

**KIZILÖTESİ BANTTA DENİZ ARKA PLAN
IŞIMALARININ HESAPLANMASI**

**CALCULATION OF SEA BACKGROUND
RADIANCE IN THE INFRARED BAND**

ESRA ERDEM

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2007

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....

Prof. Dr. Billur BARSHAN

Üye (Danışman) :.....

Prof. Dr. Feza ARIKAN

Üye :.....

Prof. Dr. Adnan KÖKSAL

Üye :.....

Doç. Dr. Birsen SAKA

Üye :.....

Yrd. Doç. Dr. Yakup Özkazanç

ONAY

Bu tez/...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Erdem YAZGAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

KIZILÖTESİ BANTTA DENİZ ARKA PLAN IŞIMALARININ HESAPLANMASI

Esra ERDEM

ÖZ

Kızılötesi pasif izleme sistemlerinin başarımı, hedefin yaptığı ışımanın arka plan ışımasından ayırt edilebilmesiyle orantılıdır. Bu tez için kızılötesi bantta deniz yüzeyini gören bir gözlemci tarafından algılanan toplam deniz ışıması ve bileşenlerini hesaplayan bir benzetim programı olan DAMA (Deniz Arka planı Modelleme ve Analizi) yazılımı geliştirilmiştir. Toplam ışıma, gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması, yansıyan kaynak (güneş veya ay) ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması ve yol ışıması bileşenlerinden oluşmaktadır. Yansıyan ışımaların hesaplanmasında deniz yüzeyi modelleri doğrudan etkilidir. Literatürde kızılötesi bantta deniz yüzeyini modelleyen üç çalışma bulunmaktadır. Bunlar Cox ve Munk, Mermelstein ve Shaw-Churnside modelleridir. DAMA yazılımı bu üç modeli içermektedir. Ayrıca, geliştirilen DAMA benzetim yazılımında kızılötesi bantta altı değişik tuzluluk ortamında yapılan ölçümler de bulunmaktadır. Yazılımın girdileri, gözlemci, zaman, dalgaboyu bandı, ortam, model seçimi ve çıktı dosyası parametreleri olarak sınıflandırılmıştır. Yazılımda çıktı olarak ise toplam ışıma ve bileşenleri verilmektedir. DAMA yazılımında kullanıcıya kolaylık sağlayan bir grafik kullanıcı arayüzü içermektedir. Girdiler arayüzden ya da girdi dosyasından girilebilmektedir. Çıktılar da arayüzden ya da çıktı dosyasından okunabilmektedir. Yazılım modüller halinde geliştirilmiştir. Girdi parametrelerinin toplam ışıma ve bileşenleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla, yazılım yaklaşık 10.000 farklı senaryo ile koşturulmuş ve çıktılar değerlendirilmiştir. Yazılım SEARAD yazılımı ve ölçüm sonuçları ile geçerlenmiştir. Böylece literatürde ilk defa tüm istatistiksel deniz yüzeyi ve tuzluluk modelleri içeren modüler bir yazılım geliştirilmiş ve tüm girdilerin değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışları değerlendirilmiştir. Bu tez ile kızılötesi pasif izleme sistemlerinin hedef ışıması ile deniz arka planı ışımasını ayırt etmesi amaçlı çalışmalara önemli katkılarda bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kızılötesi, deniz, arka plan, ışıma

Danışman : Prof.Dr. Feza ARIKAN, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

CALCULATION OF SEA BACKGROUND RADIANCE IN THE INFRARED BAND

Esra ERDEM

ABSTRACT

The success of infrared surveillance systems is proportional with distinguishing the radiance of the target and the background. In this thesis, a simulation program, namely, DAMA (Deniz Arka planı Modelleme ve Analizi) software is developed to calculate the total radiance and its components seen by an observer looking towards the sea surface. Total radiance is composed of thermal sea radiance, reflected source (sun or moon) radiance, reflected sky radiance and path radiance seen by the observer. The sea surface models are directly effective on the calculation of reflected radiances. In the literature, there are three studies modeling the sea surface in infrared band. These are Cox and Munk model, Mermelstein model and Shaw-Churnside model. The developed program includes all these three models. The DAMA program also includes measurements done at six different saltness levels. The inputs of the software are classified as observer, time, wavelength, medium, model selection and output file parameters. The software gives the total radiance and its components as output. The DAMA software includes a graphical user interface. The input can be entered either from interface or from an input file. The outputs can be read from the interface or from an output file. The software is modular. The program has been run for approximately 10,000 times to obtain the effects of input parameters on total radiance and its components and the outputs are examined. The software is validated by SEARAD software and measurement results. By this way for the first time in open literature a simulation program including all sea surface and saltness models is developed and the behavior of the total radiance and its components are examined with respect to the variation of all input parameters. This thesis brings a significant improvement on the studies done for the infrared surveillance systems to distinguish the sea background radiance and target radiance.

Keywords: Infrared, sea, background, radiance

Advisor: Prof.Dr. Feza ARIKAN, Hacettepe University, Department of Electrical and Electronics Engineering

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca rehberliğini, tecrübelerini ve yakın ilgisini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Feza ARIKAN'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Başta Doç. Dr. Cemil Berin EROL olmak üzere tüm TÜBİTAK UEKAE İLTAREN ailesine yaptıkları katkılar, gösterdikleri hassasiyet ve sabır için teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren ve her zaman yanımda olan aileme, tez çalışmam boyunca gösterdikleri anlayış ve destek için çok teşekkür ederim.

Gösterdikleri samimiyet ile tez sürecini benim için kolaylaştıran arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
SÖZLÜK	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KIZILÖTESİ IŞIMANIN TEMELLERİ	7
2.1. Elektromanyetik Spektrumda Kızılötesi Bant	7
2.2. Radyometrinin İlkeleri	8
2.3. Siyah Cisim Işınması ve Planck Kanunu	10
2.4. Wien Kanunu	12
2.5. Stephan – Boltzman Kanunu	13
2.6. Lambert Kanunu	13
2.7. Kirchhoff Kanunu ve Enerjinin Korunumu	13
2.8. Atmosferin Optik Özellikleri	14
2.8.1. Emilim	15
2.8.2. Saçılma	17
2.8.3. Yayınım	19
2.8.4. Türbülans	19
3. DENİZ YÜZEYİ MODELİ	20
3.1. Yüzey Parçası Koordinat Sistemi	21
3.2. Yüzey Parçası Eğimleri	22
3.3. Deniz Yüzeyi İstatistiksel Modelleri	22
3.3.1. Cox ve Munk istatistiksel deniz yüzeyi modeli	23
3.3.2. Mermelstein istatistiksel deniz yüzeyi modeli	24
3.3.3. Shaw - Churnside istatistiksel deniz yüzeyi modeli	24
3.3.4. İstatistiksel deniz yüzeyi modellerinin karşılaştırılması	25
3.4. Etkileşim Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	26
4. DENİZ YÜZEYİNDEN GÖZLEMCIYE GELEN TOPLAM IŞIMA VE BİLEŞENLERİ	28
4.1. Yol Işınması	28
4.2. Yansıyan Gökyüzü Işınması	28
4.3. Yansıyan Kaynak (Güneş-Ay) Işınması	29
4.4. Termal Deniz Işınması	31
4.5. İletim Katsayısı	31
4.6. Toplam Işıma	31
5. DAMA YAZILIMI	33
5.1. Girdi Parametreleri	34
5.1.1. Girdi parametrelerinin dosyadan girilmesi	41
5.1.2. Girdi parametrelerinin arayüzden girilmesi	43
5.2. Kaynak Parametrelerinin Hesaplanması	44
5.3. Gökyüzü Işınması Modülü	44
5.4. Kaynak Işınması Modülü	47
5.5. Deniz Işınması Modülü	48
5.6. Yol Işınması Modülü	50
5.7. Toplam Işıma Modülü	51

