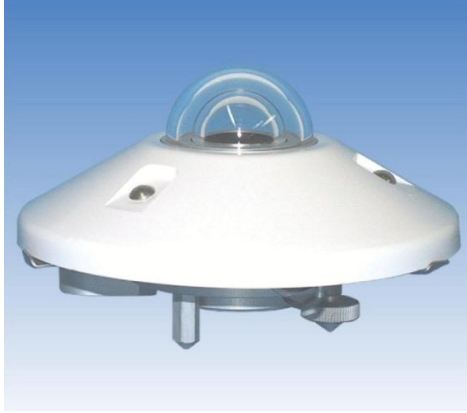
Güneş ışınımı şiddetini ölçmek için temelde iki farklı tür cihaz kullanılmaktadır. Bunlar, piranometre (pyranometer) ve pirheliyometre (pyrheliometer)'dir.

2.7.1. Piranometre (Pyranometer)

Piranometre (Pyranometer), yarı küresel bir görüş açısına sahiptir ve bu sebeple direkt ve dağınık ışınımın toplamını ölçmek için kullanılırlar. Piranometre kullanılarak alınan güneş enerjisi ölçümleri sonuç olarak metrekareye düşen küresel güneş enerjisi miktarını vermektedir. Şekil 2.12'de bir piranometrenin iç yapısı ve Şekil 2.13'de ise Kipp & Zonen CM21/CM22 marka piranometre görülmektedir. Genellikle piranometrede algılama elemanı olarak, ısıl enerjiyi elektrik enerjisine çeviren termopil algıçlar kullanılmaktadır. Bu algıçlar güneş enerjisini soğurarak ısınır ve sıcaklığı ile orantılı bir gerilim üretir. Soğurmayı artırmak amacıyla termopil algıçlar siyaha boyanırlar veya siyah bir malzemeyle kaplanırlar. Dış ve iç cam kapak ise 300–5000 nm dalgaboyu arasında olan güneş ışınımını filtrelemek ve 2800 nm'den uzun dalgaboylu ışınların geçmesini engellemek amacıyla kullanılır. Piranometrelerin birçok tipi üretilmektedir. Büyük çoğunluğu çeşitli aralıklarda örneksel çıkış vermektedir. Bu örneksel çıkışlar genellikle mV mertebesinde olmakta ve örneksel/sayısal dönüştürücülere bir yükselteçten geçirilerek bağlanmaktadır. Modern piranometrelerin bir kısmı bu yükselteçleri cihaz içinde gömülü vermeye başlamıştır.



Şekil 2.12. Piranometrenin iç yapısı



Şekil 2.13. Piranometre (Kipp & Zonen CM21/CM22)

2.7.2. Pirhelyometre (Pyrheliometer)

Pirhelyometreler, doğrudan gelen güneş enerjisi miktarını ölçen cihazlardır. Çalışmaları için güneş takip sistemleri gerekmektedir. Pirhelyometre ölçüm değerleri özellikle sadece doğrudan güneş ışınımını kullanabilen odaklı sistemler için önemlidir. Şekil 2.14’de Hukseflux DR01 marka bir pirhelyometre görülmektedir. Pirhelyometre, daha dar (yaklaşık 5°) bir görüş açısına sahiptir ve bu sebeple güneşten doğrudan gelen ışınımı ölçmek amacıyla kullanılır. Pirhelyometre kullanarak direkt güneş ışınımını doğru bir şekilde ölçmek için cihazın güneşe tam dik açıyla bakması gerekmektedir. Eğer ölçümü belli bir süre içerisinde sürekli yaparsak, bu cihazı güneş takip sistemiyle tümleşik bir yapıda kullanmak gerekmektedir.



Şekil 2.14. Pirheliyometre (Hukseflux DR01)

2.7.3. Gölge bantlı piranometre

Gölgelenmiş piranometre aslında standart bir piranometre kullanılarak yapılmış bir düzenektir. Güneş izleme sistemi ile birlikte çalışan bir bant veya topuz sürekli olarak piranometrenin alıcı kısmı ile güneş arasında kalarak doğrudan güneş ışınlarının algıya ulaşmasını engeller. Böylece algıya sadece yayınlık güneş ışınları ulaşır. Şekil 2.15'te örnek bir gölge bantlı piranometre sistemi görülmektedir. Yayınlık ışınım ölçümlerindeki tercihler, kullanılacak sistem seçimine göre değişmektedir. Yayınlık ışınımın miktarı, bölgede düzlemsel toplaçlar ile odaklı sistemler veya kristalli silisyum fotovoltaik modeller ile ince film fotovoltaik modeller arasında yapılacak tercihte belirleyicidir.



Şekil 2.15. Gölge bantlı piranometre

2.7.4. Helyograf

Güneş ışınlarının süresini veya günün ne kadar kısmının güneşli geçtiğini kaydeden aletlere Helyograf denir. Şekil 2.16’da en yaygın olarak kullanılan Campbell-Stokes tipi Helyograf gösterilmiştir. Helyograf aleti, güneşten doğrudan gelen güneş ışınlarını bir diyagram üzerine kaydeder. Güneş ışınları bir kâğıt üstüne yoğunlaştırılır, kâğıdın yanması sebebiyle bıraktığı iz ölçülerek güneşlenme süresi tespit edilir. Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından standart ölçü olarak kabul edilir ve Türkiye’de de kullanılır.



Şekil 2.16. Helyograf (Campbell-Stokes)

Güneş gözlem sistemlerindeki sorunlar

Güneş gözlem sistemleri, meteorolojik gözlem cihazları içerisinde hemen hemen en pahalı cihazlardır. Gözlem cihazlarının pahalılığı gözlem istasyonlarının sıklığını da etkilemiştir. Cihazların bakım ve kalibrasyonu için gerekli insan sayısının yetersiz olması, veri iletimi ve arşivleme sorunlarının olması yeterli sayıda gözlem istasyonlarının kurulmasını ve işletimini olumsuz etkilemektedir. Yer gözlemlerinde yaşanan bu tür güçlükler; güneş verisi elde etmek için modelleme çalışmaları yapılmasına neden olmuştur.

2.8. Uydular

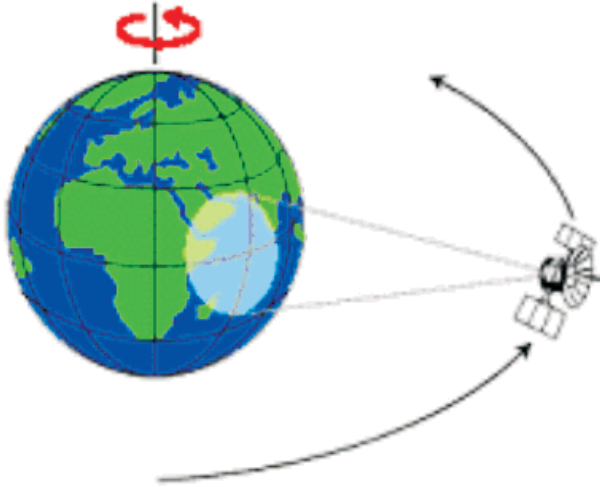
Uydular; herhangi bir bölgeden gönderilen sinyalleri, üzerinde bulunan elektronik devrelerden geçirerek istenilen bölgelere değişik frekans bantları aralığında gönderen ileri teknoloji ile hazırlanmış cihazlardır. Uydular yeryüzüne gönderdikleri sinyalleri, değişen oranlardaki sinyal seviyeleri ile gönderirler ki buna uyduların ayak izi denir. Uydular hava olaylarını küresel olarak inceleme olanağı sağlayan, dünya çevresindeki yörüngelerinde hareket ederlerken, sensörleri (radyometre) tarafından kaydedilen verileri, belli aralıklarla yer istasyonlarına gönderirler. Uyduların en önemli özelliklerinden birisi de yer gözlem istasyonlarının kurulamadığı ve böylece verilerin toplanamadığı okyanus, çöl, dağlık alanlar, kutupsal bölgeler gibi pek çok geniş alanlardan meteorolojik bilgilerin elde edilebilmesidir. Tüm uyduların uzaktan algılama sistemleri, cisimler tarafından yansıtılan ve cisimlerin vücut sıcaklığına bağlı olarak yaydıkları elektromanyetik radyasyonun, uzaya yerleştirilen platformlar yani uydular üzerinde bulunan radyometreler tarafından ölçülmesine (pasif algılama) ve radar (aktif algılama) sistemlerine dayanır. Bulutluluk, ozon miktarı ve konsantrasyonu ile buzul alanların belirlenmesi, atmosferik sıcaklık ve nem profillerinin elde edilmesi, yağış miktarının tespiti, kara ve deniz yüzeyi sıcaklıklarının belirlenmesi pasif algılamaya; okyanus dalgaboyu, dalga yüksekliklerinin ve deniz yüzeyi rüzgar hızı ve yönünün tespiti aktif algılamaya örnek olarak verilebilir. Meteorolojik amaçlı uydular (METEOSAT, GOES, GMS, NOAA vb.) pasif algılama yöntemini kullanırken, ERS-1 gibi yer gözlem uyduları aktif algılama yöntemini kullanmaktadırlar. Uyduların enerji kaynakları güneştir. Uydu üzerinde bulunan güneş panelleri sayesinde uydunun enerji ihtiyacı karşılanmakta ve enerji depolama işlemi ise yine uydu üzerinde bulunan güneş bataryalar sayesinde sağlanmaktadır. Yaklaşık olarak bir uydunun ömrü 12-15 yıl kadardır. Aksi bir durum ortaya çıkmadığı sürece, uydunun ömrü üzerindeki denge roketlerinin yakıtı ile ilgilidir.

Meteorolojik görüntü sağlayan iki çeşit uydu vardır. Bunlar, Sabit Yörüngeli Uydular ve Kutupsal Yörüngeli Uydulardır.

2.8.1. Sabit yörüngeli uydular

Dünyanın ekvator düzlemi üzerinde ve yaklaşık olarak 36000 km yükseklikte bir yörüngede görev yaparlar. Dünya ile aynı açısal hızda hareket ettikleri için, dünya üzerindeki herhangi bir noktaya göre sabitmiş gibi görünürler. Şekil 2.17'de sabit yörüngeli bir uydunun dünya çevresindeki hareketi gösterilmiştir. EUMETSAT'ın METEOSAT (0°), ABD'nin GOES-E (75°W) ve GOES-W (135°W), Japonya'nın GMS (140°E), Hindistan'ın INSAT (93°E) ve Rusya'nın GOMS (76°E) uyduları küresel uydu içindeki sabit yörüngeli uydulardır.

MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü), Türkiye'nin de kurucu üyesi olduğu, Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Teşkilatı EUMETSAT'ın Meteosat uydularından gerçek zamanlı olarak görüntü alan Birincil Veri Kullanıcı İstasyonu (PDUS-Primary Data User Station) sistemine sahiptir.



Şekil 2.17. Sabit yörüngeli uydu (Çukurçayır, M., 2005)

Sabit yörüngeli uyduların çalışma prensibi, kendi eksenini etrafında dönen ve dönüş esnasında üzerindeki pasif algılayıcıları sayesinde dünyadan algıladıkları ham verileri (count değerleri) yer istasyonlarına (DATT) ve oradan da işlenerek kullanıcıya hazır hale getirmek üzere ana bilgisayar merkezine gönderilmesi ve ana bilgisayar merkezinden işlenen verilerin tekrar yer istasyonuna (DATT) geri gönderilerek uydu aracılığı ile kullanıcılara dağıtılması prensibine dayanmaktadır.

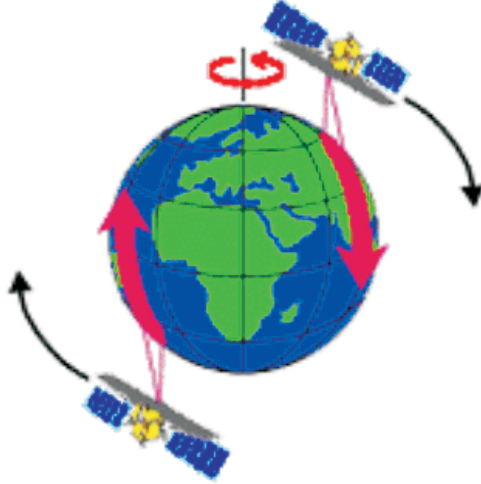
Uydu tarafından yer istasyonuna gönderilen ham veriler, yer istasyonundan yüksek iletişim kapasitesine sahip hatla ana bilgisayar merkezine (ESOC= Avrupa Uyduları İşleme Merkezi) gönderilir. Ana bilgisayar merkezine gelen ham veri üzerinde navigasyon düzeltmeleri yapılır. Navigasyon hesaplarının yapılmasının nedeni, uyduların yörüngelerini değiştirmelerinde sabit kalmayıp, uzaydaki dışsal kuvvetlerin etkisi altında sürekli olarak sürüklenmeleri (drift) ve bu yüzden dünya üzerindeki aynı bölgeyi farklı yörüngelerden görmelerinden kaynaklanan hataları gidermektir.

Uydu verilerinden yararlanma iki yolla mümkün olmaktadır. Birincisi analog görüntülerin alınması ve sadece hava tahminlerine yönelik görüntülerin yorumlanmasıdır ki bunun (Wefax veri aktarımı) telefon veya faks ile veri gönderilmesinden farkı yoktur. Wefax görüntüleri kullanılarak sadece bazı basit operasyonel işlemler (renklendirme vb.) yapılabilir. Ancak artık bu uygulama kullanılmamaktadır. İkincisi ise uydulardan sayısal veri alınıp görüntü elde etmenin yanında, diğer uygulamalara yönelik ürünlerin elde edilmesidir. Yağış miktarının tespiti, rüzgar alanlarının belirlenmesi gibi örneklerde bu yöntem etkili bir biçimde kullanılmaktadır. Görüntülerden yararlanılarak; bulut sınıflandırılması, atmosferik alçak basınç merkezlerinin yerleri ve hareketleri, kararsızlık alanları, çeşitli seviyelerdeki rüzgar alanları, kara ve deniz sıcaklıkları gibi atmosferin dinamik ve fiziksel yapısı hakkında pek çok bilgi edinilmektedir. Sabit yörüngeli uydulardan veri alabilmek için PDUS cihazı gerekmektedir.

2.8.2. Kutupsal yörüngeli uydular

Bu uyduların görev yaptıkları yörüngeler, yerden yaklaşık olarak 850 km yükseklikte olup, yörüngelerinde bir turu yaklaşık 101,58 dakikada tamamlarlar. Buna göre bir günde 14,2 kez dünya çevresinde tur atarlar. Şekil 2.18'de kutupsal yörüngeli uyduların dünyanın çevresindeki dönme prensibi gösterilmiştir. Görüntü iletimi gerçek zamanlı olarak ve iki formatta yayınlanır. Birincisi, APT (Automatic Picture Transmission) olarak bilinen analog görüntü iletimidir. Görünür (Visible) ve Kızılötesi (Infrared) görüntüler, APT aracılığıyla 4 km çözünürlükte ve 2600 km

genişlikte bir alan için elde edilebilir. AVHRR tarafından elde edilen Görünür ve Kızılötesi kanal görüntülerinden bitki örtüsü indeksinin hesaplanması, bulut kapallılık, bulutların sınıflandırılması, kar örtüsünün belirlenmesi, sisin tespiti, deniz ve kara yüzeyi sıcaklığının belirlenmesi, orman yangınlarının tespiti, bulut tepe sıcaklığının belirlenmesi, taşkın analizi gibi meteorolojik bilgiler elde edilebilir.



Şekil 2.18. Kutupsal yörüngeli uydu (Çukurçayır, M., 2005)

2.8.3. EUMETSAT uyduları ve MSG

Avrupa Meteorolojik Uydu İşletme Teşkilatı (EUMETSAT), ilk METEOSAT uydusunu yörüngeye fırlattığı 23 Kasım 1977 tarihinden bu yana sabit yörüngeli uydu programını başarı ile yürütmektedir. Önceleri Avrupa Uzay Ajansının (ESA) bünyesinde faaliyet gösteren uluslararası organizasyon, 1986 yılında 16 üye ülkenin imzaladığı anlaşma ile bağımsız bir yapıya kavuşmuştur (Commission, 2000). EUMETSAT'ın mevcut programında, 4 sabit yörüngeli uydu (METEOSAT 6, METEOSAT 7, METEOSAT 8 (MSG 1) ve METEOSAT 9 (MSG 2)) ve bir kutupsal yörüngeli uydu (METOP – A) bulunmaktadır. Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'nın EUMETSAT'ın istekleri doğrultusunda geliştirmekten sorumlu olduğu MSG (Meteosat Second Generation) uydusunun özellikleri ve amaçları aşağıda sıralanmıştır;

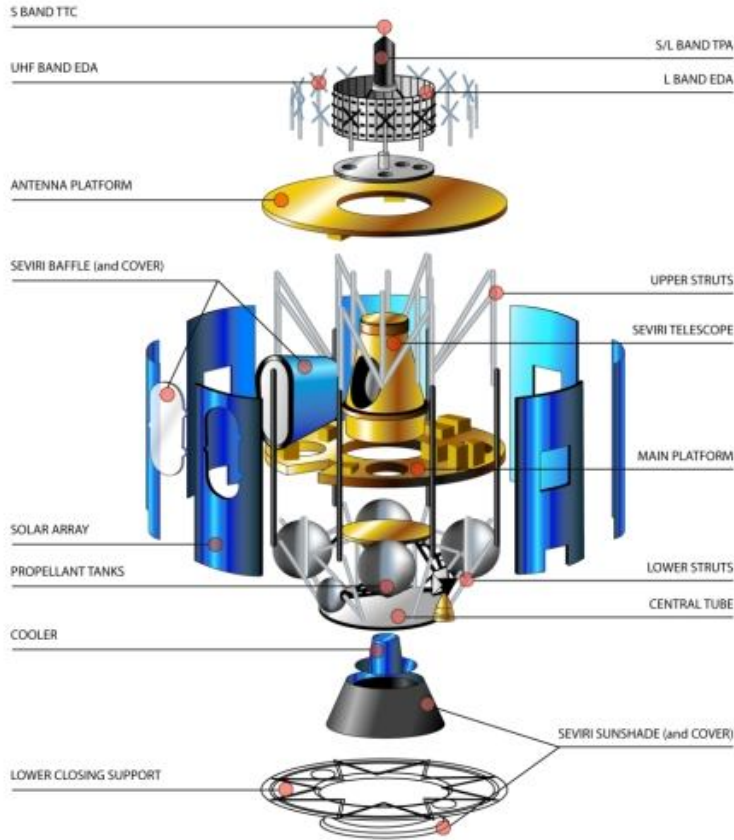
- Sabit yörüngeli (Geostationary), 0 derece yeni geliştirilmiş 12 kanallı radyometre SEVIRI;
- 15 dakika aralıklarla yeni görüntü,
- Yüksek çözünürlüklü görüntüleme (HRV), 1 km,
- Kızılötesi kanalda çözünürlük, 3 km,
- Sabit Yörüngeli Radyasyon Enstrümanı (GERB),
- Arama ve Kurtarma (S&R),
- Her bir uydu için 7 yıl yaşam süresi,
- Tamamen yeni yer segmentine sahip olması bu yeni uydunun özellikleridir.