5.8. Çıktı Parametreleri	53
5.8.1. Çıktı parametrelerinin dosyadan okunması	53
5.8.2. Çıktı parametrelerinin arayüzden okunması	55
5.9. Arayüzde Kullanıcıyı Yönlendiren Pencereler	56
5.10. Yazılımın SEARAD Yazılımı ile Karşılaştırılması	56
5.11. DAMA Yazılımının SEARAD Yazılımıyla Geçerlenmesi	58
6. DAMA YAZILIMININ ÇIKTILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	61
6.1. Yazılımın Çıktılarının Yorumlanması	61
6.1.1. Dalgaboyu bandının toplam ışıma ve bileşenleri üzerindeki etkileri	61
6.1.2. Bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri	63
6.1.3. Yükseklik ve bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri	69
6.1.4. Yükseklik ve rüzgar yönü değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri	72
6.1.5. Bakış yönelim açısı ve rüzgar hızı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri	75
6.1.6. Bakış eğim açısı ve rüzgar hızı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri	78
6.1.7. Rüzgar yönü ve rüzgar hızı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri	81
6.1.8. Deniz suyu sıcaklığı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri...	84
6.1.9. Bakış eğim açısı ve tuzluluk değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri	86
6.1.10. Bulutluluk modeli ve bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri	92
6.1.11. Yağmur modeli ve bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri	96
6.1.12. Mevsim ile saat ve bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri	98
6.1.13. Saat ve bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri	103
6.1.14. Spektral toplam ışıma ve bileşenleri	106
6.2. Deniz Yüzeyi Modellerinin Çıktılar Üzerindeki Etkileri	108
6.2.1. Rüzgar hızı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri üzerinde deniz yüzeyi modellerinin etkileri	108
6.2.2. Bakış eğim açısı ve rüzgar hızı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri üzerinde deniz yüzeyi modellerinin etkileri	111
6.2.3. Rüzgar hızı ve yönü değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri üzerinde deniz yüzeyi modellerinin etkileri	122
6.3. Güneş Pırlıtsı Yolu Analizleri	132
6.4. DAMA Yazılımının Çıktılarının Ölçümlerle Karşılaştırılması	139
7. SONUÇ	143
EKLER	148
EK 1. EŞİTLİKLERİN ÇIKARIMI	148
EK 1.1 Yansıyan Gökyüzü Işması ve Termal Deniz Işması Eşitlikleri	148
EK 1.2 Yansıyan Kaynak Işması Eşitlikleri	149
EK 2. MODTRAN	150
EK 3. SEARAD	152
KAYNAKLAR	153
ÖZGEÇMİŞ	155

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Elektromanyetik Spektrumda Kızılötesi Bant [14].....	8
Şekil 2.2: Değişik sıcaklıklarda bir siyah cisim yayıcısının spektrumundaki enerji dağılımı	12
Şekil 2.3: Atmosferden geçen güneş ışığının spektrumu [12].....	16
Şekil 2.4 Atmosferik gazların kızılötesi Emilimi [13].	16
Şekil 2.5 Açık havada elektromanyetik ışınımın atmosferden geçişi [14].	17
Şekil 2.6 Atmosferik parçacıkların oluşturduğu saçılma [11].	18
Şekil 3.1: Yüzey parçası kordinat sistemi [17]	21
Şekil 5.1: Yazılımın Akış Şeması.....	33
Şekil 5.2: Yazılımın girdi dosyası örneği.....	42
Şekil 5.3 : Arayüz Girdi Penceresi	43
Şekil 5.4 : Kaynak Parametrelerinin Hesaplanması.....	44
Şekil 5.5 : Gökyüzü Işınması Modülü Akış Şeması	46
Şekil 5.6 : Kaynak Işınması Modülü Akış Şeması	48
Şekil 5.7 : Deniz Işınması Modülü Akış Şeması	50
Şekil 5.8 : Yol Işınması Modülü Akış Şeması	51
Şekil 5.9 : Toplam Işıma Modülü Akış Şeması	52
Şekil 5.10: Çıktı Dosyası Örneği.....	54
Şekil 5.11 : Arayüz Çıktı Penceresi Örneği	55
Şekil 5.12 : Arayüz Hata Penceresi Örneği	56
Şekil 5.13 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 89.5°	59
Şekil 5.14 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 89.5°	59
Şekil 5.15 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 89.5°	60
Şekil 6.1: Güneş Işınması Yayınımı	62
Şekil 6.2: 300°K Sıcaklığında Siyah Cisim Yayınımı	63
Şekil 6.3 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 89.5°	65
Şekil 6.4 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 89.5°	66
Şekil 6.5 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 89.5°	66
Şekil 6.6 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 80° - 89.5°	68
Şekil 6.7 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 80° - 89.5°	68
Şekil 6.8 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 80° - 89.5°	69
Şekil 6.9 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Yükseklik 10 m, 100 m ve 1000 m, Bakış Eğim Açısı 0° - 80°	71
Şekil 6.10 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Yükseklik 10 m, 100 m ve 1000 m, Bakış Eğim Açısı 0° - 80°	71
Şekil 6.11 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Yükseklik 10 m, 100 m ve 1000 m, Bakış Eğim Açısı 0° - 80°	72
Şekil 6.12 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Yükseklik 10 m, 100 m ve 1000 m, Rüzgar Yönü 0° - 360°	74
Şekil 6.13 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Yükseklik 10 m, 100 m ve 1000 m, Rüzgar Yönü 0° - 360°	74
Şekil 6.14 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Yükseklik 10 m, 100 m ve 1000 m, Rüzgar Yönü 0° - 360°	75
Şekil 6.15 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Yönelim Açısı 0° - 360° , Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s.....	76
Şekil 6.16 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Yönelim Açısı 0° - 360° , Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s.....	77

Şekil 6.17 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Yönelim Açısı 0° - 360° , Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s.....	77
Şekil 6.18 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s	79
Şekil 6.19 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s	80
Şekil 6.20 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s.....	80
Şekil 6.21: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Güneş Tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 14 m/s	82
Şekil 6.22: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Güneş Tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 14 m/s	83
Şekil 6.23: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Güneş Tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 14 m/s	83
Şekil 6.24 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Deniz Suyu Sıcaklığı 10°C - 20°C	84
Şekil 6.25 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Deniz Suyu Sıcaklığı 10°C - 20°C	85
Şekil 6.26 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Deniz Suyu Sıcaklığı 10°C - 20°C	85
Şekil 6.27 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Rüzgar Hızı 0 m/s, Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Tuzluluk Modelleri.....	87
Şekil 6.28 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Rüzgar Hızı 0 m/s, Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Tuzluluk Modelleri.....	87
Şekil 6.29: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Rüzgar Hızı 0 m/s, Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Tuzluluk Modelleri.....	88
Şekil 6.30 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Rüzgar Hızı 6 m/s, Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Tuzluluk Modelleri.....	89
Şekil 6.31: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Rüzgar Hızı 6 m/s, Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Tuzluluk Modelleri.....	89
Şekil 6.32 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Rüzgar Hızı 6 m/s, Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Tuzluluk Modelleri.....	90
Şekil 6.33 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Rüzgar Hızı 12 m/s, Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Tuzluluk Modelleri.....	91
Şekil 6.34 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Rüzgar Hızı 12 m/s, Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Tuzluluk Modelleri.....	91
Şekil 6.35 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Rüzgar Hızı 12 m/s, Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Tuzluluk Modelleri.....	92
Şekil 6.36 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Bulut Modelleri.....	94
Şekil 6.37 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Bulut Modelleri.....	95
Şekil 6.38 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Bulut Modelleri.....	95
Şekil 6.39: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Yağmur Modelleri.....	97
Şekil 6.40: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Yağmur Modelleri.....	97
Şekil 6.41: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Yağmur Modelleri	98

Şekil 6.42 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Açık Hava, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Mevsim ile Saat.....	100
Şekil 6.43 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Açık Hava, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Mevsim ile Saat.....	101
Şekil 6.44 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Açık Hava, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Mevsim ile Saat.....	101
Şekil 6.45 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Yağışlı Hava, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Mevsim ile Saat.....	102
Şekil 6.46 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Yağışlı Hava, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Mevsim ile Saat.....	102
Şekil 6.47 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Yağışlı Hava, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Mevsim ile Saat.....	103
Şekil 6.48: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Saat.....	104
Şekil 6.49: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Saat.....	105
Şekil 6.50: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Saat.....	105
Şekil 6.51: Spektral Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm	106
Şekil 6.52: Spektral Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm	107
Şekil 6.53: Spektral Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm	107
Şekil 6.54 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Rüzgar Hızı 2 m/s-20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	109
Şekil 6.55 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Rüzgar Hızı 2 m/s-20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	110
Şekil 6.56 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm Rüzgar Hızı 2 m/s-20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	110
Şekil 6.57 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 1 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	112
Şekil 6.58 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 4 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	113
Şekil 6.59 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 7.5 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	113
Şekil 6.60 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 10 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	114
Şekil 6.61 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 15 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	114
Şekil 6.62 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	115
Şekil 6.63 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 1 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	116
Şekil 6.64 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 4 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	116
Şekil 6.65 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 7.5 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	117
Şekil 6.66 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 10 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	117
Şekil 6.67 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 15 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	118
Şekil 6.68 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	118
Şekil 6.69 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 1 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	119

Şekil 6.70 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Rüzgar Hızı 4 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri	120
Şekil 6.71 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Rüzgar Hızı 7.5 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri	120
Şekil 6.72 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Rüzgar Hızı 10 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri	121
Şekil 6.73 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Rüzgar Hızı 15 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri	121
Şekil 6.74: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Rüzgar Hızı 20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri.....	122
Şekil 6.75 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 1 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	124
Şekil 6.76 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 1 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	125
Şekil 6.77 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 1 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	125
Şekil 6.78 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 5 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	126
Şekil 6.79 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 5 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	127
Şekil 6.80 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 5 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	127
Şekil 6.81 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 10 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	128
Şekil 6.82 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 10 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	129
Şekil 6.83 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 10 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	129
Şekil 6.84: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 14 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	130
Şekil 6.85: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 14 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	131
Şekil 6.86: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 14 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.....	131
Şekil 6.87: Güneş Işıması, Cox ve Munk Temiz, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°	132
Şekil 6.88: Güneş Işıması, Cox ve Munk Yağlı, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°	133
Şekil 6.89: Güneş Işıması, Mermelstein, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°	133
Şekil 6.90: Güneş Işıması, Shaw ve Churnside, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°	134
Şekil 6.91: Güneş Işıması, Rüzgar Hızı 1 m/s, (a) Cox ve Munk Temiz (b) Cox ve Munk Yağlı (c) Mermelstein (d) Shaw – Churnside	135
Şekil 6.92: Güneş Işıması, Rüzgar Hızı 2 m/s, (a) Cox ve Munk Temiz (b) Cox ve Munk Yağlı (c) Mermelstein (d) Shaw – Churnside	135
Şekil 6.93: Güneş Işıması, Rüzgar Hızı 3 m/s, (a) Cox ve Munk Temiz (b) Cox ve Munk Yağlı (c) Mermelstein (d) Shaw – Churnside	136
Şekil 6.94: Güneş Işıması, Rüzgar Hızı 4 m/s, (a) Cox ve Munk Temiz (b) Cox ve Munk Yağlı (c) Mermelstein (d) Shaw – Churnside	136

Şekil 6.95 : Güneş Işınması, Rüzgar Hızı 1 m/s, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°	137
Şekil 6.96: Güneş Işınması, Rüzgar Hızı 2 m/s, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°	138
Şekil 6.97 : Güneş Işınması, Rüzgar Hızı 3 m/s, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°	138
Şekil 6.98 : Güneş Işınması, Rüzgar Hızı 4 m/s, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°	139
Şekil 6.99 : Ölçüm Sonuçları ile Yazılım Çıktılarının Karşılaştırılması (a) 3.4-5.3 µm Bandında (b) 8.0-8.75 µm Bandında	140
Şekil 6.100 : Schwenger ve Repasi'nin Benzetim Çıktılarının Ölçümlerle Karşılaştırılması (8.0 – 8.75 µm) [10]	141
Şekil 6.101: DAMA yazılımı, Toplam Işıma – Yansıyan Gökyüzü Işınması.....	142

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: Kızılötesi bandın alt bölümleri.....	7
Çizelge 2.2: Temel Terimler ve Birimleri.....	10
Çizelge 3.1: İstatistiksel Deniz Yüzeyi Modellerinin Karşılaştırılması	26
Çizelge 5.1 : Gözlemci Parametreleri	35
Çizelge 5.2: Ortam Parametreleri	37
Çizelge 5.3 : Zaman Parametreleri.....	38
Çizelge 5.4 : Dalgaboyu Bandı Parametreleri.....	38
Çizelge 5.5 : Model Parametreleri	39
Çizelge 5.6: Deniz Suyu Tuzluluk Modellerinin Özellikleri [6]	40
Çizelge 5.7: Çıktı Dosyası Parametreleri.....	41
Çizelge 5.8: SEARAD ile Tez Kapsamında DAMA Yazılımının Karşılaştırması ...	57
Çizelge 6.1 : Senaryo Koşulları	99

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

DAMA : Deniz Arka planı Modelleme ve Analizi

SEARAD : SEA RADiance, Deniz ışımlarını hesaplayan bir yazılım

MODTRAN : MODerate resolution TRANsmission, Kızılötesi bantta atmosfer ışımları hesaplayan bir yazılım

ζ_x : Rüzgar yönündeki yüzey parçasının eğimi

ζ_y : Rüzgara dik yöndeki yüzey parçasının eğimi

q : Etkileşim olasılık yoğunluk fonksiyonu

N_{ys} : Dalgaboyuna karşılık yol ışıması

N_{gs} : Dalgaboyuna karşılık deniz yüzeyindeki yansıyan gökyüzü ışıması

N_{ks} : Dalgaboyuna karşılık, deniz yüzeyindeki yansıyan kaynak ışıması

N_{ds} : Dalgaboyuna karşılık, deniz yüzeyindeki termal deniz ışıması

τ_s : Dalgaboyuna karşılık atmosferik iletim katsayısı

N_{dd} : Deniz yüzeyindeki termal deniz ışıması

N_{dg} : Deniz yüzeyinden yansıyan gökyüzü ışıması

N_{dk} : Deniz yüzeyinden yansıyan kaynak ışıması

N_{dt} : Deniz yüzeyindeki toplam ışıma

N_d : Gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması

N_g : Gözlemciye ulaşan yansıyan gökyüzü ışıması

N_k : Gözlemciye ulaşan yansıyan kaynak ışıması

N_y : Yol ışıması

τ : Ortalama atmosferik iletim katsayısı

N_t : Gözlemciye ulaşan toplam ışıma

SÖZLÜK

Algılayıcı : Sensor

Başucu açısı : Zenith Angle

Benzetim : Simulation

Emilim : Absorption

Işıma : Radiance

Kızılötesi : Infrared

Kutuplanma : Polarization

Saçılma : Scattering

Türlölans : Turbulence

Yanca Açısı : Azimuth Angle

Yayınım : Emittance

1. GİRİŞ

Kızılötesi pasif izleme sistemlerinde gözlemciye gelen ışıma hedeften ve arka plandan gelen ışımların toplamıdır. Bu sistemlerinin başarımı, hedefin yaptığı ışımanın arka plan ışımasından ayırt edilebilmesiyle orantılıdır. Arka plan ortamının deniz olduğu durumlarda ise deniz yüzeyinden yansıyan ışımların belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır. Bu tezde, kızılötesi bantta deniz yüzeyini gören bir gözlemci tarafından algılanan toplam deniz ışıması ve bileşenlerini hesaplayan bir benzetim programı olarak DAMA yazılımı geliştirilmiştir.

Toplam ışımayı oluşturan bileşenler termal deniz ışıması, yansıyan kaynak (güneş veya ay) ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması ve yol ışımasıdır [17]. Termal deniz ışıması denizin kendi ısısından kaynaklanan ve her yönde yayılan ışımasının gözlemciye ulaşan kısmıdır. Yansıyan kaynak (güneş, ay) ışıması belli açılarla deniz yüzeyine gelen kaynak ışımasının gözlemci yönünde yansıyan kısmıdır. Atmosferdeki parçacıklarının kendi ısılarından kaynaklanan ışımlar ile güneş ışınlarının bu parçacıklardan saçılmasıyla oluşan ışımlar gökyüzü ışımasını oluşturmaktadır. Yansıyan gökyüzü ışıması, her yönden deniz yüzeyine gelen gökyüzü ışımlarının gözlemci yönünde yansıyan kısmıdır. Yol ışıması ise gözlemcinin deniz üzerinde gördüğü alan ile algılayıcı arasındaki gökyüzü ışımasıdır. Atmosfer parçacıkları kızılötesi sinyali üzerinde sönümleme etkisi yaratırlar. Atmosferin geçirgenliği ise iletim katsayısı ile ifade edilmektedir. Atmosferik iletim katsayısı yansıyan kaynak ve gökyüzü ışımaları ile termal deniz ışımasına bir çarpan olarak etki etmektedir.

Deniz yüzeyine gelen ve denizin kendisinden kaynaklanan ışımların ne oranda gözlemci yönünde yansıtılacağına hesaplanmasında rüzgar hızı ve yönüne bağlı deniz yüzeyindeki dalgacıkların eğimleri büyük önem taşımaktadır. Literatürde kızılötesi bantta deniz yüzeyindeki dalgacıkların eğimlerinin rüzgar hızı ve yönüne bağlı olarak dağılımlarını modelleyen üç çalışma bulunmaktadır. Bunlar Cox ve Munk [2], Mermelstein [3] ve Shaw-Churnside [4] modelleridir. Bu modeller deniz yüzeyinin küçük düzlem parçacıklardan oluşması ilkesine dayanmaktadır. Bu düzlem parçacıkların birbirine dik, iki yöndeki eğimleri Gauss dağılımıyla modellenmektedir. Eğimlerin varyanslarının rüzgar hızı ve yönüne bağlı ifadeleri ise modeller tarafından farklı ifade edilmektedir. DAMA benzetim programı açık

literatürde bir ilk olarak bu modellerin tümünü içermektedir. Gözlemci yönünde yansıyan ışınım miktarının hesaplanmasında etkili olan bir diğer parametre de denizin verilen dalgaboyu bandındaki yansıma katsayısıdır. Kızılötesi bandın frekans aralığı için literatürde altı değişik tuzluluk oranına sahip ortamda yapılmış ölçümler bulunmaktadır [5], [6]. DAMA programı altı değişik tuzluluk ortamı ölçüm değerlerini içermektedir. Kullanıcı deniz yüzeyi istatistiksel modelleri ile tuzluluk modellerini istediği gibi seçerek programı çalıştırabilmektedir. Bu tez kapsamında bu modellerin karşılaştırmaları ve toplam ışınım ve bileşenleri üzerindeki etkileri verilmektedir. Tüm tuzluluk modellerinin bir yazılım kapsamında içerilmesi ve bu modellerin çıktılar üzerindeki etkilerinin incelenmesi de açık literatürde ilk defa bu tez kapsamında gerçekleştirilmiştir.