Amaçları ise,

- Mevcut Meteosat programının meteorolojik misyonunu devam ettirmek.
- İklim gözlemleri yapabilmek,
- Kısa süreli tahmin çalışmaları (Nowcasting),
- Konvektif bulut gelişimi tespiti (yüksek çözünürlüklü görüntü),
- Bulutlardaki hızlı değişimleri gözlemeleme (yüksek görüntü değişim hızı)
- Geometrik ve radyometrik olarak düzeltilmiş veri (level 1,5) elde etme (SEVIRI)
- Ozon gözlemleri (Ozon kanal),
- Hava kütlesi özellikleri, termodinamik ve bulut fiziği parametrelerinin gözlemleri yapmaktır.

ESA ve EUMETSAT işbirliği çerçevesinde MSG programının MSG-2 ve MSG-3 uydularını da kapsayacak şekilde en az 12 yıl sürdürmesi planlanmaktadır.

MSG, EUMETSAT ile ESA arasındaki işbirliği çerçevesinde geliştirilen yeni nesil sabit yörüngeli meteorolojik uydulardır. MSG yerden yaklaşık 36000 km yükseklikte ve 100 rpm (dakika başına devir) dönüş hızında çalışmaktadır.



Şekil 2.19. Meteosat ikinci nesil uydu (MSG)

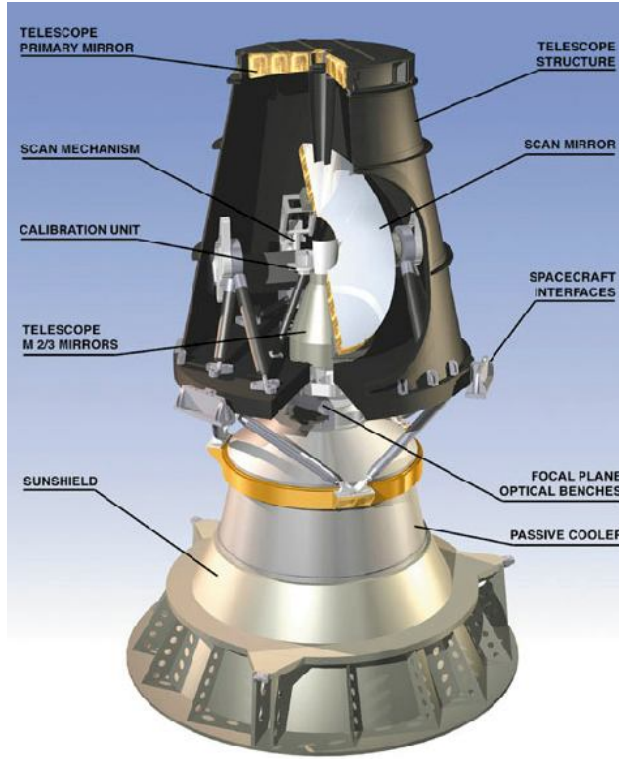
MSG serisi, 4 tane sabit yörüngeli (Geostationary) meteorolojik uydudan oluşmuştur. Yer tabanlı alt yapı ile 2020 yılına kadar çalışacaktır. Şekil 2.19’da MSG uydusunun yapısı görülmektedir. İlk MSG uydusu Meteosat-8 (MSG-1) 2002’de fırlatılarak, iklim ve hava görüntüleme için yeni bir dönem başlatılmıştır. MSG-1 gelişmiş kanal kapasitesi ile selefının (Meteosat-7) 2 katı hızındadır. MSG, 20 kat daha fazla bilgi iletimi ile kullanıcılar için daha gelişmiş uygulama olanakları sağlamıştır. Meteosat-9 (MSG-2) ise 22 Aralık 2005’de fırlatılmıştır. MSG uyduları, 12 spektral kanalla dünyayı gözlemlene kapasitesine sahip olup operasyonel tahmin için görüntü verisi sağlayan Görünür ve Kızılötesi Görüntüleyici (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager - SEVIRI) radyometresi taşımaktadır. Aynı zamanda bir de iklim çalışmalarını desteklemek için Sabit Yörüngeli Dünya Radyasyon Bütçesi (Geostationary Earth Radiation Budget - GERB) radyometresi taşımaktadır (www.eumetsat.int).

Bu iki alete ek olarak MSG uyduları, veri geçişi ve dağılımlını sağlayan iletişim yükü görev sistemi (Mission Communication Payload - MCP) ve Arama ve Kurtarma Sinyal Dağıtıcısı da (Search and Rescue Transponder) içermektedir. Yer Segmenti, Almanya'nın Darmstadt şehrinde bulunan EUMETSAT'ın genel idare binasındaki Misyon Kontrol Merkezi (MCC) tarafından yürütülmektedir. MCC uzay mekiği kontrolü, görüntü verilerinin düzeltilmesi, meteorolojik ürünlerin arşivlenmesi ve ham veriden ürün elde edilmesi işlemlerinin gerçekleşmesini sağlamaktadır. MSG verilerinin arşivlenmesi ve yeni ürün elde edilmesi Meteorolojik Arşiv ve rn Elde Etme Bölümü (MARF) tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu uydu iklim gözlemi ve araştırmaları için önemli verileri sağlamanın yanında kısa süreli tahmin uygulamalarında ve sayısal hava tahmini çalışmalarında ihtiyaçlara cevap vermektedir.

2.8.4. MSG-SEVIRI

MSG uydu platformu toplam 4 adet sabit yörüngeli uydudan oluşmaktadır. Halen METEOSAT 9 operasyonel uydu olarak, METEOSAT 8 ise yedek uydu olarak yörüngede bulunmaktadır.

MSG üzerinde bulunan ve şekil 2.20'de görülen SEVIRI enstrümanı, yüksek spektral çözünürlüğünün yanı sıra, her 15 dakikada 12 kanala ait topladığı verilerle kullanıcılarına yüksek zamansal çözünürlüğün sağladığı avantajları sunmaktadır.



Şekil 2.20. SEVIRI enstrümanı (<http://www.eumetsat.int/Home/Satellites/Meteosat/SecondGeneration/Instruments>)

SEVIRI enstrümanı gelişmiş 11 adet görünür ve kızılötesi dar bant kanal ile bir adet yüksek çözünürlüklü geniş bant kanala sahiptir. Çizelge 2.5’de bu kanalların tayfsal özellikleri ile başlıca kullanım alanları verilmiştir (Schmetz J. vd, 2002).

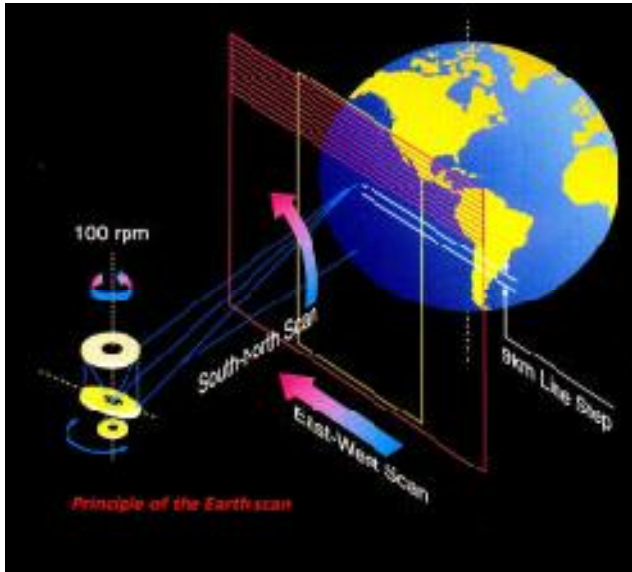
Çizelge 2.5. SEVIRI kanallarının teknik özellikleri

KANAL NO	SPEKTRAL BANT ÖZELLİKLERİ			UYGULAMA ALANLARI	
	KANAL ADI	λ_{merkez} (μm)	λ_{minimum} (μm)		$\lambda_{\text{maksimum}}$ (μm)
1	VIS0.6	0,635	0,56	0,71	Yer, bulut tanımlama
2	VIS0.8	0,81	0,74	0,88	Yer, bulut ve aerosol tanımlama, yer yüzeyi ve bitki örtüsü görüntüleme
3	NIR1.6	1,64	1,50	1,78	Bulutları ayırmada ve aerosol bilgisi
4	IR3.9	3,90	3,48	4,36	Alçak seviye bulutları ve sis tanımlama
5	WV6.2	6,25	5,35	7,15	Su buharı, rüzgarlar ve yüksek seviye bulutları
6	WV7.3	7,35	6,85	7,85	Su buharı, atmosferik kararsızlık
7	IR8.7	8,70	8,30	9,10	Bulut tanımlama, toz, kum fırtınası
8	IR9.7	9,66	9,38	9,94	Ozon
9	IR10.8	10,80	9,80	11,80	Kara ve deniz yüzeyi, bulut tepe sıcaklıkları
10	IR12.0	12,00	11,00	13,00	Kara ve deniz yüzeyi, bulut tepe sıcaklıkları
11	IR13.4	13,40	12,40	14,40	Sirrus bulutlarının yüksekliği, atmosferik kararsızlık
12	HRV		Geniş bant (0-4 – 1,1 arası)		Yer, bulut tanımlama

Görünür (VIS) spektrumundaki görüntüler, dünya yüzeyi veya bulutlardan güneş radyasyonu yansımalarının ölçülmesiyle elde edilir. Genel olarak bulut kalınlığı görüntülerin albedosunu belirler.

Kızılötesi (IR) görüntüleri, yüzeyden ve atmosferden yayılan kızılötesi radyasyonun ölçülmesiyle elde edilir ve dünyanın yüzeyi ile bulut tavanı sıcaklıkları hakkında bilgi verir. Görüntülerde soğuk yüzeyler daha beyaz, sıcak yüzeyler ise daha koyu olarak görünür. Kızılötesi görüntüler genellikle yüksek, orta ve alçak bulutların tanımlanmasında kullanılır.

Görüntüleme, tarama aynasının dönüşü ve uydu yörüngesi birleştirilerek iki boyutlu tarama ile elde edilir. Hızlı tarama, yörünge eksenini etrafında uydu dönüşü sayesinde doğudan batıya doğru yapılır. Dönüş eksenini, orbital düzlemine diktir ve Güney-kuzey yönünde odaklıdır. Şekil 2.21’de SEVIRI enstrümanının dünya görüntüleme prensibi görülmektedir (Schmetz J. vd, 2002). Yavaş tarama, 125,8 mikroradyan hızında tarama aynası ile dönen bir mekanizma yoluyla güneyden kuzeye doğru yapılır. SEVIRI enstrümanı görüntüleme işlemini, güneyden kuzeye doğru yaklaşık 1250 satır tarama ile dünyanın tüm diskini kapsayan bir tarama aynası ile yapmaktadır. Tam bir görüntü, yani dünyanın tüm diskini görüntüsü, 11 tane kanal için 3712 x 3712 pikselden oluşur. HRV kanalı yalnızca doğu-batı yönünde dünyanın tüm diskini kapsar ve tüm görüntü 11136 × 5568 pikselden oluşur.



Şekil 2.21. SEVIRI dünya görüntüleme prensibi (Schmetz J. vd, 2002)

2.8.5. MSG veri ve ürünleri

MSG görüntü verilerine ve türetilmiş ürünlere gerçek zamanlı olarak veya veri arşivinden ulaşmak mümkündür. Gerçek zamanlı erişim için, MSG görüntü verileri (seviye 1,5) ve seçilmiş ürünler MSG kullanıcı istasyonlarından alınabilir. Ham veri yer istasyonunda alınarak, Almanya, Darmstad'da EUMETSAT'ın ilgili merkezi biriminde işlenir ve daha sonra yine uydu yolu ile dağıtılır. Ham veri hızı 3,2 Mb/s'dir. Görüntü/veri dağıtımı için iki tane ham veri akış şekli vardır:

- i) Yüksek hızlı bilgi yayını (HRIT) 1 Mb s^{-1} ve
- ii) Düşük hızlı bilgi yayını (LRIT) 128 kb s^{-1} .

Meteorolojik uydular, üzerlerindeki algılayıcılar vasıtasıyla yer yüzeyinden yansıyan radyasyon miktarını ölçmektedir. Ölçülen bu değerler doğal bir sayıdır ve bilgisayar ortamında böyle bir sayı 32 bit'lik (4 bayt) bir değişkende saklanabilmektedir. Meteorolojik uydu verilerinin yoğunluğu düşünüldüğünde; bu verilerin doğal sayı olarak dağıtılması ve saklanması yerine tamsayıya dönüştürülerek bu işlemlerin yapılması zaman ve yer tasarrufu sağlamaktadır. Bu nedenle uydu verileri tayfsal çözünürlüklerine bağlı olarak 8 bit (1 bayt), 10 bit veya 16 bit olarak saklanmaktadır. Örneğin METEOSAT birinci nesil (METEOSAT 5, 6, 7) uydu verileri 8 bit, METEOSAT ikinci nesil (MSG-1, MSG-2) ve NOAA AVHRR uydu verileri 10 bit, MODIS uydu verileri ise 16 bit radyometrik çözünürlükte veri üretmektedir.

3. GÜNEŞ RADYASYONU TAHMİN MODELLEMELERİ

Gelişmekte olan dünyada, meteorolojik ölçüm yapan istasyonların önceden şehir dışına kurulmasına rağmen, artan nüfus ve kentleşmeyle birlikte yerleşim yerlerine yaklaşması ve ölçüm yapan aletlerden kaynaklanan bazı sorunlar nedeniyle sağlıklı yer verisi elde etmek zorlaşmıştır. Bakım, kalibrasyon ve insan gücü gereksiniminden kaynaklanan işletim zorluklarının yanı sıra ekonomik koşullardan kaynaklı kısıtlar, güneş gözlem ağında yeterli sıklıkta veri elde etmeyi sınırlandırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı bilim insanları yere gelen güneş radyasyonunu tahmin etmek için modelleme çalışmaları yapmaya yönelmişlerdir. Bu modelleri iki ana başlık altında toplayabiliriz:

- 1- Yer tabanlı radyasyon tahmin modelleri
- 2- Uydu tabanlı radyasyon tahmin modelleri

3.1. Yer Tabanlı Radyasyon Tahmin Modelleri

Bu radyasyon tahmin modellemelerinde yer istasyonlarından alınan güneşlenme süresi, bulutluluk, nem, sıcaklık v.b. veriler kullanılarak, modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Yer tabanlı radyasyon tahmin modelleri fiziksel modeller ve istatistiksel modeller olmak üzere iki başlıkta incelenebilir.

3.1.1. Yer tabanlı fiziksel modeller

Gelen güneş radyasyonu ile atmosfer arasındaki etkileşmeleri içeren dinamik bir süreçtir. Atmosferin üst kısmında, gelen güneş radyasyonu su buharı, bulutlar, moleküler gazlar ve aerosoller gibi atmosferik bileşenlerden etkilenir. Bu atmosferik bileşenlerin iyi bilinmesi gerekir. Gelen radyasyonun bir kısmı uzaya geri yansırken, diğer kısmı soğurulur, geriye kalan kısmı da yer yüzeyine ulaşır. Bu yüzden bu modeller radyasyon transfer denklemini çözerek gelen güneş radyasyonu açıklamaya çalışır. Eş. (3.1)'de verilen ifadede, güneş radyasyonunun yansıtılan kısmı ($I_p(\lambda)$),

soğurulan kısmı ($I_{\zeta}(\lambda)$) ve iletilen kısmı ($I_{\alpha}(\lambda)$) parametrize edilmiştir. Anılan ifadelerin toplamı global güneş radyasyonunu vermektedir:

$$I_0(\lambda) = I_{\rho}(\lambda) + I_{\xi}(\lambda) + I_{\alpha}(\lambda) \quad (3.1)$$

Bu modeller belli kabulleri içerir. Başlangıç kabulleri ile sonuç arasında enerjinin korunumu esas alınmıştır. Bazı modeller spektral hesaplar ile başlarken, bazıları ise gelen ışınımın bileşenlerini içerir. Hantal ve kullanışsız hesaplamalar, atmosferin saçılım etkisinin kabuller ile sürdürülmesi, güneş ışınımının dalgaboyu aralıklarının ayrı ayrı belirlenmesi, yüzeyden yansıyan radyasyonun dikkate alınmaması, modellerin kabullere, gözlemlere ve atanmış değerlere dayandırılması v.b birçok dezavantaj bu modellerde karşılaşılan problemlerdir. Fiziksel modellerin en büyük avantajı ise atmosferin dinamik yapısını ve belli oranda atmosfer ile gelen radyasyon arasındaki etkileşimleri dikkate almasıdır. Böylece bu modeller atmosferde meydana gelen anlık veya kısa süreli hadiselerle karşı tepki verme özelliği daha iyidir.

3.1.2. Yer tabanlı istatistiksel modeller

Yer tabanlı istatistiksel modeller yüksek performans sergilerler. Bu modeller, güneşlenme süresi, sıcaklık ve bulutluluk gibi gözlemlenen parametreler ile global güneş ışınımı arasındaki ilişkiye dayanır. Global güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi arasında bir ilişki grafiksel olarak öncelikle Kimball(1919) tarafından önerildi. Sayısal bir ilişki ise Angström(1924) tarafından şu şekilde verilmiştir:

$$\frac{H}{H_c} = k + (1 - k) \cdot S \quad (3.2)$$

Burada; H ortalama global güneş radyasyonu, H_c açık hava radyasyonu, S güneşlenme süresi ölçümlerinden elde edilen güneşlenme süresi ile atmosferik güneşlenme süresinin oranı (nispi güneşlenme süresi) ve k bir sabittir. Prescott (1940), Angström eşitliğini şu şekilde sunmuştur:

$$\frac{H}{H_0} = a + b(s/S) \quad (3.3)$$

Burada H_0 atmosferin dış yüzeyine gelen global radyasyon, s güneşlenme süresi, S atmosferik güneşlenme süresi, a ve b Angstrom katsayılarıdır. Korelasyon sabiti a , tamamen kapalı bir havada atmosferin geçirgenlik katsayısı olarak belirlenirken, $a+b$ ise açık hava için atmosferin geçirgenliğini temsil eder. Bu denklem Angström-Prescott formülü olarak bilinir. Bu yaklaşım, Samuel (1991), Al-Sadah F.H. ve Ragap F.M. (1991), FAO-WMO (1991) gibi pek çok araştırmacı ve kurum tarafından dünyanın pek çok yerinde global radyasyonu belirlemek için kullanılmıştır. Aynı zamanda güneşlenme süresinin olduğu yerlerde güneş radyasyonu zaman dizisini tamamlamak için de kullanılmaktadır. Diğer taraftan, Rietveld (1978), Gopinathan (1988), Soler (1990) ve Wahap (1993) gibi pek çok araştırmacı, tahmin edilen güneş radyasyon verisinin doğruluğunu artırmak amacı ile Angström formülüne değişik meteorolojik faktörler ilave etmeyi tercih ettiler. Ögelman ve ark. (1984) ilk kuadratik formu önerdiler. Akınoğlu ve Ecevit (1990), Angström denkleminin kuadratik formunu elde etmek amacı ile yayınlanmış yüz istasyonun a ve b değerlerinin değişimini kullandılar. Orijinal Angström doğrusal denklemini kuadratik formda (Eş.3.4) türetmişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = 0,145 + 0,845\left(\frac{s}{S}\right) - 0,280\left(\frac{s}{S}\right)^2 \quad (3.4)$$

Bu yaklaşım yapılan tüm istatistiksel analizlerle küresel olarak geçerliliği kanıtlanmış bir yaklaşımdır. Eğer aylık ortalama güneşlenme süresi verileri mevcut ise aylık ortalama global güneş radyasyonunu iyi bir yaklaşıklıkla tahmin edebilen bir modeldir.

Bu yaklaşımın özelliklerini kısaca özetlersek; tüm parametreler ilgili istasyona bağlıdır, güneşlenme süresi verileri, modelin tek girdi parametresidir. H_0 ve S bilinen genel formüller ile hesaplanır. Korelasyon sabitleri (a ve b), H/H_0 ve s/S arasındaki ilişkiden tespit edilir.

İstatistiksel modellerin en büyük avantajları, model performansları yüksek, uygulaması kolay ve girdi veri sayısı düşüktür. Dezavantajı ise deneysel sabitlerin doğru bir şekilde tespit edilmesi için yeteri uzunlukta veri seti gerektirmesidir. Ayrıca bu modeller ile güneşin direk ve yayınlık bileşenlerine ulaşmak güçtür.

3.2. Uydu Tabanlı Radyasyon Tahmin Modelleri

Son yıllarda uydu teknolojisindeki gelişmeler, uydu verisine dayalı radyasyon modellemelerinin gelişmesine de yol açmıştır. Çeşitli güneş ışınımı bileşenlerinin tahmininde uydu görüntülerinin kullanılması araştırmalara yeni bir ivme kazandırmıştır. Yere ulaşan güneş radyasyonunun, uydu verileri kullanılarak elde edilmesine yönelik çalışmalarda üç temel yaklaşım bulunmaktadır; bunlar uydu tabanlı fiziksel modeller, uydu tabanlı istatistiksel modeller ve uydu tabanlı melez modellerdir.

3.2.1. Uydu tabanlı fiziksel modeller

Fiziksel modeller, radyasyon transfer denklemlerini kullanarak yatay yüzeye gelen güneş radyasyonunu belirlemeye çalışırlar. Fiziksel yaklaşım içeren uydu tabanlı modellerin en çok bilineni Gautier ve ark. (1980) tarafından geliştirilen modeldir. Bu model enerjinin korunumu ilkesine dayandırılmıştır. Tüm modellerde olduğu gibi bu model de iki temel unsurdan oluşmaktadır. Bunlar açık hava ve bulutlu hava yaklaşımlarıdır. Temel mantık, uydu alıcısına gelen radyasyonun, atmosferin tepe noktasında yatay yüzeye gelen güneş cinsinden (H_0) ifade edilmesidir. Atmosferin tepe noktasında yatay yüzeye gelen anlık kısa dalga boylu radyasyon akısı $F_0 = I_0 \cos\theta$ (Wm^{-2}) ile ifade edilir. Burada I_0 güneş sabiti olup, $1367 Wm^{-2}$ değeri ile ifade edilirken, θ ise güneşin zenith açısıdır. Atmosfere gelen radyasyon, atmosfer içerisinde yansımaya ve soğurmaya uğrayarak yere ulaşır.

Gautier ve ark. (1980) yere gelen ve uyduya gelen radyasyon için bulut altı ve bulut üstü soğurma katsayılarının yanı sıra bulut soğurması ve bulut albedosunu formüle ilave ederek; modelin bulutlu koşul yaklaşımını da ifade etmişlerdir. Bu yaklaşımda

da yere ve uyduya ulaşan radyasyonun yanı sıra, net radyasyon akısı da verilmektedir.

3.2.2. Uydu tabanlı istatistiksel modeller

İstatistiksel modeller, uydu sayma sayıları ile ilgili yer ölçümleri arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Cano ve ark. (1986) tarafından önerilen model, literatürde en iyi bilinen istatistiksel modellerdendir. Uydu tabanlı istatistiksel modeller iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak uydudan bulut indeksi elde edilir ve regresyon denklemi kullanılarak güneş radyasyonu tahmini yapılır. Bulut indeksi belirlenirken, temel yöntem olarak bulutluluk miktarı üç sınıfta belirlenir. Açık hava, yarı bulutlu hava ve tamamen bulutlu (kapalı) hava için her bir grid hücresinin ağırlıklı piksel sayılarından bulut indeksi hesaplanır.

$$n = \frac{0 \times N_1 + 0,5 \times N_2 + 1 \times N_3}{N_1 + N_2 + N_3} \quad (3.5)$$

n , Bulut indeksi, N_1 , N_2 ve N_3 ise sırasıyla açık, kısmen bulutlu ve tamamen bulutlu (kapalı) hava için toplam piksel sayılarıdır. Bulut indeksi hangi regresyon denkleminin kullanılacağını belirler.

$$n < 0,4 \quad Q_s = a + b \cos \chi + c \psi + dn + e \left(\frac{I_m}{B} \right)^2 \quad (3.6)$$

$$0,4 \leq n < 1,0 \quad Q_s = a + b \cos \chi + cn \left(\frac{I_{cld}}{B_0} \right)^2 \quad (3.7)$$

$$n = 1,0 \quad Q_s = a + b \cos \chi + c \left(\frac{I_{cld}}{B_0} \right)^2 \quad (3.8)$$

Burada Q_s yüzey ışınımı, güneş zenith açısı, ψ bulutsuz havanın geçirgenliği, I_m ortalama grid parlaklığı, I_{cld} ortalama bulut parlaklığı, B tahmin edilen bulutsuz

parlaklık, B_0 normalize edilmiş bulutsuz parlaklık, a , b , c , d ve e regression sabitleridir.

3.2.3. Uydu tabanlı melez modeller

Bu yaklaşımda en yaygın ve bilinen model Heliosat modelidir. Bu model, basit fiziksel bir yaklaşım kullanmanın yanı sıra gözlemlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesini de içerdiğinden melez olarak adlandırılmıştır. Oldenburg Üniversitesindeki bir çalışma grubu tarafından tasarlanan modelin, literatürdeki kaynağı Diabate ve ark. (1988) olarak bilinir. Bu model de yere ulaşan kısa dalga boylu radyasyon akısı değerlendirilir. Model, açık ve bulutlu koşullar için iki yaklaşımda tasarlanmıştır.

Açık Hava Yaklaşımı

Modelde, açık havada yere ulaşan global güneş radyasyonu (G_c) iki bileşene sahiptir. Bunlardan birincisi radyasyonun direk bileşeni (B_c), diğeri ise yayınık bileşenidir (D_c). Bu bileşenler ayrı ayrı hesaplanır ve birimleri W/m^2 'dir. Açık havada, yatay bir düzlemde direk radyasyon şu formülle ifade edilir:

$$B_c = I_0 \varepsilon \sin \gamma_s \exp(-0,8662 T_L (AM2) m \delta_R(m)) \quad (3.9)$$

Bu formülde I_0 güneş sabiti ($1367 W/m^2$), ε dünya-güneş mesafesindeki değişim için düzeltme faktörü, γ_s güneş yükseklik açısı, $T_L(AM2)$ hava kütlesinin 2'ye eşit olduğu koşulda Linke bulanıklık faktörü, m nispi optik hava kütlesi ve $\delta(m)$ Rayleigh optik kalınlığının integralidir. $\exp(-0,8662 T_L(AM2) m \delta_R(m))$ ifadesi ise açık havada radyasyonun direk kısmının geçirgenliğini ifade eder.

Heliosat modelinin açık hava yaklaşımında, radyasyonun yayınık bileşeni, Dumortier (1995) tarafından önerilen şu ampirik ifade ile verilir:

$$D_c = G_{ext} \varepsilon (0,0065 + (-0,045 + 0,0646 T_L (AM2)) \sin \gamma_s + (0,014 - 0,0327 T_L (AM2)) \sin \gamma_s^2) \quad (3.10)$$

Burada G_{ext} yatay bir yüzeye atmosfersiz ortamda gelen radyasyonu, ε dünya-güneş mesafesindeki değişim için düzeltme faktörünü, γ_s güneş yükseklik açısını, $T_L(AM2)$ hava kütlelerinin 2'ye eşit olduğu koşulda Linke bulanıklık faktörünü ifade eder. Sonuç olarak; açık havada yeryüzünde yatay bir yüzeye ulaşan global radyasyon, radyasyonun direk ve yayınık bileşenlerinin toplamıdır.

$$G_c = B_c \sin \gamma_s + D_c \quad (3.11)$$

Bulutlu Hava Yaklaşımı

Atmosferik radyasyon transferini etkileyen en önemli parametre buluttur. Bu nedenle bulut miktarının bilinmesi önemlidir. Modelde bulut miktarı uydu verilerinden türetilir. Öncelikle nispi yansıma hesaplanır.

$$\rho = \frac{C - C_0}{G_{ext}} \quad (3.12)$$

Burada C uydu radyometresinden elde edilen radyans değerine ait sayma sayısı ve C_0 ise algılayıcıya ait toplam denge sabitidir. Nispi yansımalar kullanılarak bulut indeksi değeri şu formül ile hesaplanır:

$$n = \frac{\rho - \rho_{min}}{\rho_{max} - \rho_{min}} \quad (3.13)$$

Burada ρ günlük nispi görünen albedo değeri, ρ_{min} yüzey albedo değeri, ρ_{max} ise maksimum albedo değerini temsil eder. Hesaplanan bulut indeksi değeri, bulut örtüsünün bir ölçüsüdür. 0-1 aralığında değişen bulut indeksi değeri, açık hava için 0, kapalı hava için 1 olacaktır.

Açıklık indeksi, yere gelen radyasyonun açık havada yere gelen radyasyonla normalize edilmesi olarak tanımlanır.

$$k_T^* = \frac{G}{G_{clear}} \quad (3.14)$$

Açıklık indeksinin (k_T^*) bulut indeksiyle (n) ilişkisi aşağıda verilmiştir. Bu ilişki Fontoynt ve ark. (1997 - 1998) tarafından önerilmiştir.

$$n \leq 0,2 \text{ ise } k_T^* = 1,2 \quad (3.15)$$

$$-0,2 < n \leq 0,8 \text{ ise } k_T^* = 1 - n \quad (3.16)$$

$$0,8 < n \leq 1,1 \text{ ise } k_T^* = 2,0667 - 3,6667n - 1,6667n^2 \quad (3.17)$$

$$1,1 < n \text{ ise } k_T^* = 0,05 \quad (3.18)$$

Sonuç olarak bulutlu koşullarda yere ulaşan radyasyon şu şekilde elde edilir:

$$G = k_T^* (B_c \sin \gamma_s + D_c) \quad (3.19)$$

4. MODEL, VERİLER VE KARŞILAŞTIRMA

Bu tez çalışmasında, istatistiksel bir model ile uydu görüntülerinden elde edilen bulut indeksi değerleri birleştirilerek geliştirilen bir model olan uydu tabanlı kuadratik model kullanılmıştır. Bu modelde amaç, sadece uydu görüntülerinden elde edilen veriler kullanılarak, hiçbir yer verisine ihtiyaç duymadan yere gelen güneş radyasyonunu belirlemektir. Bu modelle birlikte, Türkiye için daha yüksek zamansal ve mekansal çözünürlükle global güneş radyasyonları verileri elde etmek mümkün olmaktadır. 15 dakikada bir görüntü elde edilmesini sağlayan MSG-2 uydu görüntülerinden faydalanılarak 3610 noktada $0,2^{\circ} \times 0,2^{\circ}$ çözünürlükle 2007 yılı için Türkiye'nin güneş radyasyonu aylık ve yıllık ortalama dağılımı elde edilmiştir.

Bölüm 3.1'de anlatılan yer tabanlı radyasyon tahmin modellerinde veri seti elde etmede yaşanan bir takım sıkıntılara karşı, uydu tabanlı modeller, hem daha yüksek çözünürlüklerle, hem de ulaşılması güç yerlerde bile veri elde etme avantajlarını bize sağlamaktadır. İstatistiksel modellerde ise girdi veri sayısının düşük olmasına rağmen bu modellerin performansları oldukça yüksektir. Tez çalışmasında kullandığımız uydu tabanlı kuadratik model aşağıda detaylarıyla anlatılmıştır.

4.1. Uydu Tabanlı Kuadratik Model

Bu modelde uydu görüntülerinden türetilen bulut indeksini kullanarak, ikinci dereceden (kuadratik) istatistiksel bir model ile bulut indeksi değerleri birleştirilmiştir. Daha önce istatistiksel modellerde anlatılan Angstrom-Prescott denklemi olarak verilen orijinal denklem doğrusaldır ve Eş. (3.3) ile verilmiştir. Akınoğlu ve Ecevit (1990) tarafından sunulan Angstrom-Prescott yaklaşımının kuadratik formu ise Eş. (3.4) ile verilmiştir. Bu eşitlik bütün dünyada farklı enlemlerde bulunan ve farklı iklimlere sahip olan yüz istasyonun Angstrom katsayıları (a ve b) kullanılarak elde edilmiştir. Bu denklem sadece güneşlenme verileri kullanılarak bütün dünya için global güneş radyasyonunu tahmin edebilen ve küresel olarak geçerliliği kanıtlanmış bir yaklaşımdır.

Daha sonra 2010 yılında MGM ve ODTÜ'den oluşan bir ekibin ortak olarak yaptığı çalışma ile bir model geliştirilmiştir. Bu model, Türkiye'den seçilen 5 istasyonun bir yıllık (2004) Meteosat 7 uydu verileri kullanılarak geliştirilmiştir. İlk olarak uydu görüntülerinin piksel değerlerinden türetilen bulut indeksleri hesaplanmıştır. Bulut indeksi n , ilgili yerin atmosferik yansımalarının görelî bir ölçüsüdür ve Eş. (3.13) ile hesaplanmıştır.

Atmosferdeki yansıma bulutlulukla değiştiği için, yer yüzeyinden ölçülen güneşlenme süreleri ile bulut indeksi arasında anlamlı bir ilişki olmalıdır (Aksoy ve ark. 2011). Bulut indeksi ile güneşlenme süresi arasındaki doğrusal ilişki şu şekilde ifade edilmiştir;

$$\frac{s}{S} = c - dn \quad (4.1)$$

Eş. (4.1)'deki c ve d katsayılarını hesaplamak için Türkiye'deki 5 istasyonun (Sinop, Ankara, İzmir, Afyon, Bursa) verileri kullanılarak regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizleri, günlük s/S değerleri ile günlük ve aylık olarak hesaplanmış bulut indeksi değerleri kullanılarak yapılmıştır. s/S ile n arasında bütün istasyonların günlük verileri kullanılarak aşağıdaki doğrusal ilişki elde edilmiştir.

$$\frac{s}{S} = 0,8181 - 0,8496n \quad (4.2)$$

Bulunan ilişki Eş. (3.4)'de yerine konularak yeni kuadratik yaklaşım şu şekilde ortaya konmuştur;

$$\frac{H}{H_0} = 0,649 - 0,329n - 0,202n^2 \quad (4.3)$$

Bu yöntem Uydu Tabanlı Kuadratik Model (SBQ) olarak adlandırılmıştır. Modelin performansını test etmek için 5 istasyonun 2005 yılı verileri Eş. (4.3)'de kullanılarak

tahmini global güneş radyasyon değerleri hesaplanmıştır. Aynı çalışmada bu 5 istasyonun güneşlenme süreleri Eş. (3.4)'de kullanılarak yer tabanlı tahmini global güneş radyasyonu değerleri hesaplanmıştır. Yer ve uydu tabanlı tahmini global radyasyon verilerinin doğruluğu yer gözlem verileri kullanılarak sınanmıştır. Yer tabanlı ve uydu tabanlı kuadratik modellerin hemen hemen aynı performansta veri ürettikleri tespit edilmiştir. Doğrulama çalışmaları sonucunda; uydu tabanlı kuadratik modelin, aylık ortalama global güneş radyasyonunu ortalama % 8,91 gibi bir nispi hata ile hesaplayabildiği bulunmuştur. Bu model, ilgili istasyonların aylık ortalama bulut indeksleri kullanılarak ve H_0 'nunda bilinen formüllerden hesaplanması ile global güneş radyasyonunu veren bir eşitliktir. Hiçbir yer verisi kullanmadan güneş radyasyonunu tahmin eden bu modelde, uydu çözünürlüğüne bağlı olarak istenilen çözünürlükte veri elde etmek önemli bir avantajdır.