DAMA benzetim yazılımının girdileri, gözlemci, zaman, ortam parametreleri, dalgaboyu bandı, model seçim ve çıktı dosyası parametreleri olmak üzere altı gruptan oluşmaktadır. Gözlemci parametreleri gözlemcinin enlemi, boylamı, irtifası, bakış eğim açısı ve bakış yönelim açısı ile verilmektedir. Enlem girdisi -90° ile 90° arasında bir değer alabilmektedir. Negatif değerler güney yarım küreyi, pozitif değerler kuzey yarım küreyi ifade etmektedir. Boylam değeri 0° ile 360° arasında, 0° 'yi Greenwich'den geçen meridyen olarak kabul eden ve doğuya doğru artan sistemde kabul edilmektedir. Gözlemcinin irtifası en fazla 100 km olabilmektedir. Gözlemcinin bakış eğim açısı 0° ile 180° arasında tanımlanmıştır. 0° gözlemcinin tam aşağıya, 180° ise gözlemcinin tam yukarıya baktığını ifade etmektedir. Gözlemcinin bakış yönelim açısı ise yerel kuzeyden doğuya doğru tanımlanmakta ve 0° ile 360° arasında girilebilmektedir. Zaman parametreleri gün, ay, yıl, saat, dakika ve Greenwich'e göre saat farkı ile verilmektedir. Yazılımda kullanılan güneş konumu algoritması -2000 ile 6000 yılları arasında geçerlidir [7]. Yazılımda saat ve dakika yerel saate göre tanımlanmaktadır. Algılayıcının dalgaboyu bandının alt ve üst limitleri ile dalgaboyu çözünürlüğü dalgaboyu bandı parametreleridir. Yazılımda yansıma katsayılarının hesaplanmasında kullanılan ölçümler $0,2 \mu\text{m}$ ile $200 \mu\text{m}$ arasında verilmektedir. Kullanıcı tarafından seçilecek dalgaboyu bandı bu aralıkta olmalıdır. Dalgaboyu çözünürlüğü en küçük $0,002 \mu\text{m}$ olarak girilebilmektedir ve dalgaboyu bandı aralığından büyük olmamalıdır. Dalgaboyu çözünürlüğü için MODTRAN yazılımına bağlı olarak elde edilen bu sınır şartı çıktılarının hassas bir şekilde hesaplanabilmesi için yeterli olmaktadır.

Ortam parametreleri, deniz suyu sıcaklığı, rüzgar hızı, 24 saatlik ortalama rüzgar hızı, rüzgar yönü, bulut – yağmur modeli, görüş uzaklığı ve yağmur oranı parametrelerinden oluşmaktadır. Deniz suyu sıcaklığı pozitif ve 40 °C'den küçük değerler alabilmektedir. Rüzgar hızı, 0 m/s veya pozitif ve 20 m/s'den küçük girilebilmektedir. Rüzgar yönü yerel kuzeyden doğuya doğru ölçülen açı olarak tanımlanmaktadır ve 0° ile 360° arasında değerler alabilmektedir. Yazılımda bulunan bulut-yağmur modelleri 'bulut ya da yağmur yok', 'küme bulutları', 'altostratus bulutlar', 'stratus bulutlar', 'stratus/strato-küme bulutları', 'nimbostratus bulutlar', '2 mm/sa çiseleme/ stratus bulutlar', '5 mm/sa hafif yağmur/nimbostratus', '12.5 mm/sa ortalama yağmur/nimbostratus', '25 mm/sa ağır yağmur/küme bulutları' ve '75 mm/sa aşırı yağmur/küme bulutları' olmak üzere on tanedir [9]. Yazılımda model seçimi girdileri deniz yüzeyi istatistiksel modeli ile tuzluluk modeli seçimidir. Yazılımda bulunan deniz yüzeyi istatistiksel modelleri 'Cox ve Munk temiz yüzey modeli', 'Cox ve Munk yağlı yüzey modeli', 'Mermelstein modeli' ve 'Shaw – Churnside modeli' kullanıcının seçimine sunulmaktadır. Tuzluluk modelleri ise 'Hint Okyanusu', 'Florida Fosfat Kaynağı', 'Ölü Deniz', 'Büyük Tuz Gölü', 'Büyük Okyanus' ve 'San Francisco Koyu' olarak verilmektedir. Yazılımda girdi olarak kullanılması gereken güneş ve ayın konumları ile ilgili parametreler otomatik olarak hesaplanmakta ve atanmaktadır [6]. Çıktı dosyası parametreleri kullanıcı tarafından belirlenen çıktı dosyası adı ve dosyanın başına yazılması istenilen açıklamaların girildiği çıktı dosyası tanımı parametreleridir.

Çıktılar deniz yüzeyindeki ışıma bileşenleri, gözlemciye ulaşan ışıma bileşenleri ve gözlemciye ulaşan toplam ışıma olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Deniz yüzeyindeki ışıma bileşenleri, deniz yüzeyindeki termal deniz ışıması, deniz yüzeyinden yansıyan gökyüzü ışıması, deniz yüzeyinden yansıyan kaynak ışıması ve deniz yüzeyindeki toplam ışımadan oluşmaktadır. Gözlemciye ulaşan ışıma bileşenleri gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması, gözlemciye ulaşan yansıyan gökyüzü ışıması, gözlemciye ulaşan kaynak ışıması, yol ışıması ve ortalama atmosferik iletim katsayısıdır. Gözlemciye ulaşan toplam ışıma ise programın son çıktısıdır. Işıma değerleri $W/m^2/sr$ birimiyle verilmektedir.

DAMA benzetim programında kullanıcıya kolaylıklar sunan, bilgilendiren ve yönlendiren bir kullanıcı grafik arayüzü bulunmaktadır. Girdiler grafik kullanıcı

arayüzünden ya da dosyadan girilebilmektedir. Çıktılar da grafik kullanıcı arayüzünden ya da dosyadan okunabilmektedir.

DAMA benzetim programı modüller halinde geliştirilmiştir. İstenilen modüle değişiklik yapmak mümkün olduğundan yazılım geliştirilmeye açıktır. Kızılötesi bantta atmosfer ışımaları hesaplayan MODTRAN yazılımı DAMA yazılımında dışarıdan çağırılarak kullanılmaktadır [9]. MODTRAN yazılımının herhangi bir versiyonu ya da alternatif yazılımlar programa kolaylıkla uyarlanabilmektedir. Yazılım literatürde kızılötesi bantta bulunan tüm deniz yüzeyi istatistiksel modellerini ve tuzluluk modellerini içermektedir. Bu modeller literatürde ilk defa geliştirilen bir benzetim programı tarafından içeriilmektedir.

Bu tez kapsamında, DAMA yazılımının bütün girdi parametrelerinin değişimine karşılık çıktıların davranışlarının analizleri yapılmıştır. Yazılım yaklaşık 10.000 farklı senaryo durumu için koşturularak 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm temel kızılötesi bantlarında toplam ışıma ve bileşenlerinin benzetim çıktıları yorumlanmıştır. Böylece hem çıktıların genel beklentileri karşıladığı görülmekte hem de girdi parametrelerinin değişimlerinin toplam ışıma ve bileşenleri üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.

DAMA benzetim programının çıktılarının değerlendirilmesi sonucunda güneş ışımlarının en baskın olduğu bandın 1-3 μm dalgaboyu bandı olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu bantta yansıyan güneş ışıması bileşeni ile yol ve gökyüzü ışımasında güneş ışınlarının atmosfer parçacıklarından saçılması bileşenleri etkindir. Yansıyan güneş ışıması bileşeni üzerinde etkili olan girdi parametrelerinin değişimleri bu bantta toplam ışıma üzerinde de büyük etki yaratmaktadır. Buna karşılık bu bantta denizin ve atmosfer parçacıklarının kendi sıcaklıklarından kaynaklanarak saçılan ışımlar etkisiz boyutlardadır. 8-12 μm bandında ise denizin ve atmosfer parçacıklarının kendi sıcaklıklarından kaynaklanarak yayılan ışımlar güneş kaynaklı ışımalara göre daha etkili olmaktadır. Deniz ve atmosfer parçacıklarının sıcaklıkları üzerinde etkili olan girdi parametrelerinin değişimi toplam ışıma üzerinde daha fazla değişim yaratmaktadır. 3-5 μm bandında ise hem güneş hem de sıcaklık kaynaklı ışımlar toplam ışıma üzerinde etkilidir. Toplam ışımayı oluşturan bileşenler her üç bantta da benzer değişim özellikleri göstermektedir.