4.2. Çalışmanın Aşamaları

Bu tez çalışmasında kullanılan uydu görüntüleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Uzaktan Algılama Biriminden sağlanmıştır. Çalışma periyodu olarak 2007 yılı seçilmiştir. MSG-2 uydusu 2005 yılında yörüngeye fırlatılmıştır ve halen operasyonel olarak çalışan uydudur. Bu son teknoloji uydunun verilerini kullanmak için çalışma periyodu olarak 2007 yılı seçilmiştir. Uydu verilerini değerlendirme aşamaları şu şekildedir :

- 1- Çalışmada kullanılan 2007 yılı MSG-2 uydusu görüntüleri, Level 1.5 düzeyinde HRIT (High Rate Information Transmission) veri formatında sağlanmıştır.
- 2- HRIT formatında alınan ham verileri HDF5 (Hierarchical Data Format) formatına dönüştüren bir yazılım olan Eumetcast kullanılmıştır.
- 3- Eumetcast ile HDF5 formatına dönüştürülen veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzaktan Algılama Birimi'nde geliştirilen MSGView (Aydın E. ERTÜRK) programı kullanılarak, radyans değerleri ve bu değerlerden de nispi yansıma değerleri elde edilmiştir. Nispi yansıma değerlerinden aşağıdaki bölümlerde ayrıntılarıyla anlatılacak olan hesaplamalar ile bulut

indeksleri öncelikle günlük olarak hesaplanmıştır, daha sonra günlük değerlerden aylık ortalamalar hesaplanmıştır.

- 4- Bölüm 4.1’de anlatılan uydu tabanlı kuadratik model formülünde, hesaplanan aylık ortalama bulut indeksleri yerine konularak Türkiye için $0,2^{\circ} \times 0,2^{\circ}$ çözünürlükle global güneş radyasyonu değerleri elde edilmiştir.

4.3. Uydu Verileri ve İşlenmesi

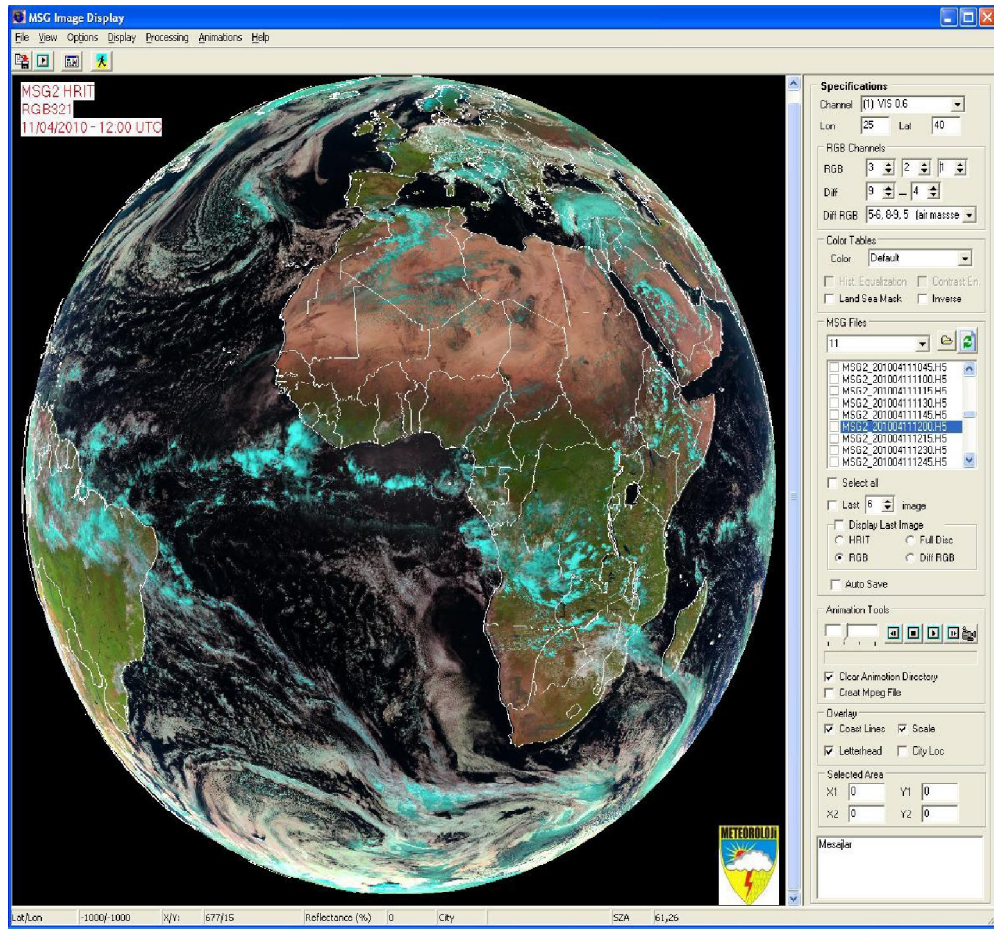
EUMETSAT’dan alınan 2007 yılı MSG-2 uydusunun sadece Kuzey Yarım Küre için Kanal 1 (VIS0.6), Kanal 2 (VIS0.8), Kanal 3 (NIR1.6) ve yüksek çözünürlüklü kanal (HRV) HRIT formatındaki verileri, Eumetcast yazılımı ile hiyerarşik veri dosya formatı, sürüm 5’e (HDF5) dönüştürülmüştür. Daha önce MSG-SEVIRI başlığı adı altında açıklandığı gibi Görünür (VIS) kanal görüntülerinin seçilmesinin sebebi, bu kanaldaki görüntülerin dünya yüzeyi ve güneş radyasyonu yansımalarının ölçülmesiyle elde edilmesidir. HDF5 formundaki verilerde her bir kanalın başlık bölümünde yer alan sapma (callibration offset) ve eğim (callibration slope) değerleri ile birlikte Kanal 1 (VIS0.6), Kanal 2 (VIS0.8), Kanal 3 (NIR1.6) için 3712×3712 boyutunda sayma sayıları (count number) elde edilmiştir. Sayma sayısı (Count number), her bir spektral yansıma değerinin dijital karşılığıdır. Bu sayma sayıları 0 ile 1024 arasında değişmektedir. HRV kanalı için ise yine sapma ve eğim değerleri ile birlikte 11136×5568 ’lik sayma sayısı değerlerini taşıyan bir matris elde edilmiştir.

2007 yılının 365 günü için 02.00- 19.00 (GMT) saatleri arasındaki veriler alınmıştır. Saat aralığı seçilirken Türkiye’de kış ve yaz aylarında güneşin doğuş ve batış saatleri aralığı göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca uydu görüntülerinden MSGView programını kullanarak, radyans ve nispi yansıma değerlerini elde ederken Güneş zenit açısının 75° ’den büyük olduğu saatler hesaplamalara katılmamıştır.

Bir yıl için yaklaşık toplam 24800 veri (15’er dakikalık uydu verisi) elde edilmiştir. HDF5 formatına dönüştürülen verilerden, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nde geliştirilmiş olan MSGView programı kullanılarak nispi yansıma ve radyans değerleri elde edilmiştir.

MSGView, MSG SEVIRI veri işleme ve görüntüleme için yazılmış ve MS Windows (XP, Vista ve Windows 7) platformu üzerinde çalışan ve MGM’de geliştirilmiş bir programdır. Bu yazılım, operasyonel olarak kısa zamanlı hava tahmini ve anlık hava tahmini çalışmalarını desteklemek için geliştirilmiştir. Şekil 4.1 yazılımın ara yüzünü göstermektedir. Bir ‘Ana Menü ve ekran ve Özellikler bölümü bulunmaktadır.

MSGView, MS Windows’da C++ programı kullanılarak geliştirilmiştir. MSGView yazılımı hiyerarşik veri dosya formatı sürüm 5 (HDF5) ‘i destekler. Aynı zamanda dünya çapında kullanım kolaylığı sağlayan HDF5 dosya formatı, EUMETSAT arşiv sistemini de (UMARF) desteklemektedir.



Şekil 4.1. MSGView programının arayüz görüntüsü

HDF5 formatındaki verilerde 3712 x 3712 boyutundaki matrisler tüm kuzey yarım küreyi temsil etmektedir. MSGView programı ile öncelikle Türkiye'nin enlem ve boylamları göz önüne alınarak bir seçim yapılmış ve her bir piksel alınmayıp, Türkiye'nin batısı ve doğusunu en iyi şekilde temsil edeceğini düşünerek bu piksellerin 5x5 alanında ortalaması alınmıştır.

MSG kanallarından ölçülen radyasyon verilerini tamsayıya dönüştürmek için sapma (offset) ve eğim (slope) değerleri kullanılmıştır. Buna göre her bir kanal için sapma ve eğim değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu sapma ve eğim değerlerine kalibrasyon katsayıları denmektedir ve her bir MSG çevrim verisinin başlık bölümünde bulunmaktadır. Sonuç olarak her bir piksel için 0 ile 1024 arasında değişen sayma sayıları (Count Numbers) elde edilmektedir. Kayıtlı tamsayı değerlerinin öncelikle her kanal için radyans değerlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Radyansla, tamsayı değerleri arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Buna göre aşağıda verilen eşitlikle radyans değerleri hesaplanmıştır.

$$R = CAL_offset + CAL_slope * Count \quad (4.4)$$

Burada, R, i. kanalın radyans değeri ($mWm^{-2}sr^{-1}(cm^{-1})^{-1}$),
 CAL_offset (Callibration Offset), i. kanalın sapma değeri ($mWm^{-2}sr^{-1}(cm^{-1})^{-1}$),
 CAL_slope (Callibration Slope), i. kanalın eğim değeri ($mWm^{-2}sr^{-1}(cm^{-1})^{-1}$),
 Count, ikili pixel değerini (0 ile 1024 arasında) ifade etmektedir.

Görünür kanallar için elde edilen radyans değeri yansıma değerine dönüştürülerek kullanılmıştır. Bu dönüştürme yapılırken Güneş ile Dünya arasındaki görüntünün alındığı zamandaki uzaklık ve diklik açısı kullanılmıştır. Aşağıda verilen eşitlikle radyans değerleri yansıma değerlerine dönüştürülmüştür.

$$REFL = 100 * R(i) / TOARAD(i) / \cos (TETA) \quad i = 1,2,3,\dots,12. \quad (4.5)$$

Burada, REFL, Kanal i ($i = 1, 2, 3, \dots, 12$) için % olarak yansıma değeri,
 R(i), Kanal i ($i = 1, 2, 3, 12$) için ölçülen radyans değeri ($mW m^{-2} sr^{-1} (cm^{-1})^{-1}$),

TOARAD, Kanal i ($i = 1, 2, 3, 12$) için atmosferin tepe noktası için güneş sabiti, ($\text{mW m}^{-2} \text{sr}^{-1} (\text{cm}^{-1})^{-1}$),

TETA, Güneş zenith (diklik) açısı (Gün, saat ve enlem/boylam bilgisine göre hesaplanmaktadır).

Kullanılan $\text{mW m}^{-2} \text{sr}^{-1} (\text{cm}^{-1})^{-1}$ birimini $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ 'ye çevirmek için her bir kanalı $10/\lambda_0^2$ ile çarpmak gerekmiştir. λ_0 , μm cinsinden her bir kanal için farklı olan merkezi dalgaboyu uzunluğudur.

i , Kanal numarası (1 = VIS0.6; 2 = VIS0.8; 3 = NIR1.6; 12 = HRV) olmak üzere Eş. (4.5)'de geçen TOARAD parametresi şu formüller ile verilmektedir:

$$\text{TOARAD} = (i=1, \text{VIS0.6}) = 20,76 / \text{ESD}^{**2} \quad (4.6)$$

$$\text{TOARAD} = (i=2, \text{VIS0.8}) = 23,24 / \text{ESD}^{**2} \quad (4.7)$$

$$\text{TOARAD} = (i=3, \text{NIR1.6}) = 19,85 / \text{ESD}^{**2} \quad (4.8)$$

$$\text{TOARAD} = (i=12, \text{HRV}) = 25,11 / \text{ESD}^{**2} \quad (4.9)$$

Burada, ESD (Earth-Sun Distance) astronomik birim cinsinden Yerküre ile Güneş arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. ESD yılın günlerine bağlı olarak değişmektedir. ESD aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\text{ESD (Yılın Günü)} = 1,0 - 0,0167 \cos(2\pi(\text{Yılın Günü} - 3)/365) \quad (4.10)$$

MSGView programı yukarıdaki formülleri kullanarak nispi yansımaya ve radyans hesaplamalarını yapmaktadır. Nispi yansımaya ve radyans değerlerinin çözünürlüğü $0,2^\circ \times 0,2^\circ$ 'dir. Türkiye'nin bütününe kapsayacak şekilde yaklaşık 20 km çözünürlükte 3610 nokta için nispi yansımalar hesaplatılmıştır. Nispi yansımaya ve radyans değerleri 365 gün için ayrı ayrı metin dosyası olarak düzenlenmiştir. Elde edilen nispi yansımaya yüzde (%) biriminde olup değerler de 0 - 100 arasında değişmektedir.

4.4. Uydu Verilerinden Global Güneş Radyasyonunun Hesaplanması

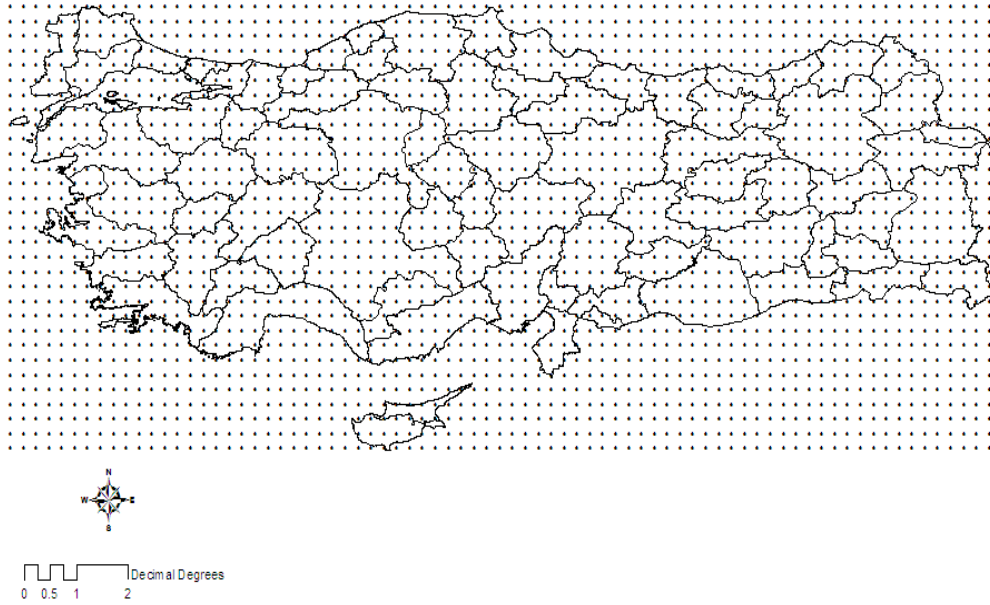
MSGview programından elde edilen nispi yansımaya değerleri (reflektanslar) kullanılarak; ρ_{\min} ve ρ_{\max} değerlerini içeren bir Albedo atlası oluşturulmuştur. Albedo atlası hesaplanırken her nokta için aylık maksimum yansımaya değeri ρ_{\max} olarak alınmış, aylık minimum yansımaya değeri ise ρ_{\min} olarak alınmıştır. Burada ρ_{\max} bulut albedosunu ve ρ_{\min} ise yer albedosunu ifade etmektedir. Albedo atlası ve Eş. (3.13) kullanılarak bulut indeksleri hesaplatılmıştır. Bu hesaplamalar için MGM'de hazırlanan bir yazılım kullanılmıştır. 15 dakikada bir gelen uydu verileri işlenerek günlük ortalamalar ve günlük bulut indekslerinden aylık ortalamalar hesaplanmıştır. Bulut indeks değerleri, bulut örtüsünün bir ölçüsüdür. Hesaplanan aylık ortalama bulut indeks değerleri, Aksoy ve ark. (2011) tarafından geliştirilen Uydu Tabanlı Kuadratik Model yaklaşımında yerine konularak (Eş.4.3) aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri hesaplanmıştır. Eş. (4.3)'de geçen H_o (ekstraterrestrial radyasyon) Duffie ve Beckmann (1974) tarafından şu şekilde verilmiştir:

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \left[\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin w_s + \left(\frac{2\pi}{360}\right) w_s \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta \right] \quad (4.11)$$

Burada, I_{sc} , güneş sabiti (1367 W/m^2), ϕ , ilgili yerin enlemi, δ , güneş deklinasyon açısı, w_s , verilen ay için ortalama güneş saati açısıdır ve Eş. (4.12) ile hesaplanmıştır.