Gözlemci yüksekliğinin artmasıyla her üç dalgaboyu bandında toplam ışımayı oluşturan bileşenlerden gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması ve yansıyan güneş ışıması azalmaktadır. Bakış eğim açısının artması ile gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması ve atmosferik iletim katsayısı azalmakta, yol ışıması ve yansıyan atmosfer ışıması artmaktadır. Yansıyan güneş ışımasındaki değişim güneşin geliş başucu açısına bağlıdır. Gözlemci bakış eğim açısının güneşin başucu açısına yakın olduğu yerlerde yansıyan güneş ışıması fazla diğer açılarda daha az olmaktadır. Rüzgar hızının artmasıyla gözlemcinin bakış yönünde yansıyan güneş ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması ve yol ışıması artmaktadır. Gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması ve atmosferik iletim katsayısı ise rüzgar hızının artmasıyla azalmaktadır. Deniz suyu sıcaklığının artmasıyla termal deniz ışıması artmakta, diğer bileşenler değişim göstermemektedir. Tuzluluk modeli değişiminin çıktılar üzerinde kayda değer bir etki yaratmadığı gözlenmektedir. Deniz yüzeyi modellerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda model seçimi değişiminin daha çok yansıyan güneş ışıması bileşeni üzerinde etki yarattığı görülmektedir. Rüzgar hızı değişimine en çok tepki veren model Mermelstein deniz yüzeyi istatistiksel modelidir. Shaw-Churnside deniz yüzeyi istatistiksel modeli gözlemci bakış doğrultusuna paralel ve dik olduğu durumlar için aynı bağıntıyı verdiği için rüzgar yönü değişimiyle çıktılar üzerinde bir etki yaratmamaktadır. Bakış eğim açısının artmasıyla Cox ve Munk temiz deniz yüzeyi modeli ile Mermelstein ve Shaw-Churnside modellerinin kullanıldığı senaryolar birbirine yakın çıktılar vermektedir. Yüksek rüzgar hızı durumunda ise Mermelstein modeli ile Shaw-Churnside modelinin kullanıldığı senaryoların çıktıları birbirlerine oldukça yakındır. Deniz yüzeyi modelleri geçerli oldukları rüzgar hızı sınırlarının dışında da birbirleri ile uyumlu sonuçlar vermektedir. Böylece modeller geçerli oldukları sınırların dışında da kullanılabilir. Bu tez kapsamında bulut ve yağmur modeli değişimleri ile mevsim ve saat değişimlerinin de toplam ışıma ve bileşenleri üzerinde etkili oldukları görülmektedir.

Güneşin doğmasının hemen sonrasında ve batmasına yakın zamanlarda deniz kenarında ufka doğru bakıldığında gözlenen güneş pırlıtsı yolu da bu yazılımla modellenabilmektedir. Güneşin deniz yüzeyindeki pırlıtsısının şiddeti ve pırlıty yolunun genişliği hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada değişik bakış eğim açıları ve

rüzgar hızlarına karşılık tüm deniz yüzeyi modelleri ile güneş pırıltısı yolu çıktıları da incelenmektedir.

Geliştirilen program, Schwenger ve Repasi'nin çalışmalarında [10] verilen ölçüm sonuçları ile uyumlu çıktılar vermektedir ve çıktılar ölçüm sonuçları ile Schwenger ve Repasi'nin çalışmalarında verilen benzetim yazılımı çıktılarına göre daha gerçekçi bir şekilde örtüşmektedir. DAMA benzetim programının çıktıları literatürde bulunan, kızılötesi bantta deniz ışımlarını hesaplayan ve kısıtlı özelliklere sahip olan SEARAD yazılımı [17] ile karşılaştırılmaktadır. Her iki yazılım ortak girdi parametreleri ile çalıştırıldığında geliştirilen yazılımın çıktıları SEARAD'ın çıktıları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Geliştirilen bu benzetim yazılımı ile zahmetli, pahalı, zaman alan ve hata payı yüksek ölçüm çalışmalarına bir alternatif sunulmaktadır. Bu tez ile tüm girdi parametrelerinin kızılötesi bantta deniz ortamındaki arka plan ışımlarının toplamı ve bileşenleri üzerindeki etkilerinin analizleri sunulmaktadır. Böylece kızılötesi bantta deniz ortamı arka plan ışımlarının güvenilir bir şekilde modellenmesi ile kızılötesi pasif izleme sistemlerinin hedef ışıması ile deniz arka planı ışımasını ayırt etmesi amaçlı çalışmalara katkıda bulunmaktadır.

Tezin ikinci bölümünde, kızılötesi ışımanın temelleri anlatılmaktadır. Bu bölümde, kızılötesi bandın elektromanyetik spektrumdaki yeri, radyometrinin ilkeleri, siyah cisim ışıması ve Planck kanunu, Wien kanunu, Stephan-Boltzman kanunu, Lambert kanunu ile Kirchhoff kanunu ve enerjinin korunumu konularına değinilmektedir. Ayrıca atmosferin optik özellikleri hakkında detaylar verilmektedir. Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan deniz yüzeyi modeli yaklaşımları açıklanmaktadır. Bu bölümde yüzey parçacığı koordinat sistemi, yüzey parçası eğimleri, deniz yüzeyi istatistiksel modelleri ve etkileşim olasılık yoğunluk fonksiyonu konuları anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde, deniz yüzeyinden gözlemciye gelen toplam ışıma ve bileşenleri hakkında detaylar verilmektedir. Beşinci bölümde, yazılım ile ilgili detaylar sunulmaktadır. Yazılımın akış diyagramı, girdi ve çıktı parametreleri ile arayüz ile ilgili açıklamalar bu bölümde verilmektedir. Altıncı bölümde, yazılımın çıktıları üzerinden değerlendirilmeler yapılmaktadır. Yedinci bölümde çalışmanın sonuçları aktarılmaktadır.

2. KIZILÖTESİ IŞIMANIN TEMELLERİ

Bu tezde deniz arka planı ile deniz üzerindeki hedefin ayırt edilmesi problemine kızılötesi bandın özelliklerinden faydalanarak çözüm getirmektedir. Bu nedenle ilk olarak elektromanyetik spektrumun kızılötesi bandı için geçerli olan temel bilgiler anlatılmaktadır.

Bu bölümde kızılötesi bantın elektromanyetik spektrumdaki yeri, radyometrinin ilkeleri, siyah cisim ışıması ve kızılötesi bantta geçerli olan temel kanunlar açıklanmaktadır.

2.1. Elektromanyetik Spektrumda Kızılötesi Bant

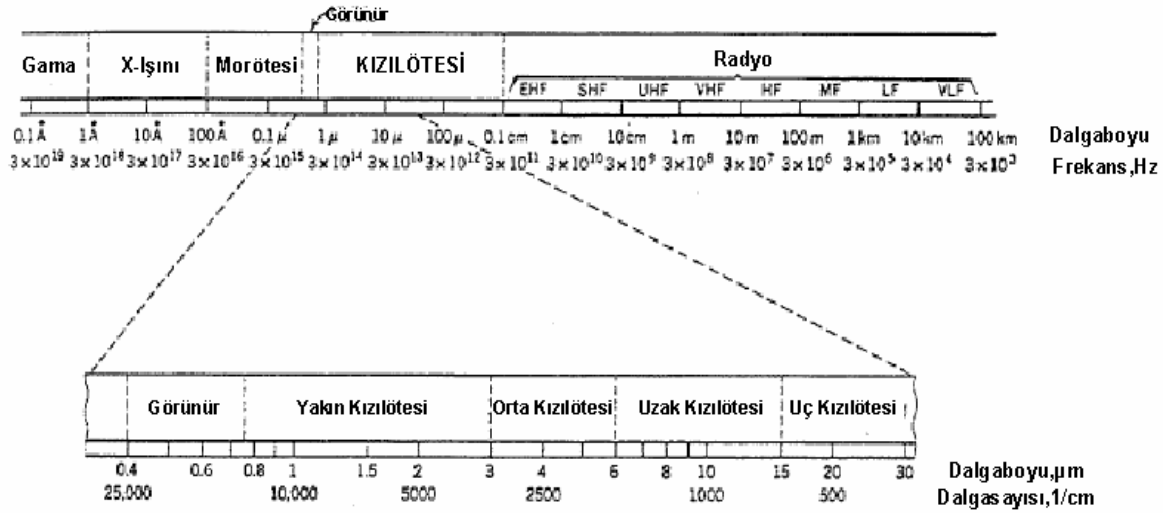
Kızılötesi ışımanın temel kaynağı ısıdır. Sıcaklığı mutlak sıcaklığın ($0^{\circ}\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$) üzerinde olan her cisim kızılötesi ışıma yapmaktadır [11],[14]. Kızılötesi bant görünür bandın kırmızı sınırının altında yaklaşık olarak $0,75\text{ }\mu\text{m} - 1\text{ mm}$ dalgaboyu bandı aralığındadır. Elektromanyetik spektrumda görünür ışık ile mikrodalga arasında yer alır. İlk olarak ünlü astronom Sir William Herschel (1738-1822) 1800'lerin başlarında yazdığı bir dizi makale ile günümüzde spektrumda kızılötesi olarak isimlendirilen bandın varlığından bahsetmiştir.