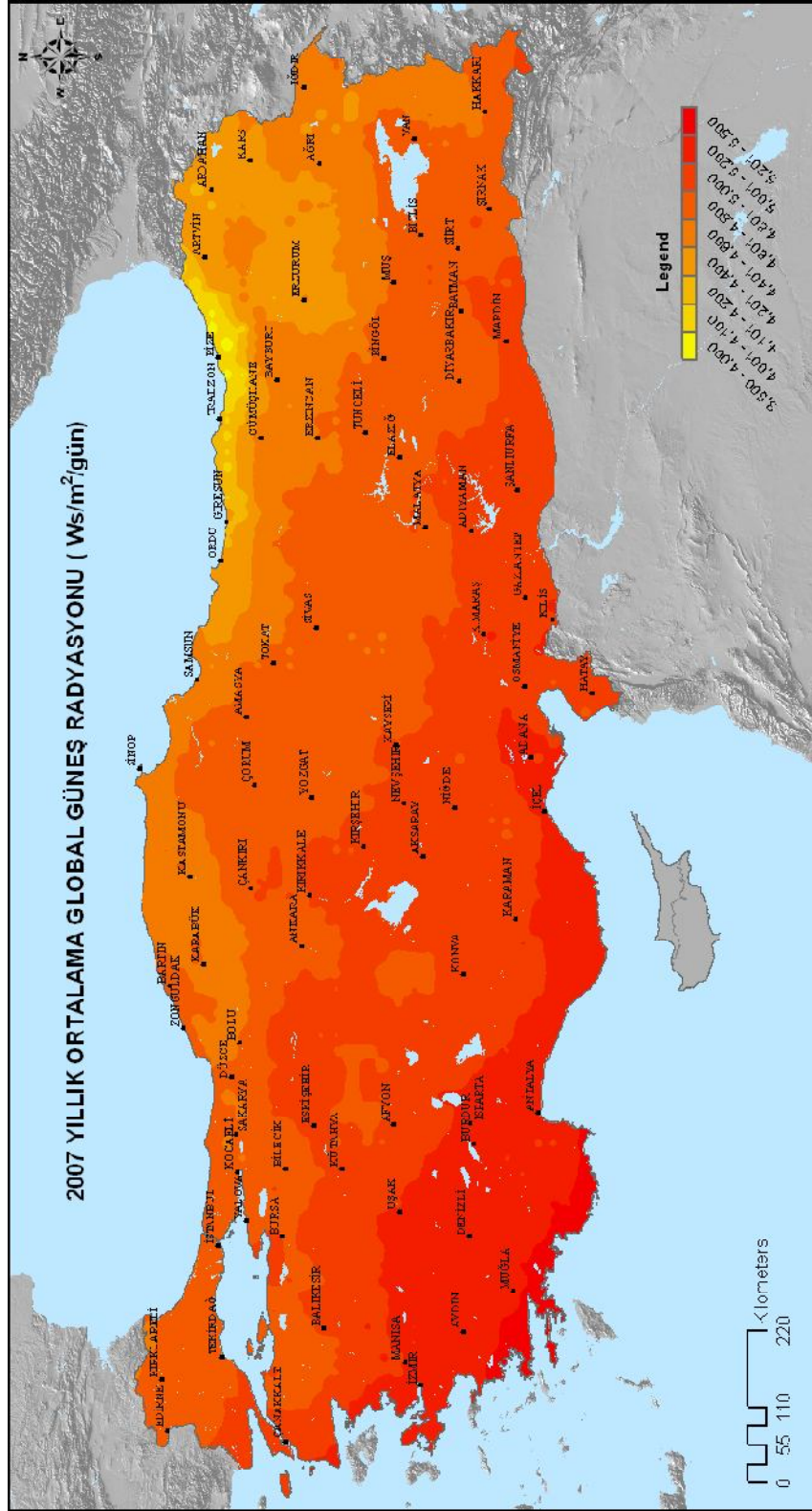
$$w_s = \cos^{-1}(-\tan\phi \cdot \tan\delta) \quad (4.12)$$

Aylık ortalama global güneş radyasyonu hesaplamaları için MS-Excel bilgisayar programı kullanılmıştır. Şekil 4.2'de model çıktıklarına göre hesaplanan Türkiye'deki 3610 grid noktasının merkezleri gösterilmiştir. Grid noktalarının her biri $0,2^\circ$ enlem ve $0,2^\circ$ boylama eşit bir alanı temsil etmektedir.



Şekil 4.2. Model çıktılarına göre hesaplanan Türkiye’deki 3610 grid noktasının merkezleri

Hesaplamalar sonucunda, 2007 yılı için aylık ve yıllık ortalama global radyasyon değerleri elde edilmiştir. Dağılımı belirlemek için de ARC-GIS yazılımı kullanılarak haritalandırma yapılmıştır. Şekil 4.3’de yıllık ortalama global radyasyon dağılımı verilmiştir. Bu harita da görüldüğü gibi, global güneş radyasyonu şiddeti Türkiye’nin güneybatısında en yüksek değerlere sahipken, kuzeydoğusunda ise en düşük değerlere sahiptir. Beklendiği gibi; güney enlemlerden kuzey enlemlere gidildikçe global güneş radyasyonu şiddeti azalmaktadır; radyasyondaki değişim, enleme paralel bir görünüm sergilemektedir. Enlemlere paralel olarak değişen dağılımın, kuzeydoğu bölgelerimiz üzerinde bir miktar bozulduğu görülmektedir. Bu ise bölgenin oldukça yüksek dağlara sahip olmasının ve Türkiye’yi etkileyen genel meteorolojik dolaşımın doğal bir sonucudur. Şekil 4.3’den de görüldüğü gibi; 2007 yılı için yıllık ortalama global güneş radyasyonu şiddeti değerleri yaklaşık olarak 3800 ile 5300 $Ws/m^2/gün$ arasında değişmektedir. En düşük yıllık ortalama değer 3886 $Ws/m^2/gün$ ile ülkemizin kuzeydoğusunda, (40,90° (N), 40,70° (E)) Rize ili ve civarındadır. En yüksek yıllık ortalama değer ise 5277 $Ws/m^2/gün$ ile güneybatı kesimlerde (36,90° (N), 28,70° (E)), Muğla ili ve civarında tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. 2007 yılı yıllık ortalama global güneş radyasyonu dağılım haritası

4.5. Yer Verileri

Model çıktılarını yer verileri ile karşılaştırmak ve modelin performansını belirlemek amacı ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 6 istasyonun 2007 yılı global güneş radyasyonu verileri düzenlenmiştir. Bu veriler, AWOS (Automated Weather Observation Station) ölçümlerinden alınan global güneş radyasyonu değerleridir. AWOS'ların üzerinde bulunan, piranometre cihazlarının yapmış olduğu dakikalık ölçümlerden günlük toplam ve aylık ortalama değerler elde edilmiştir. İstasyonların günlük verileri alınırken gün doğumu ve batımı saatlerine dikkat edilmiştir. Eksik veya hatalı değerler veri setinden çıkarılmıştır. Suni engellerin oluşturacağı olumsuzluklardan kurtulmak ve cihaz hatalarından korunmak için 75 dereceden daha büyük açılardaki gözlem ve model çıktıları doğrulama çalışmasına dahil edilmemiştir. Doğrulama çalışmaları için kullanılan istasyonların enlemleri, boylamları ve yükseklikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.4'de ise bu istasyonların Türkiye haritası üzerindeki dağılımı görülmektedir.

Çizelge 4.1. İstasyonların enlem, boylam ve yükseklikleri

İSTASYONLAR	ENLEM	BOYLAM	YÜKSEKLİK (m)
AFYON	38,74	30,56	1034
ANKARA	39,97	32,86	891
BOLU	40,73	31,60	743
BURSA	40,23	29,01	100
İSTANBUL	40,58	29,05	33
UŞAK	38,67	29,40	919



Şekil 4.4. İstasyonların Türkiye haritası üzerindeki yerleri

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi doğrulama çalışmaları için seçilen istasyonlar daha çok Türkiye’nin batısında ve orta kısmında yer almaktadır. Bunun sebebi Türkiye’de batıda 20 tane global güneş radyasyonu ölçen istasyon olmasına rağmen bu istasyonlardan verileri eksik ve sağlıklı olmayanlar vardır ve daha doğru bir karşılaştırma yapabilmek için bu istasyonlar karşılaştırmaya dahil edilmemiştir.

4.6. Uydu ve Yer Verilerinin Karşılaştırılması

Bu çalışma kapsamında, her istasyon için uydu görüntüleri kullanılarak hesaplanan aylık ve yıllık ortalama tahmini global radyasyon değerleri ile yer verileri arasında korelasyonlar aranmıştır. Uydu tabanlı kuadratik model kullanılarak hesaplanan uydu verileri ile yer verileri arasında istatistiksel bir takım hesaplamalar yapılmış ve bu hesaplamaların formülleri aşağıda verilmiştir.

$$BE = H_{im} - H_{ig} \quad (4.13)$$

$$MBE = \left[\sum_{i=1}^n BE \right] / n \quad (4.14)$$

$$RMSE = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n BE \right] / n \right\}^{1/2} \quad (4.15)$$

$$RE = BE \times 100 / \langle H \rangle \quad (4.16)$$

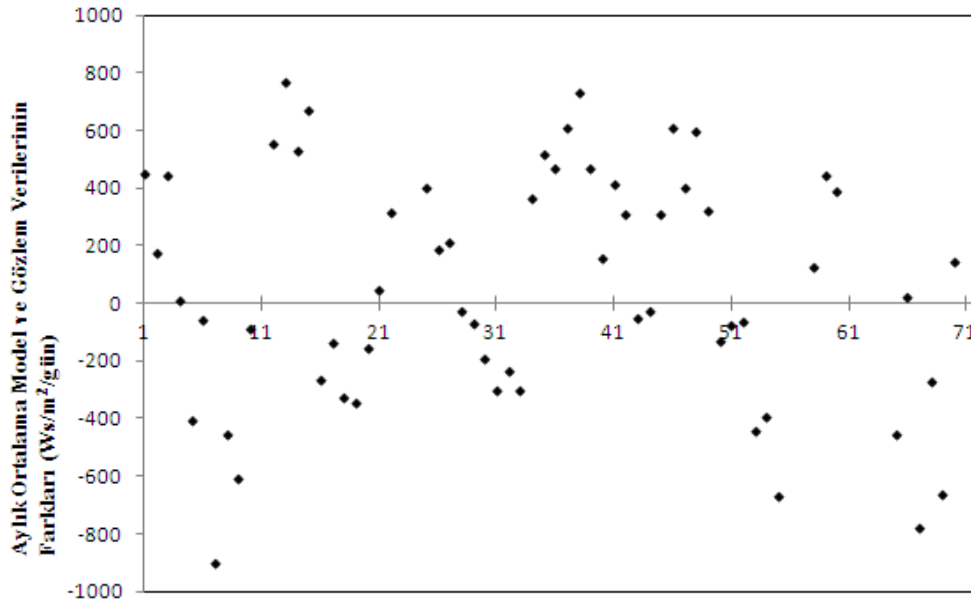
Burada, H_{im} , i. aya ait uydu tabanlı kuadratik model ile elde edilmiş global güneş radyasyonu, H_{ig} , i. aya ait yer ölçümlerinden alınmış global güneş radyasyonu, $\langle H \rangle$, yer ölçümlerinin ortalaması, n , toplam veri sayısıdır.

Çizelge 4.2. Model ve gözlem çıktılarının istatistiksel analizleri

İstasyonlar	Yıllık Ort. (Model) (Ws/m ²)	Yıllık Ort. (Gözlem) (Ws/m ²)	MBE (Ws/m ²)	RMSE (Ws/m ²)	RE (%)
Afyon	5262	5455	-193	504	9,2
Ankara	4553	4633	-80	457	9,9
Bolu	4273	4187	86	308	7,4
Bursa	4463	4086	377	448	11,0
İstanbul	4906	4797	109	420	8,8
Uşak	4481	4532	-51	360	7,9
ORTALAMA	4656	4615	41	416	9,0

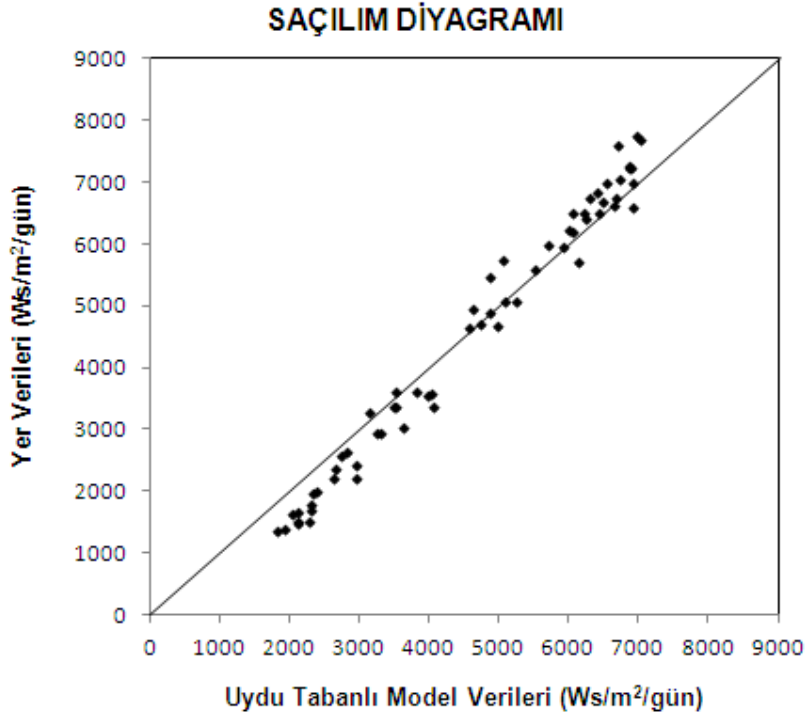
Bağlı hata (RE - Relative Error), hesaplanan değerlerin ölçülen değerlerden ne kadar saptığını yüzde olarak ifade eder. Çizelge 4.2'ye göre Bolu, Bursa ve İstanbul için uydu verilerinden hesaplanan aylık ortalama güneş radyasyon verileri, istasyonlardan alınan aylık ortalama gözlem verilerinden yüksek, Afyon, Ankara ve Uşak istasyonlarından alınan gözlem verileri ise düşük çıkmıştır. Bursa en yüksek MBE, RMSE ve RE değerlerine sahip iken, Bolu ise % 7,4 ile en düşük nispi hata değerine sahiptir. Ortalama nispi hata oranı % 9,0 olarak hesaplanmıştır.

Ortalama sapma hata analizi (MBE - Mean Bias Error), karşılaştırılan verilerin uzun dönem performansı hakkında bilgi verir. MBE'nin küçük olması istenir. Yapılan hesaplamalarda ortalama MBE 41 Ws/m^2 olarak hesaplanmıştır. Bu ise uydu tabanlı kuadratik model çıktılarının, gözlem çıktılarına göre ortalama $41 \text{ Ws/m}^2/\text{gün}$ kadar yüksek değer ürettiğini göstermektedir. Ortalama değer $4656 \text{ Ws/m}^2/\text{gün}$ olduğu düşünülürse; model sapmasının makul sınırlarda olduğu söylenebilir. Karesel ortalama hata analizi (RMSE - Root Mean Square Error), genellikle karşılaştırılan verilerin kısa dönem performansları hakkında bilgi verir. Elde edilen değer küçük olması hesaplanan değer ne kadar başarılı olduğunu kanıttır. Mutlak değer anlamında; RMSE'nin MBE sonuçlarına göre oldukça artması, farklara ait pozitif ve negatif sayılarının birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Bunu belirlemek için bir fark dağılım çalışması yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucu Şekil 4.5'de grafiksel olarak verilmiştir. Fark dağılım grafiğinde, pozitif ve negatif farkların sıfır çizgisinin etrafında eşit miktarda dağılımını gözlemek isteriz. Aylık ortalama gözlem ve model verilerinin karşılaştırılması sonucu toplam 62 veriden 29 tanesi negatif olup, 33 tanesi pozitifdir. Farkların işaret olarak bir yönde yığılı olmaması ve işaret olarak birbirine yakın miktarlarda bulunması modelin iyi bir performansa sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.5. Altı istasyonun, aylık ortalama global güneş radyasyonu gözlem ve model verileri arasındaki farkların dağılımı

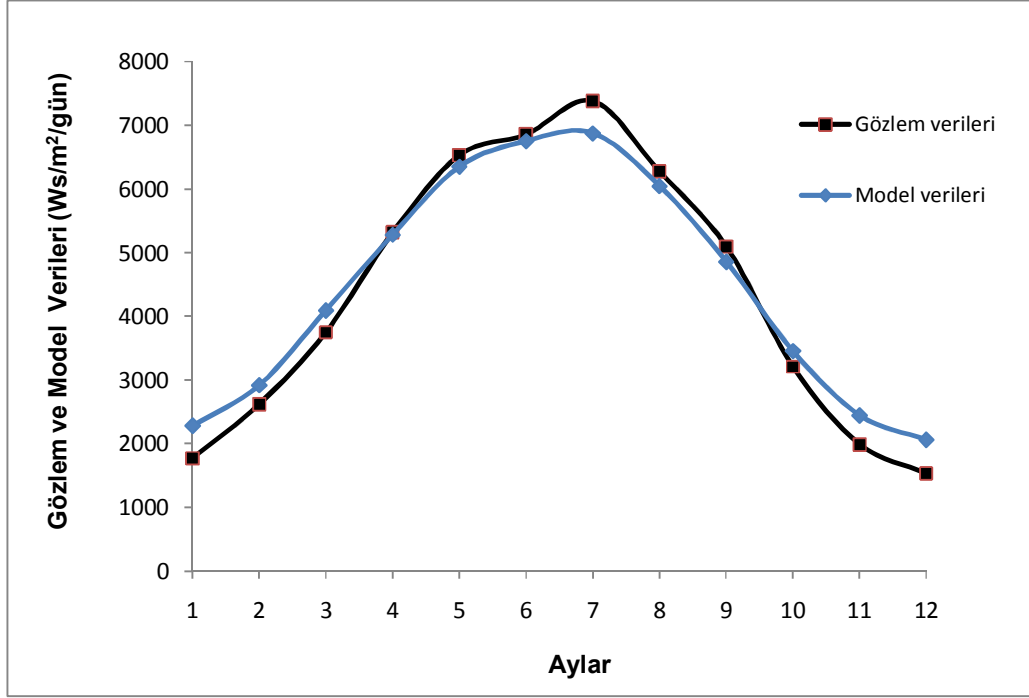
Uydu tabanlı kuadratik modelden elde edilen aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri ile istasyonlardan alınan aylık ortalama veriler bir saçılım diyagramında değerlendirilmiştir. Saçılım diyagramı, Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. Uydu tabanlı aylık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin yer ölçümlerinin aylık ortalamalarına göre saçılım grafiği

Saçılma diyagramındaki diyagonal hat iki veri arasındaki mükemmel uyum çizgisidir. İdeal durumda saçılmanın bu çizgi üzerinde olması beklenir. Şekil 4.6’ya göre verilerin diyagonal çizgi etrafında kümelendikleri tespit edilmiştir.

Diğer bir doğrulama çalışmasında ise altı istasyonun model çıktıları ve gözlem veri setlerinin aylık ortalamalar olarak yıl içerisinde değişimlerinin uyumları izlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, gözlem ve model verilerinin aylık ortalamalarının aylara göre değişimi grafiklendirilmiş ve Şekil 4.7’de sunulmuştur.



Şekil 4.7. Altı istasyonun 12 aylık ortalama global güneş radyasyonu gözlem verileri ile model verilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.7'ye göre, uydu tabanlı model verileri, kış aylarında gözlem verilerinden daha yüksek, yaz aylarında ise daha düşüktür. Bir başka söylem ile düşük güneş açılarında model yüksek tahminlerde bulunurken, yüksek güneş açılarında ise düşük kestirimlerde bulunmaktadır. En fazla sapmanın 531 Ws/m²/gün ile Aralık ayında olduğu görülmektedir. Yaz ve kış aylarında olan sapmanın ilkbahar ve sonbahar aylarında çok küçük değerlere düştüğü tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Dünyada, gün geçtikçe artan nüfus ile birlikte enerji ihtiyacı da artmaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacı daha çok fosil yakıtlardan (kömür, petrol, doğalgaz...) karşılanmaktadır. Fosil yakıtların da kısa bir sürede tükeneceği öngörüsü ile insanoglu alternatif enerji kaynağı arayışlarına başlamıştır. Bu amaçla yenilenebilir enerji kaynakları araştırılmaya başlanmıştır. Bu kaynakların başında güneş enerjisi gelmektedir. Atmosferik dolaşımın gerekli şartı olarak bilinen güneş enerjisinin, son günlerde yaşam koşullarımızı belirleyen iklim değişimi konularındaki yeri ve önemi de tartışılmaz bir gerçektir. Güneş enerjisi ülkemizin iklim ve coğrafyasına uygun bir alternatif enerji kaynağıdır. Bu amaçla ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli belirlenmesi için pek çok çalışma hala üniversitelerde ve çeşitli devlet kurumlarında yapılmaktadır. Tabii bu potansiyelin belirlenmesi için uzun zamanlı ve doğru ölçülmüş veri setlerine ihtiyaç vardır. Güneş gözlemi yapan meteoroloji istasyonlarının daha önceki bölümlerde anlatılan sıkıntılardan dolayı güneş radyasyonu modelleme çalışmaları her zaman gündemde olmuştur.

Bu tez çalışmasında, MGM ve ODTÜ, Fizik Bölümünden oluşturulan bir ekibin ortak çalışmaları ile gerçekleştirdikleri istatistiksel bir model olan uydu tabanlı kuadratik model esas alınmıştır. 2007 yılı MSG-2 uydu verileri kullanılarak Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Bu modelden elde edilen veriler ile meteoroloji istasyonlarından alınan veriler karşılaştırılmıştır. Yapılan istatistiksel hata analizlerinden, uydu verilerinden elde edilen bulut indeks değerleri ile hesaplanan global güneş radyasyonu aylık ortalama değerlerinin tüm Türkiye için % 9,0 ortalama nispi hata ile hesaplanabileceği görülmüştür.

Uydu verilerinden elde edilen nispi yansımaya değerlerinin hesaplanmasında, özellikle yerde kar ve buz olduğunda yansımının çok fazla olmasından veya yüksek seviyeli bulutların içindeki buz kütlelerinden yansımının yine çok fazla olması sebebiyle, nispi yansımaya değerlerinin %100'den büyük hesaplandığı durumlar ile karşılaştırılmıştır. Ancak modelin standart çalışma koşullarına müdahale edilmemesi adına bu veriler olduğu gibi işleme alınmıştır. Ayrıca uydu ölçümlerinden de

kaynaklanan bir takım hatalar olabilir. Uydu radyometresinin sensörlerinde meydana gelen aksaklık ve arıza uydu verilerinin hatalı olmasına sebep olabilmektedir. Ayrıca uydudan uzaklaştıkça her bir pikselin temsil ettiği mesafede artmaktadır. Ülkemizin batı kesimlerinde yaklaşık 3 km olan bu mesafe, doğu bölgelerimize doğru gittikçe yaklaşık 5 km'ye kadar çıkmaktadır. Bunun içinde grid bazında herhangi bir düzeltme yapılmamıştır.

İstasyonlardan alınan verilerde yaşanabilecek sıkıntılar ise; meteorolojik ölçüm yapan istasyonların önceden şehir dışına kurulmasına rağmen, artan nüfus ve kentleşmeyle birlikte yerleşim yerlerine yaklaşması ve güneş radyasyonu ölçen cihazların konumlarının doğru olarak yapılmaması nedeniyle sağlıklı yer verisi elde etmek zorlaşmıştır. Bakım, kalibrasyon ve insan gücü gereksiniminden kaynaklanan işletim zorluklarından dolayı güneş gözlem ağında yeterli sıklıkta veri elde etmeyi sınırlandırmaktadır. İstasyonlardan alınan ölçüm verilerinde eksik ve hatalı veriler ayıklanmaya çalışılmıştır.

Ekler kısmında 2007 yılına ait, uydu tabanlı kuadratik model kullanılarak hesaplanan $0,2^{\circ} \times 0,2^{\circ}$ çözünürlüklü aylık ortalama Global Güneş Radyasyonu dağılım haritaları verilmiştir. Bu haritalar, ARC-GIS bilgisayar programında hazırlanmıştır. Bu haritalarda yıllık dağılım haritasına benzer özellikler göstermektedirler.

Yer gözlemleri güneş potansiyeli çalışmaları için esastır. Son yıllarda gelişen yer gözlem sistemleri oldukça güvenilir ölçümler yapmaktadırlar. Model çıktıları ne olursa olsun, yer gözlem verileri esastır ve asla ihmal edilmemelidir. Uydu verilerinin alansal olarak çözünürlüğü çok yüksektir. Bu çözünürlüklere yer verileriyle ulaşmak mümkün değildir. Uydu görüntülerinden, sıcaklık, nem, rüzgar gibi farklı türde veriler elde edilebilir. Uydu verilerini iklim değişikliği gibi farklı alanlarda kullanmak mümkündür. Uydu çıktıları, çok miktarda veri elde etmemizi sağlayabilir. Ve bu çalışmayla da gördük ki uydu verilerini yer gözlemleri ile ilişkilendirilerek yapılan model çalışmaları da oldukça iyi performans sergilemektedir.

KAYNAKLAR

Akınoğlu, B.G., “ A review of sunshine- based models used to estimate monthly average global solar radiation”, *Renewable Energy*, 1(3/4): 479-497 (1991).

Akınoğlu, B.G., Ecevit A., “Construction of a quadratic model using modified angstrom coefficients to estimate global solar radiation”, *Solar energy*, 45: 85-92 (1990).

Akkaya, S., “Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi ve bir rüzgar enerjisi uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 2-5 (2007).

Aksoy, B., “Solar radiation over Turkey and its analysis”, *International Journal of Remote Sensing*, 1–12 (2011).

Aksoy, B., Ener Ruşen, S., Akınoğlu, B.G., “A simple correlation to estimate global solar irradiation on a horizontal surface using METEOSAT satellite images”, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 35: 125–137 (2011).

Altınışık, C., “NOAA uydu verileri ile çukurova bölgesinde sıcaklık haritası”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Adana, 18 (1998).

Al-Sadah, F.H. ve Ragab, F.M., “Study of global daily solar radiation and its relation to sunshine duration in Bahrain”, *Solar Energy*, 47: 115-119 (1991).

Angström, A., “On the computation of global radiation from records of sunshine”. *Arkiv För Geofysik*, Band 2 nr 22: 471-479 (1956).

Angström, A., “Solar and terrestrial radiation”. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50: 121-126 (1924).

Bilgin, Z., “ Güneş takip sistem tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi , *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-8 (2006).

Cano, D., Monget, J.M., Albuisson, M., Guillard, H., Regas, N. Ve Wald, L., “A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data”, *Solar Energy*, 37(1): 31-39 (1986).

Çukurçayır, M., “Meteorolojik uydular”, *Dört mevsim meteoroloji bülteni*, 9-11 (2005).

Davies, J.A., Shertzer, W., Nunez , M., “Estimating global solar radiation”, *Boundary Layer Meteorology*, 9: 33-52 (1975)

Dinc, U., Yegingil, I., Peştemalçı, V., Dinc, O., Kandırılmaz, H.M., *Uzaktan Algılamannın Temel Esasları*, 1-132 (1994).

Dopplick, T.G., “Radiative heating of the global Atmosphere”, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 29: 1278-1294 (1972).

Duffie, J. A., and Beckman, W. A., “Solar engineering of thermal processes”, *John Wiley & Sons*, USA, 1-18 (1974).

FAO-WMO, “Seminar on applications of climatic data for effective irrigation planning and management”, *Training manual*, 16-21 (1991).

Gautier, C., Diak, G., Masse, S., “A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data”, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 19: 1005-1012 (1980).

Gopinathan, K.K., “A general formula for computing the coefficients of the correlation connecting global solar radiation to sunshine duration”, *Solar Energy*, 41: 499-502 (1988).

Godier, S. ve Rozelot, J., P. “ The solar oblateness and its relationship with the structure of the tachocline and of the sun's subsurface”, *Astronomy And Astrophysics*, 355: 365–374 (2000).

Goswami, D.Y., Frank, K., Kreider, J.F., “Principles of solar engineering” 2nd ed.”, *Taylor & Francis*, Philadelphia, 5-8,13, 22-23, 43, 45-51, 63-67, 415, 418 (2000).

Gökdemir, O., “MSG-SEVIRI uydu görüntüleri ile dağlık alanlarda kar örtüsünün gerçek zamanlı olarak belirlenmesi ve doğrulanması”, Doktora Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 15-18 (2009).

Hammer, A., Heinemann, D., Hoyer, C., Kuhlemann, R., Lorenz. E., Müller, R. and Beyer, H.G., “Solar energy assessment using remote sensing technologies”. *Remote Sensing of Environment*, 86: 423-432 (2003).

Iqbal, M., “An introduction to solar radiation”, *Academic Press*, Toronto, 101 (1983).

İnternet : EUMETSAT, Meteosat Second Generation “D. Rosenfeld (HUJ), “Applications of meteosat second generation (msg) conversion from counts to radiances and from radiances to brightness temperatures and reflectances”. http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/msg_channels.php, 1-8 (2005).

İnternet : NASA “Clouds” <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Clouds/> (2012).

İnternet: The Renewable Resource Data Center (RReDC), <http://www.nrel.gov/rredc>, (2010).

İnternet : EUMETSAT “Meteosat Second Generation”
<http://www.eumetsat.int/Home/Main/Satellites/MeteosatSecondGeneration/Instruments/index.htm?l=en> (2012).

İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü “Meteorolojik Aletler”
<http://www.dmi.gov.tr/genel/meteorolojikaletler.aspx?a=h> (2012).

Schmetz, J., Pili, P., Tjemkes, S., Just, D., Kerkmann, J., Rota, S. and Ratier, A., “An introduction to Meteosat Second Generation (MSG)”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83: 977–992 (2002).

Kandırmaz, H.M. and Akınoğlu, B.G., “Estimation of sunshine duration using satellite images”, *Turkish Physics Association, 23rd Physics Congress*, Muğla, 173 (2005).

Kandırmaz, H.,M., ”Düşük maliyetli bir sistemle yeryüzü güneş radyasyonunun uydu görüntüsü kullanarak haritalanması”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 25,37,39 (1999).

Kandırmaz, H.M., “A model for the estimation of the global sunshine duration from meteorological geostationary satellite data”, *International Journal of Remote Sensing*, 27(22): 5061-5071 (2006).

Kasten, F., Czeplak, G., “Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud”, *Solar Energy*, 24: 177-189 (1980).

Kılıç, A., Öztürk A., “Güneş Enerjisi”, *Kıpaş Dağıtımçılık*, 368 (1983).

Kondratyev, K.Y., “Radiation in the Atmosphere”, *Academic Press*, New York, 107-123 (1969).

Liou, K. N. “An Introduction to atmospheric radiation”, *Academic Press*, 37-45 (1980).

Manuel, O.K. ve Hwaung, G., “Solar abundances of the elements”, *Meteoritics*. 18(3): 209-222 (1983).

Messenger, R.A., Ventre, J., “Photovoltaic Systems Engineering 2nd ed.”, *CRC Pres*, New York, 21-25, 31-35, 415-431 (2004).

Oktik, Ş., “Türkiye’nin ve dünyanın enerji sorununa nihai çözüm”, *Güneş Enerjisi Bilim ve teknik dergisi* 45-46 (2011).

Ögelman, H., Ecevit, A. and Tasdemiroğlu, E., “A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data”. *Solar Energy*, 33; 619-625 (1984).

Prescott, J.A., “Evaporation from a water surface in relation to solar radiation”, *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64: 114-148 (1940).

Rietveld, M.R., “A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine”. *Agricultural and Forest Meteorology*, 19: 243-252 (1978).

Robinson, N., “Solar radiation”, *Elsevier*, Amsterdam, 120-130 (1966).

Samuel, T.D.M.A., “Estimation of global radiation for Sri Lanka”, *Solar Energy*, 47: 333-337 (1991).

Soler, A., “Monthly specific Rietveld’s correlations”. *Solar Wind Technologies*, 7: 305-306 (1990).

Strobel, N., “Astronomy Notes”, *McGraw Hill Book Co.*, New York, 10-20 (2007).

Şahin, M., “Yer yüzey sıcaklığı, atmosferik nem açıklığı ve yağış miktarının uydu verileri kullanılarak belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 35-38, 42-45 (2008).

Topçu, S., “Açık ve bulutlu atmosfer koşullarında saatlik toplam ışıyım öngörüsü için bir model”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 33-34, 20-25 (1988).

Varınca, K. B., Gönüllü, M. T., “Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma”, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 270-275 (2006).

Wahab, A.M., “New approach to estimate Angström coefficients”, *Solar Energy*, 51: 241-245 (1993).

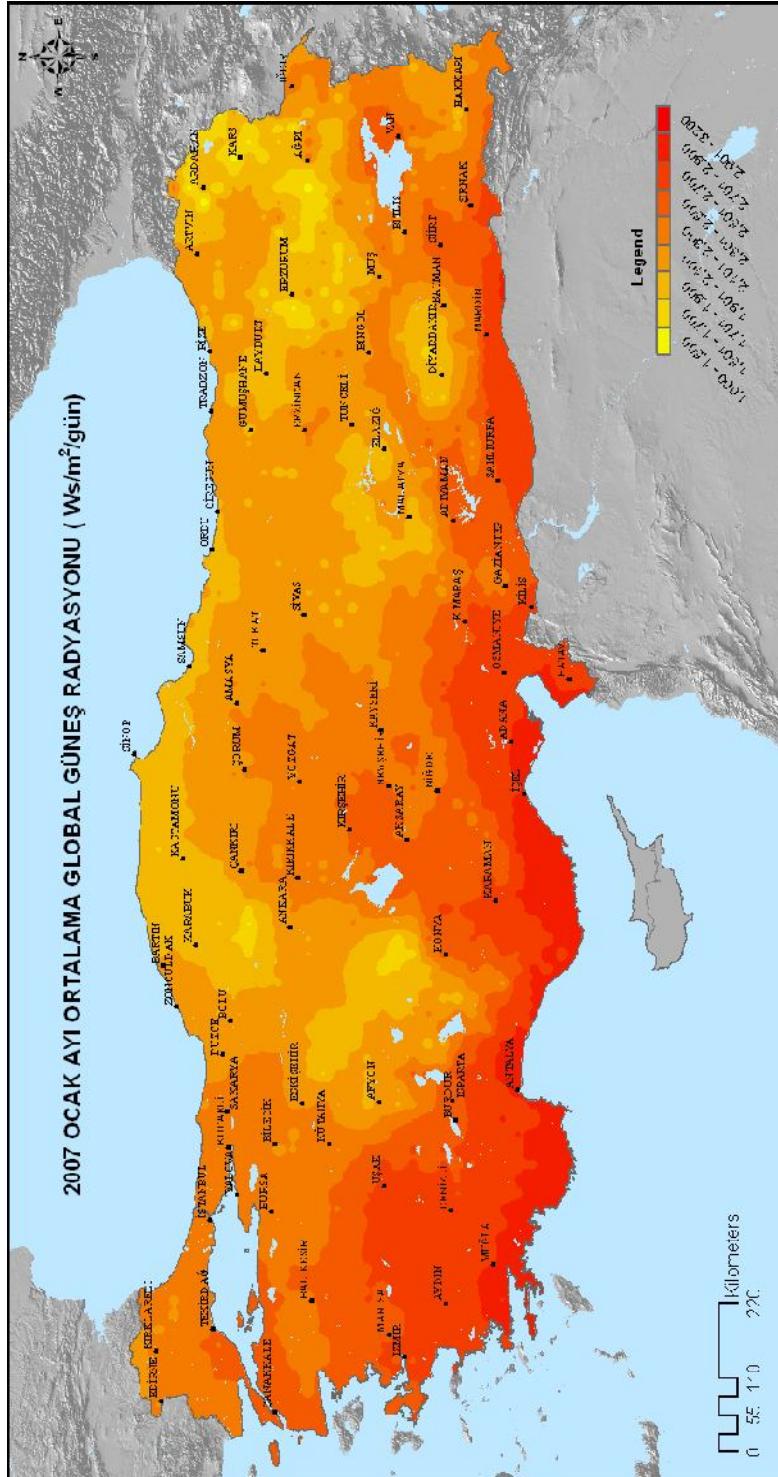
Whillier, A., “Solar radiation graphs” *Solar Energy*, 9: 164 (1965).

Yamamoto, G., “Direct absorption of solar radiation by atmospheric water vapor, carbondioxide and molecular oxygen”, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 19: 182-188 (1961).

Yıldırım, A., “Güneş enerjisi ile ısıtma”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 10-16 (2007).