Kızılötesi bant Çizelge 2.1'de verildiği gibi genellikle yakın, orta, uzak ve uç kızılötesi bant olmak üzere dört alt bölgeye ayrılmaktadır [14].

Çizelge 2.1: Kızılötesi bandın alt bölümleri

Yakın Kızılötesi	$0,75\text{ }\mu\text{m} - 3\text{ }\mu\text{m}$
Orta Kızılötesi	$3\text{ }\mu\text{m} - 6\text{ }\mu\text{m}$
Uzak Kızılötesi	$6\text{ }\mu\text{m} - 15\text{ }\mu\text{m}$
Uç Kızılötesi	$15\text{ }\mu\text{m} - 1\text{ mm}$

Kızılötesi bandın elektromanyetik spektrumdaki yeri Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Elektromanyetik Spektrumda Kızılötesi Bant [14]

Kızılötesi bantta çalışırken frekans ve dalgaboyu terimlerinin yanı sıra ‘dalgasayısı’ terimi de kullanılmaktadır. Dalgasayısı, ν , ile dalgaboyu, λ arasındaki bağıntı Eşitlik (2.1)’de verilmektedir.

$$\nu = 1/\lambda \quad (2.1)$$

Dalgaboyu 10^7 ’de bir doğrulukla ölçülebilmektedir. Frekans ise ışık hızındaki belirsizliklerden dolayı 10^6 ’da bir doğrulukla hesaplanabilmektedir. Dalgaboyunun daha yüksek olan doğruluk payını koruyabilmek için birim mesafedeki dalga sayısını ifade eden dalgasayısı terimi ortaya çıkmaktadır. Dalgaboyu santimetre cinsinden ifade edildiğinde dalgasayısının birimi cm^{-1} olmaktadır.

Kızılötesi ışınım, güdümlü mermi fırlatışlarını gözleyen casus uydularında, ısı izleyen güdümlü mermilerin yönlendirilmesinde, gökyüzünü tarayan kızılötesi teleskoplarında, ekinlerin hastalıklarını belirleyen kızılötesi ürün tespit uydularında ve uzayda araştırma yapan kızılötesi astronomi uydularında kullanılmaktadır.

2.2. Radyometrinin İlkeleri

Elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölgesinde radyometrinin metodları geçerlidir. Radyometri yayılan ışımının fiziksel ölçüm sistemlerine dayanılarak ölçümüdür. Yayılan enerji doğrudan ölçülemediğinden, sezicilerle başka formlara çevrilerek ölçülürler. Radyometrik kavramlar bir algılayıcıdaki akı transferini nicel olarak anlayabilmek için gerekmektedir. Bu kavramlar algılayıcı yüzeyinde ne

kadar enerji toplandığının anlaşılmasını ve sinyal gürültü oranlarının hesaplanmasını sağlamaktadır.

Radyometrik analizlerde iki önemli kabul yapılmaktadır; (1) kaynaklar evre uyumsuzdur, girişim ihmal edilebilir, (2) kırınım yok sayılmaktadır, ışık düz çizgiler halinde ilerlemektedir [11].

İlk olarak açıklanması gereken terim 'katı aç' terimidir, çünkü birçok radyometrik birim katı aç cinsinden ifade edilmektedir. Katı açının birimi steradyan (sr)'dır. Bir steradyan, kürenin bir bölümünün alanının kürenin yarı çapın karesine eşit olduğu durumda elde edilen aç olarak ifade edilir [11]. Steradyan birimindeki katı açının formülü ise,

$$\Omega = \frac{A}{R^2} \quad (2.2)$$

olarak verilmektedir. Formüldeki R kürenin yarıçapını, A ise katı açının gördüğü küresel yüzeyin alanıdır. Tam bir kürenin katı açısı 4π steradyan olarak hesaplanmaktadır.

Enerjinin temel birimi Joule (J)'dür. Birim zamandaki enerji akı veya güç olarak tanımlanır, birimi J/s yani Watt (W) 'tır . Diğer bir deyiş ile akı, ışıma gücüdür. Işıma şiddeti (E), bir kaynaktan birim katı aç içine yapılan ışıma akısıdır, birimi W/sr'dır. Yayınım (M) bir kaynağın yarım küre içine birim alandan yaydığı ışıma akısıdır. Gelen ışıma (I) ise geliş yönüne bakmaksızın birim alana ulaşan ışıma akısıdır. Yayınımın ve gelen ışımanın birimi W/cm² veya W/m²'dir. Işıma (N), birim alandan, birim katı aç içine yapılan ışıma akısıdır, birimi W/cm²/sr veya W/m²/sr'dır. Bununla birlikte, yayınım yapan birim alan yayınım yönü ile normal olacak şekilde izdüşüm olarak alınmalıdır.

Bu tezde kullanılan temel terimler ve birimleri Çizelge 2.2'de özetlenmektedir. Işıma terimlerinden spektral olarak yani dalgaboyuna karşılık bahsedildiğinde terimlerin birimleri μm 'ye bölünmektedir.

Çizelge 2.2: Temel Terimler ve Birimleri

TERİM ADI	BİRİMİ
Alan (A)	cm^2, m^2
Dalgaboyu (λ)	μm
Dalgasayısı (ν)	cm^{-1}
Düzlem Açısı	rad
Katı Açısı (Ω)	sr
Enerji	J
Akı (Güç)	W
Işıma Şiddeti (E)	W/sr
Yayınım (M)	$\text{W}/\text{cm}^2, \text{W}/\text{m}^2$
Gelen Işıma (I)	$\text{W}/\text{cm}^2, \text{W}/\text{m}^2$
Işıma (N)	$\text{W}/\text{cm}^2/\text{sr}, \text{W}/\text{m}^2/\text{sr}$

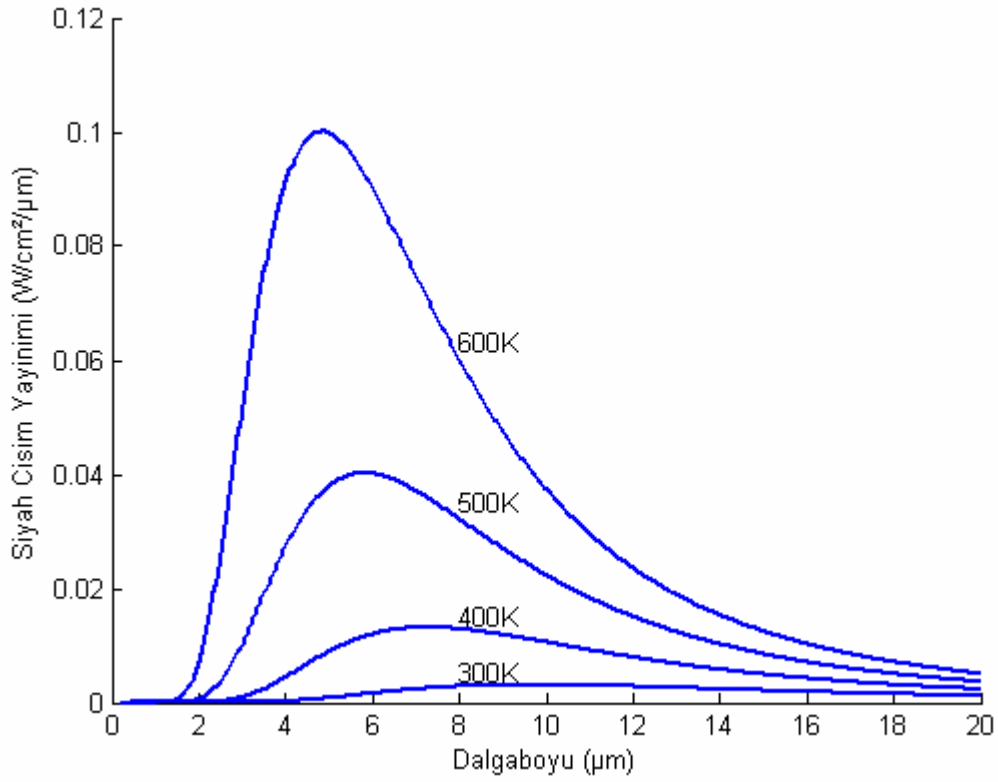
2.3. Siyah Cisim Işıması ve Planck Kanunu