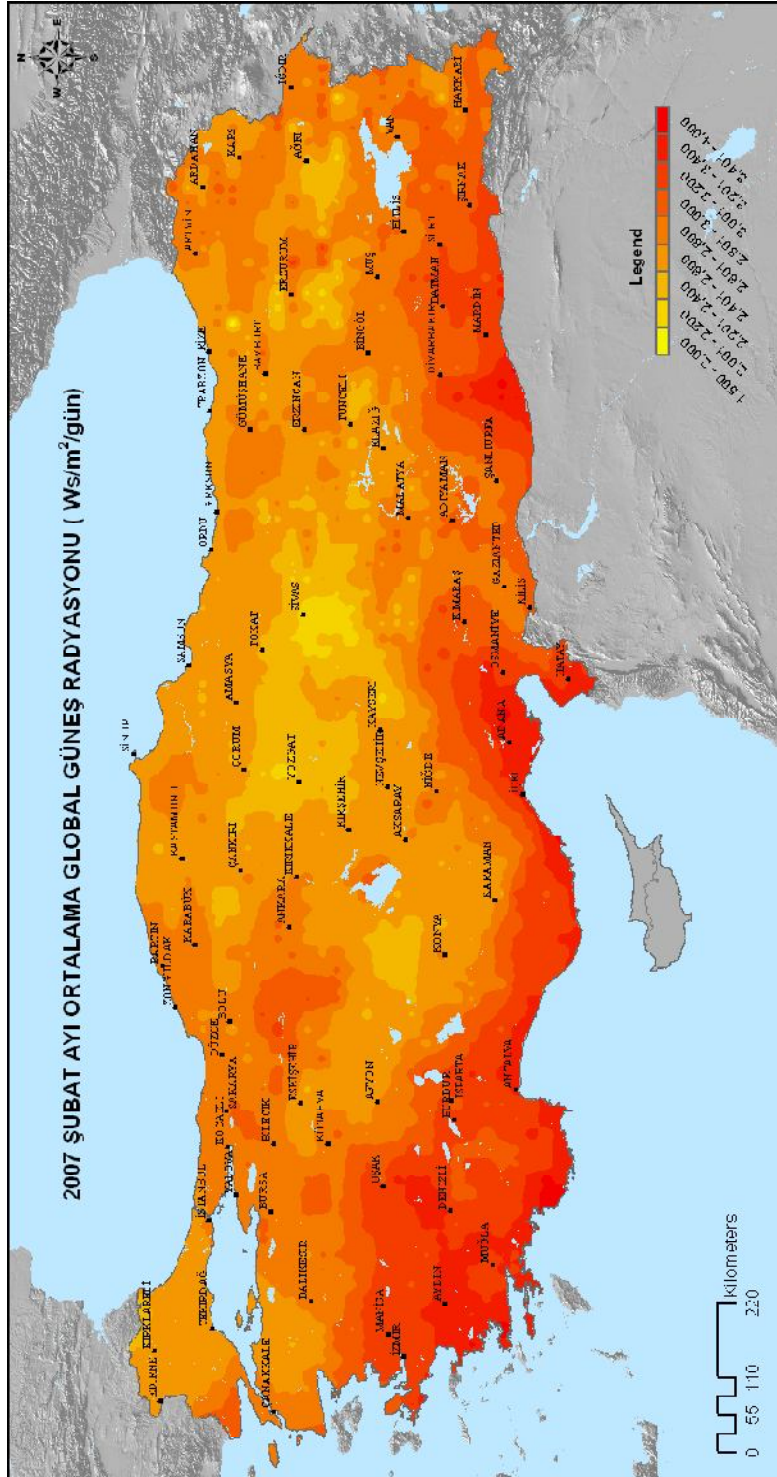
EKLER

EK-1 Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı



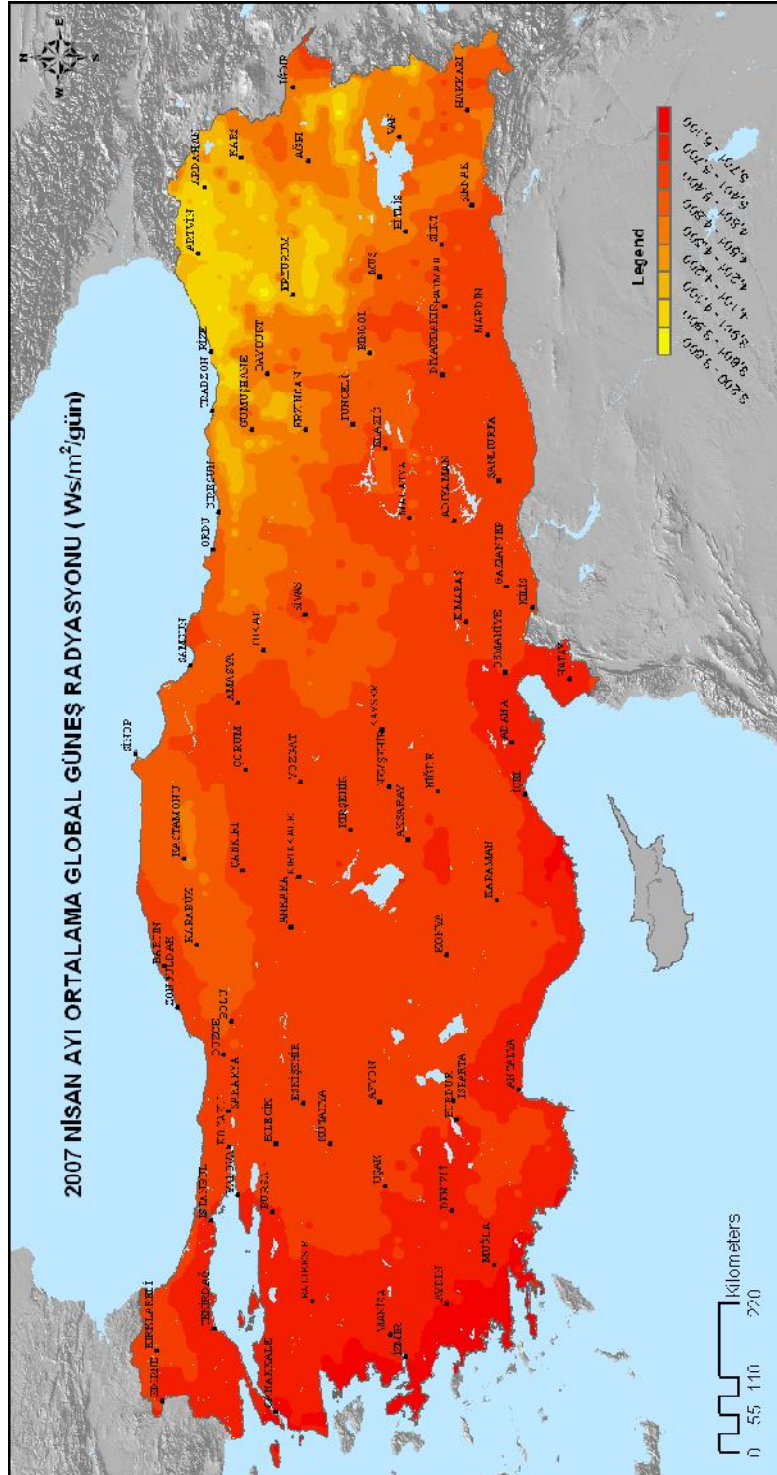
Şekil 1.1. Ocak-2007 global güneş radyasyonu dağılım haritası

EK-1 (Devam) Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı



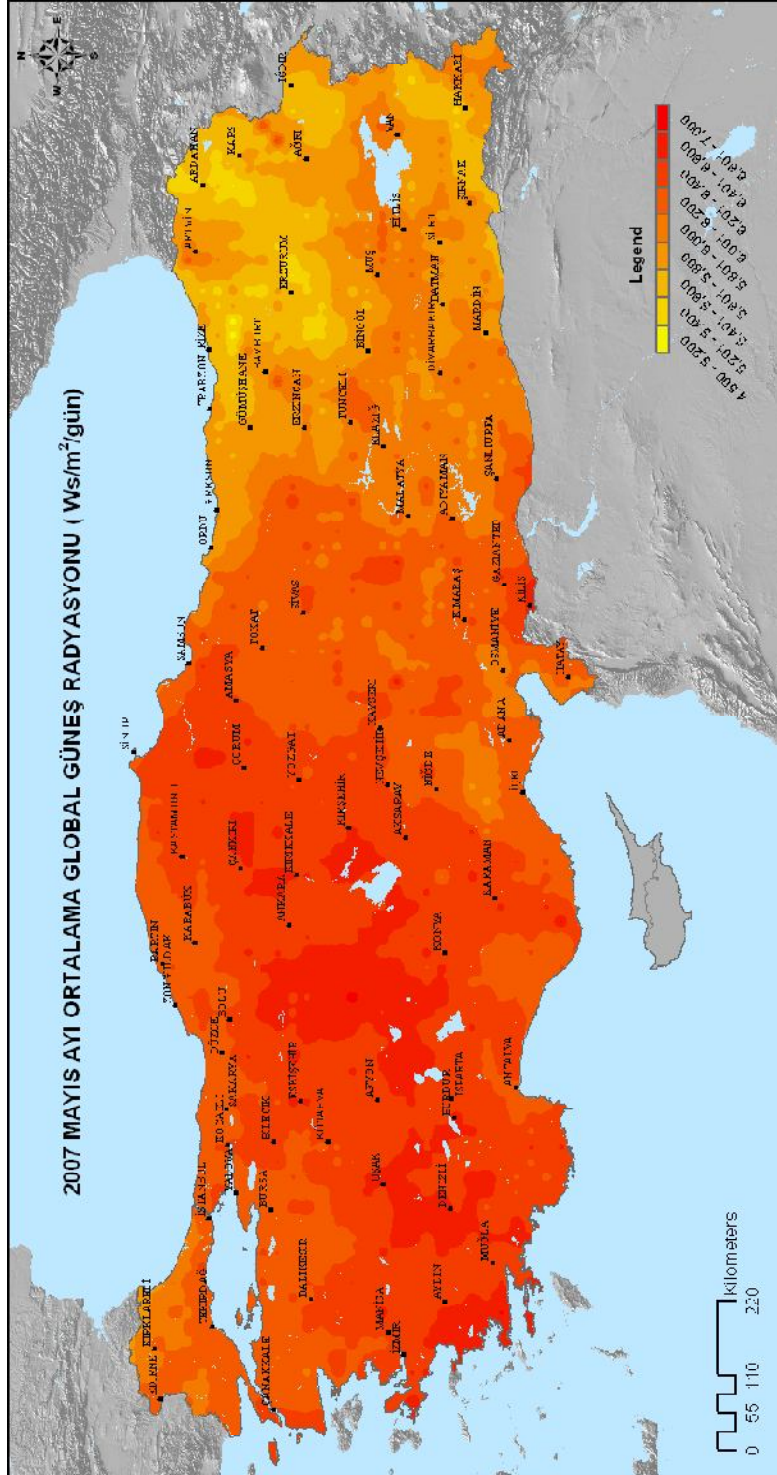
Şekil 1.2. Şubat-2007 global güneş radyasyonu dağılım haritası

EK-1 (Devam) Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı



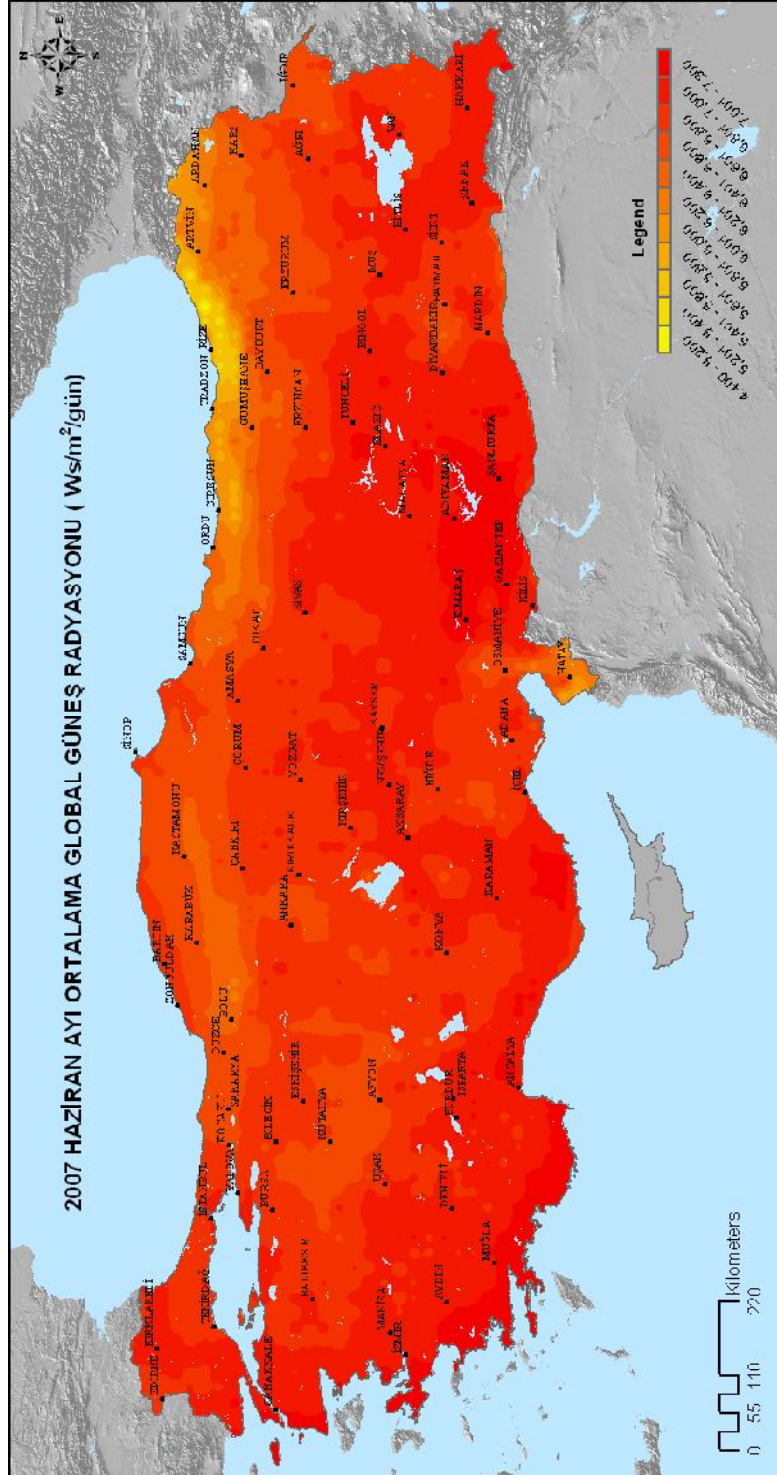
Şekil 1.4. Nisan-2007 global güneş radyasyonu dağılım haritası

EK-1 (Devam) Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı



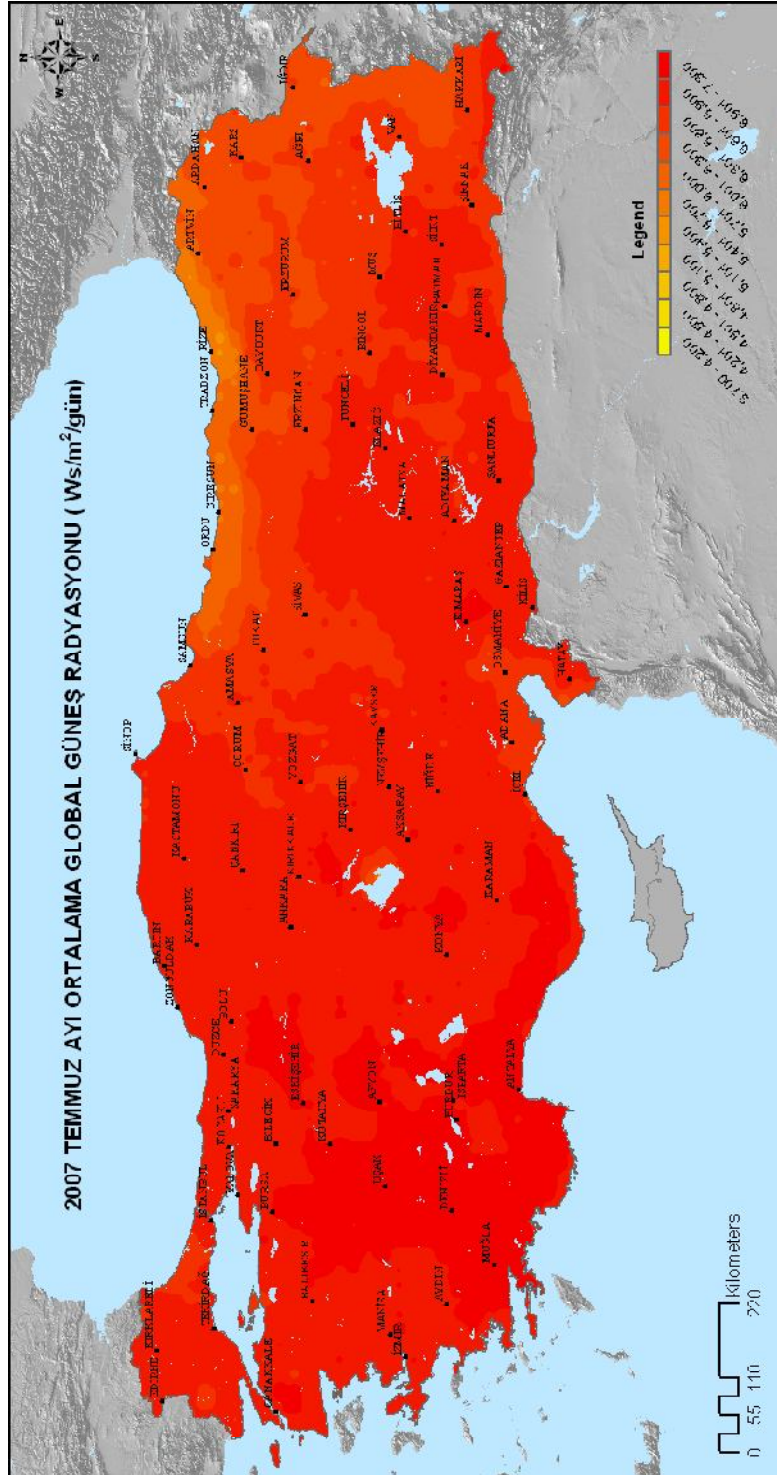
Şekil 1.5. Mayıs-2007 global güneş radyasyonu dağılım haritası