Bir cisim çevresiyle ısısal dengede iken ne kadar çok ışıyım enerjisi soğursa o kadar çok ışımayla enerji yayınlar. Buna göre iyi bir soğurucu, aynı zamanda iyi bir yayınlayıcıdır. Dalga boyuna bakılmaksızın üzerine düşen ışıyım enerjisinin tümünü soğuran mükemmel soğurucu ve üzerindeki enerjinin tümünü yayan mükemmel yayıcı, siyah cisim olarak adlandırılmaktadır [11]. Siyah cisim ideal bir cisimdir ve bir çeperinde küçük bir delik bulunan, çevresinden yalıtılmış bir oyuk şeklinde düşünülebilir. Delikten içeri giren ışıyım enerjisinin içeride yansıma yaparak tekrar dışarı çıkma olasılığı çok küçüktür. Bu nedenle sözü edilen oyuk hemen hemen mükemmel bir soğurucu gibi davranır. Oyuk ısıtılırsa bu kez de bu oyuk, delikten dışarı enerji yayınlayan bir ışık kaynağı gibi çalışır. Yayınlanan

ışınım enerjisinin spektral dağılımının oyuğun T mutlak sıcaklığına bağlı olması beklenir. Sıcaklık artarken delik başlangıçta büyük ölçüde kızılötesi ışın yayar, daha sonra gittikçe parlaklaşan kor kırmızısına, sarıya, beyaza ve son olarak da mavi beyaza kayan ışıma görülür. Siyah cisim ışıması sıcaklığı mutlak sıcaklığın ($0^\circ\text{K} = -273^\circ\text{C}$) üzerinde olan cisimlerin yaptıkları ışımadır. Siyah cisim ışıması için şu iki durum geçerlidir: (1) sıcaklık arttıkça daha fazla akı yayını meydana gelir, (2) sıcaklığın artmasıyla akının spektral dağılımı daha kısa dalgalı boylarına doğru kayar. Bu iki durum cisimlerin yayıcılık karakterlerinden bağımsız olarak geçerli olmaktadır. Bir cismin ışımasının büyüklüğü ve spektral dağılımı temel olarak cismin sıcaklığı ve yayıcılığının fonksiyonudur. Yayıcılığı bire eşit olan ideal cisim mükemmel siyah cisimdir. Bir siyah cismin ışıması Planck siyah cisim denklemiyle tanımlanmaktadır [11] ve bağıntı

$$M(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{\left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} \quad (2.3)$$

olarak verilmektedir. Denklemden $M(\lambda, T)$, cismin spektral yayınıdır ve birimi $\text{W}/\text{cm}^2/\mu\text{m}$ 'dir. T , cismin sıcaklığıdır ve birimi Kelvindir. λ , μm cinsinden dalgalı boyudur. c_1 ve c_2 katsayılarıdır, $c_1 = 2\pi^5 c^2 h / 15$ $= 3.7418 \times 10^4 \text{ W}\mu\text{m}^4/\text{cm}^2$, $c_2 = hc/k = 1.4388 \times 10^4 \mu\text{mK}$ olarak verilmektedir. $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ışığın boşluktaki hızı, $h = 6.6256 \times 10^{-34} \text{ Js}$ Planck sabiti ve $k = 1.38054 \times 10^{-23} \text{ Js/K}$ Boltzman sabitidir. Planck Siyah cisim denklemi değişik sıcaklıklarda siyah cisimden yayılan ışımanın dalgalı boyuna göre değişimini Şekil 2.2'de gösterilen spektral eğriler ile vermektedir.



Şekil 2.2: Değişik sıcaklıklarda bir siyah cisim yayıcısının spektrumundaki enerji dağılımı

Bir spektral banttaki toplam yayılım ise o dalgaboyu aralığında integral alınarak

$$M(T) = \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{\left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} d\lambda \quad (2.4)$$

hesaplanmaktadır ve birimi W/cm² olmaktadır [11].

2.4. Wien Kanunu

Şekil 2.2' de de görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla yayılımın tepe noktaları kısa dalgaboylarına doğru kaymaktadır. Wien kanunu, Planck denkleminin dalgaboyuna göre türevinin sıfıra eşitlenmesiyle elde edilmektedir ve cismin sıcaklığa karşılık en yüksek yayılımın olacağı dalgaboyunu μm cinsinden

$$\lambda_{tepe} = 2897.8 / T \quad (2.5)$$

olarak vermektedir [11].

2.5. Stephan – Boltzman Kanunu

Yayıcılık katsayısı tüm dalgalıyları için sabit olan cisimlere gri cisim denmektedir. Siyah ve gri cisimler için geçerli olan Stephan-Boltzman Kanunu tüm spektrumdaki toplam yayınının hesaplanmasına basit bir yaklaşıml getirmektedir. Planck denkleminin tüm dalgalıyları üzerinden integralinin alınması ile elde edilen Stephan-Boltzman Kanunu

$$M(T) = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2.6)$$

olarak verilmektedir [11]. Yayınımı W/cm² cinsinden hesaplayan formüldeki σ 5.67x10⁻¹² W/cm²/K değerine sahip olan Stephan-Boltzman sabiti olarak tanımlanmaktadır. ε , cismin yayıcılık katsayısıdır.

2.6. Lambert Kanunu

Pürüzlü bir yzeeye sahip olan siyah cisim her yönde ışıma yapar. Her yönde ışıma yapan bu tür pürüzlü yüzeyler Lambert yüzey olarak tanımlanmaktadır. Parlak ve aynalı yüzeyler ise Lambert olmayan yüzeylerdir. Yüzey normali yönündeki ışıma şıddeti E_n iken normale göre θ açısıyla gelen ışıma şıddeti W/sr cinsinden Lambert kanunuyla

$$E_\theta = E_n \cos \theta \quad (2.7)$$

olarak hesaplanmaktadır [11].

2.7. Kirchhoff Kanunu ve Enerjinin Korunumu

Kirchhoff kanununa göre bir gri cisimin termal denge şıartları altında spektral yayıcılık katsayısı spektral emicilik katsayısına eşıttir ve bu durum

$$\varepsilon(\lambda) = \alpha(\lambda) \quad (2.8)$$

şıeklinde ifade edilebilir [11].

Enerjinin korunumu kanununa göre gelen güç, iletilen, yansıyan ve emilen gücün toplamına eşittir. Bunun sonucu olarak ise bir cismin iletim (τ), yansıtıcılık (ρ) ve emilim (α) katsayılarının toplamı bire eşit olmaktadır ve bu durum

$$\tau + \rho + \alpha = 1 \quad (2.9)$$

olarak ifade edilmektedir [11]. Siyah cisim için $\tau = \rho = 0$ ve $\alpha = \varepsilon = 1$ olmaktadır.

İletim katsayısı sıfır olan opak cisimler için $\alpha = \varepsilon = 1 - \rho$ geçerlidir.

2.8. Atmosferin Optik Özellikleri

Yakın zamana kadar atmosferin fiziksel yapısı ile ısı transferine ve iklimlere etkisi incelenmiştir. Son zamanlarda ise atmosferin optik ışınlama etkisi büyük önem kazanmıştır. Bunda lazerin kullanım alanının genişlemesi ve optik uzaktan algılama sistemlerinin gelişmesi önemli rol oynamaktadır.

Bir nesneden yayılan optik ışınım, alıcıya gelmeden önce atmosferden geçer. Bu ışınımı ölçmek için bir sistem tasarlanmak istenildiğinde optik ışınımın ortamdaki nasıl geçtiğinin ve hangi değişikliklere uğradığının bilinmesi gerekmektedir. Atmosferin optik ışınlama etkisi genellikle ışınım şiddetini zayıflatma ve doğrultusunu değiştirme şeklindedir. Bu zayıflatma, atmosferdeki gazlardan ve parçacıklardan, atmosferin çalkantısından ve kırışmasından kaynaklanır. Geçen 30 yıl içinde atmosferin elektromanyetik ışınlama (UV, KÖ ve görünür ışık bölgesi dahil) etkisi üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır.

Elektromanyetik ışınımın atmosferdeki geçişinde dört temel atmosferik olayın etkisi vardır [11]. Bunlar emilim, saçılma, yayılım ve türbülansdır.

1. Emilim: Yayılım yolundaki atmosferik gazlar ışınımın bir kısmını emerler.
2. Saçılma: Atmosferik gazlar ve atmosferdeki parçacıklar ışınımın bir kısmının saçılmasına neden olurlar.
3. Yayılım: Atmosferik gazlar ve atmosferdeki parçacıklar belli bir bantta kendiliklerinden bir miktar ışınım yaparlar.

4. Türbülans: Atmosferin kırılma indisinin zamanla değişmesi ışınlı yolundan bir miktar saptırır.

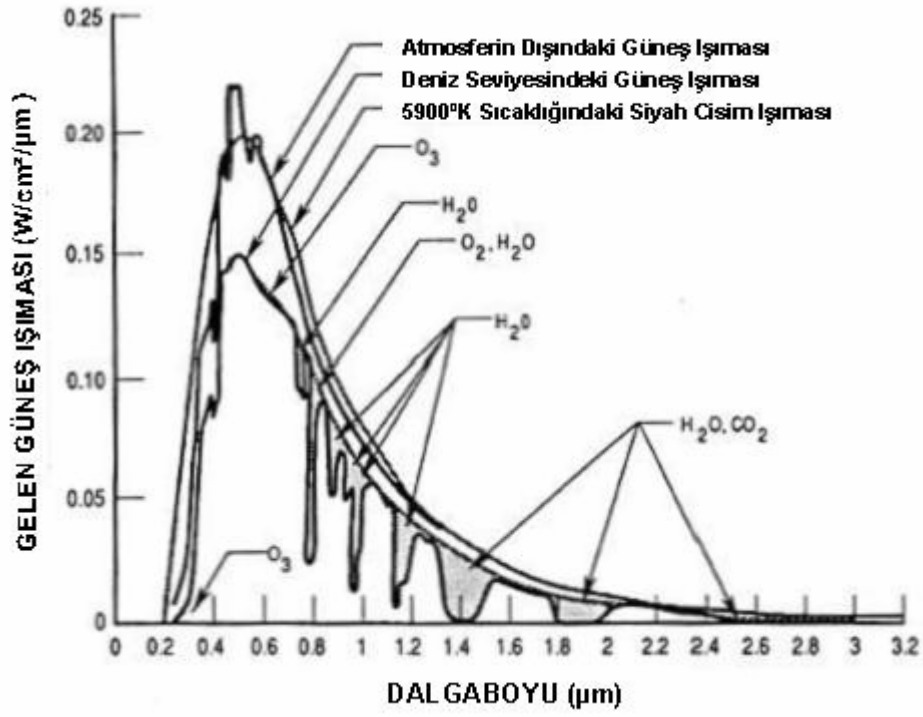
2.8.1. Emilim

Emilim olayı temelde bir kuvantum olayıdır. Foton atmosferdeki bir moleküle çarptığında molekül fotonu emer ve bunun sonucunda molekülün iç enerji seviyesi değişir. Foton moleküle çarptığında molekülden bir elektron koparmaya çalışır. Fakat moleküllerin elektronları atoma çok sıkı bağlı olduklarından, düşük enerjili fotonlar bunu başaramaz. Kısa dalga boylu fotonların (görünür ışık ve morötesi bu enerjiye sahip olabilirler) enerjileri büyük olduğundan molekülden bir elektron koparabilirler. Bununla birlikte bazı moleküller vibrasyonel ve rotasyonel enerji seviyelerine sahip olduklarından bu moleküller bir foton emilim yaptığında foton serbest bir elektron oluşturma yerine bu rotasyonel ve vibrasyonel enerji seviyelerine girerler. Kızılötesi ışığın fotonunun enerjisi molekülden elektron koparmaya yetecek seviyede değildir ve foton molekül içinde dönme hareketi yaparak enerjisini yitirir. Bundan dolayı atmosferik emilim görünür ve bu durum ışık için bir sorun teşkil etmezken kızılötesi ışık için üzerinde durulması gereken bir problemdir.

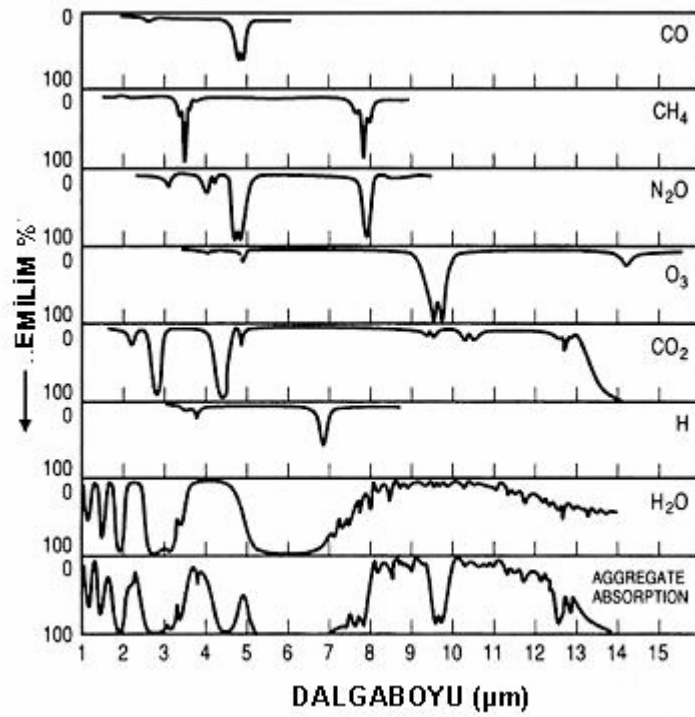
Atmosferde en çok bulunan gazlar hidrojen (N_2) ve oksijen (O_2)'dir. Bu gazlar eş çekirdekli, di-atomik moleküllerdir. Dolayısıyla elektrik dipol momentleri yoktur. Elektrik dipol momenti olmayan moleküller elektromanyetik ışınlı emilimi yapmazlar. Bununla birlikte atmosferde bulunan CO_2 (karbondioksit) ve H_2O (su) kızılötesi ışığın emiliminde rol oynarlar.

Şekil 2.3'te atmosferden geçen güneş ışığının spektrumu görülmektedir [12].

Şekil 2.4'te atmosferde bulunan gazların hangi dalga boylarını emilim yaptığı gösterilmiştir [13]. Her eğri pencere olarak adlandırılan emilimin az olduğu bölgelerden ve emilimin yüksek olduğu ve hemen hemen ışık geçirmeyen bölgelerden oluşur. Her gazın kendine has emilim eğrisi vardır. Şekil 2.4'te en alttaki eğride toplam emilim eğrisi gösterilmiştir.

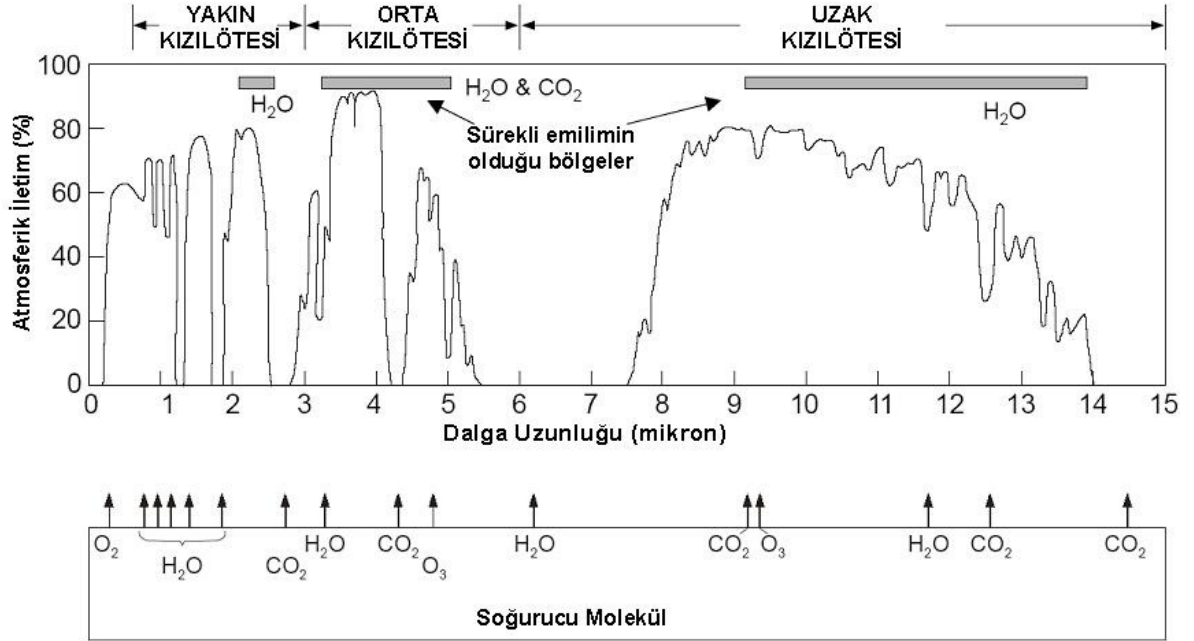


Şekil 2.3: Atmosferden geçen güneş ışığının spektrumu [12].



Şekil 2.4 Atmosferik gazların kızılötesi emilimi [13].

Şekil 2.5'te deniz seviyesinde, 0,3 μm 'den 14 μm 'ye kadar olan bantta açık havada elektromanyetik ışınımın atmosferden geçişine ilişkin deneysel sonuçlar gösterilmektedir [14]. Bu eğri geçişin başarı ile yapıldığı bölgelerden (atmosferik pencere) ve geçişin zayıf olduğu bantlardan (emilim bandı) oluşur.