EK-1 (Devam) Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı



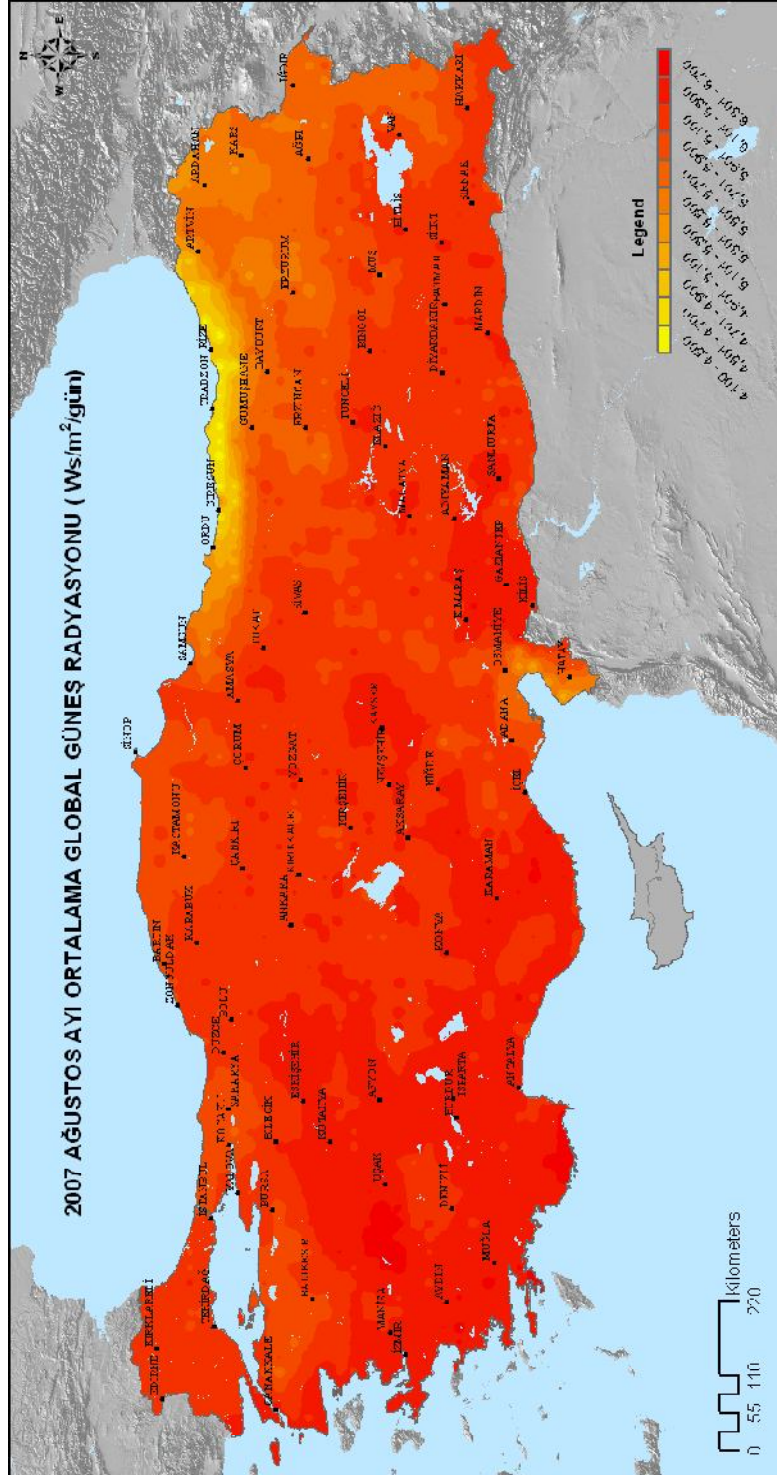
Şekil 1.6. Haziran-2007 global güneş radyasyonu dağılım haritası

EK-1 (Devam) Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı



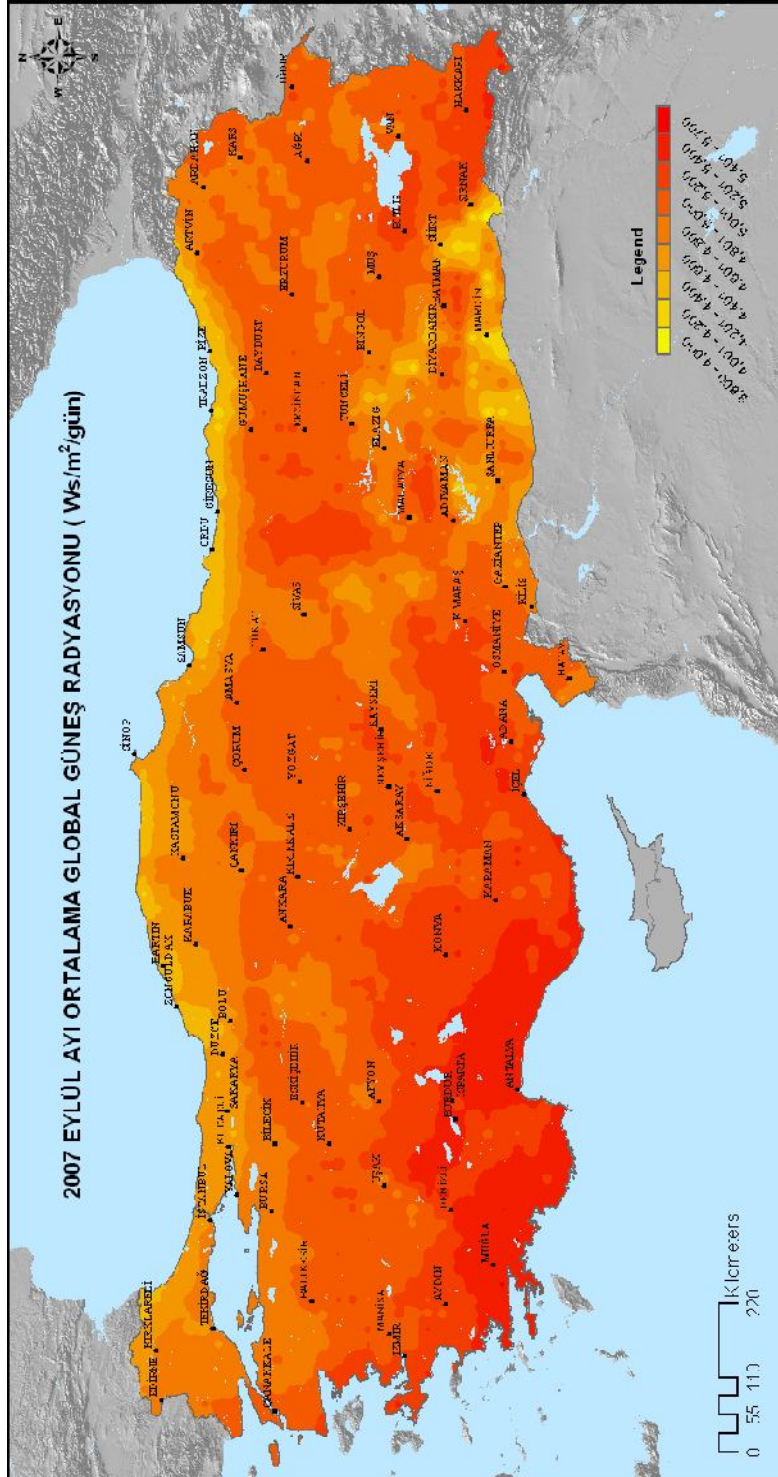
Şekil 1.7. Temmuz-2007 global güneş radyasyonu dağılım haritası

EK-1 (Devam) Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı



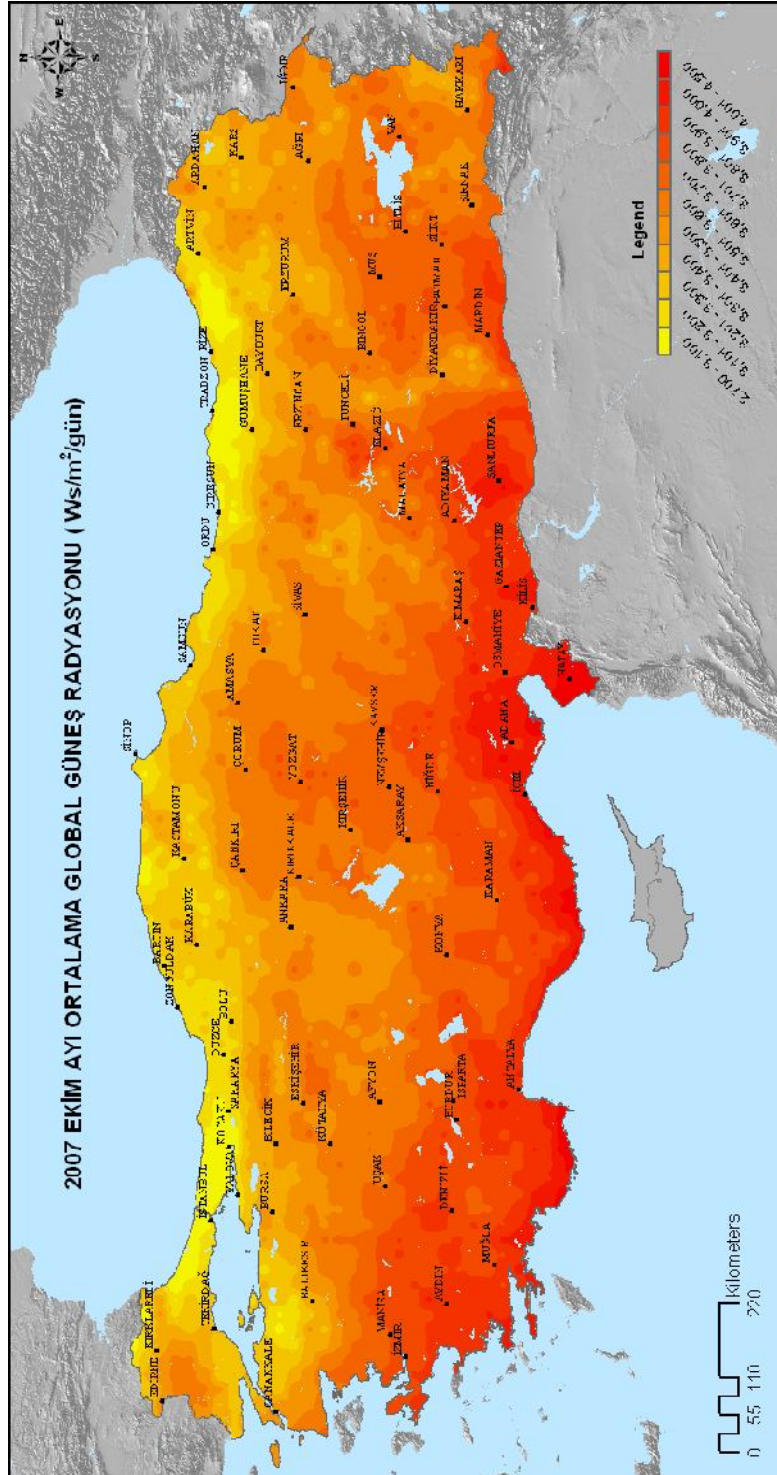
Şekil 1.8. Ağustos-2007 global güneş radyasyonu dağılım haritası

EK-1 (Devam) Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı



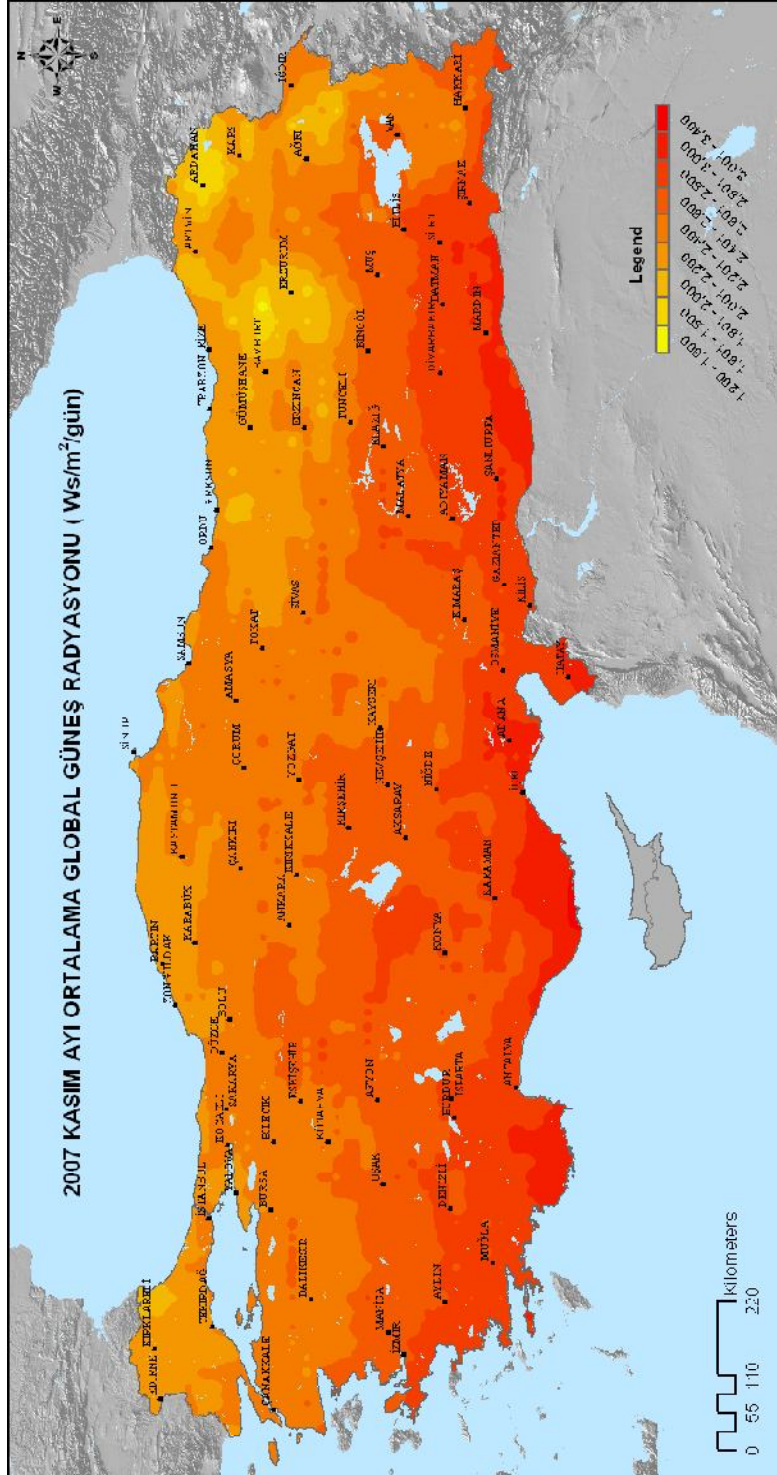
Şekil 1.9. Eylül-2007 global güneş radyasyonu dağılım haritası

EK-1 (Devam) Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı



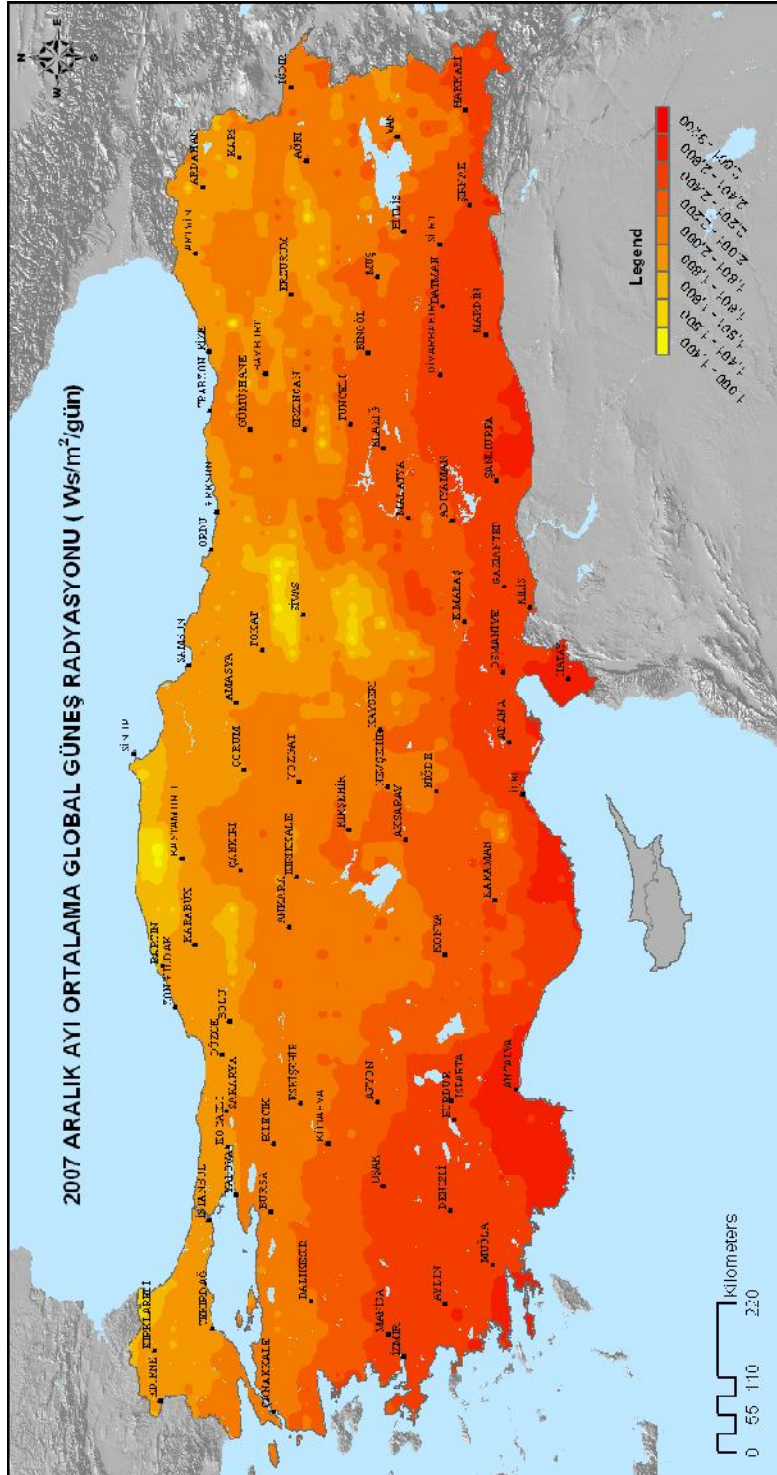
Şekil 1.10. Ekim-2007 global güneş radyasyonu dağılım haritası

EK-1 (Devam) Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı



Şekil 1.11. Kasım-2007 global güneş radyasyonu dağılım haritası

EK-1 (Devam) Aylık ortalama ve yıllık ortalama global güneş radyasyonu değerlerinin Türkiye haritası üzerindeki dağılımı



Şekil 1.12. Aralık-2007 global güneş radyasyonu dağılım haritası

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZDEMİR, Yasemin
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 05.09.1979 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 380 74 47
e-mail : yozdemir@mgm.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Hacettepe Üniversitesi/ Fizik Mühendisliği Bölümü	2002
Lise	Fatih Sultan Mehmet Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010 -	MGM, Araştırma Dairesi Başkanlığı	Fizik Mühendisi
2004 – 2010	MTA, MAT Dairesi Başkanlığı	Fizik Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce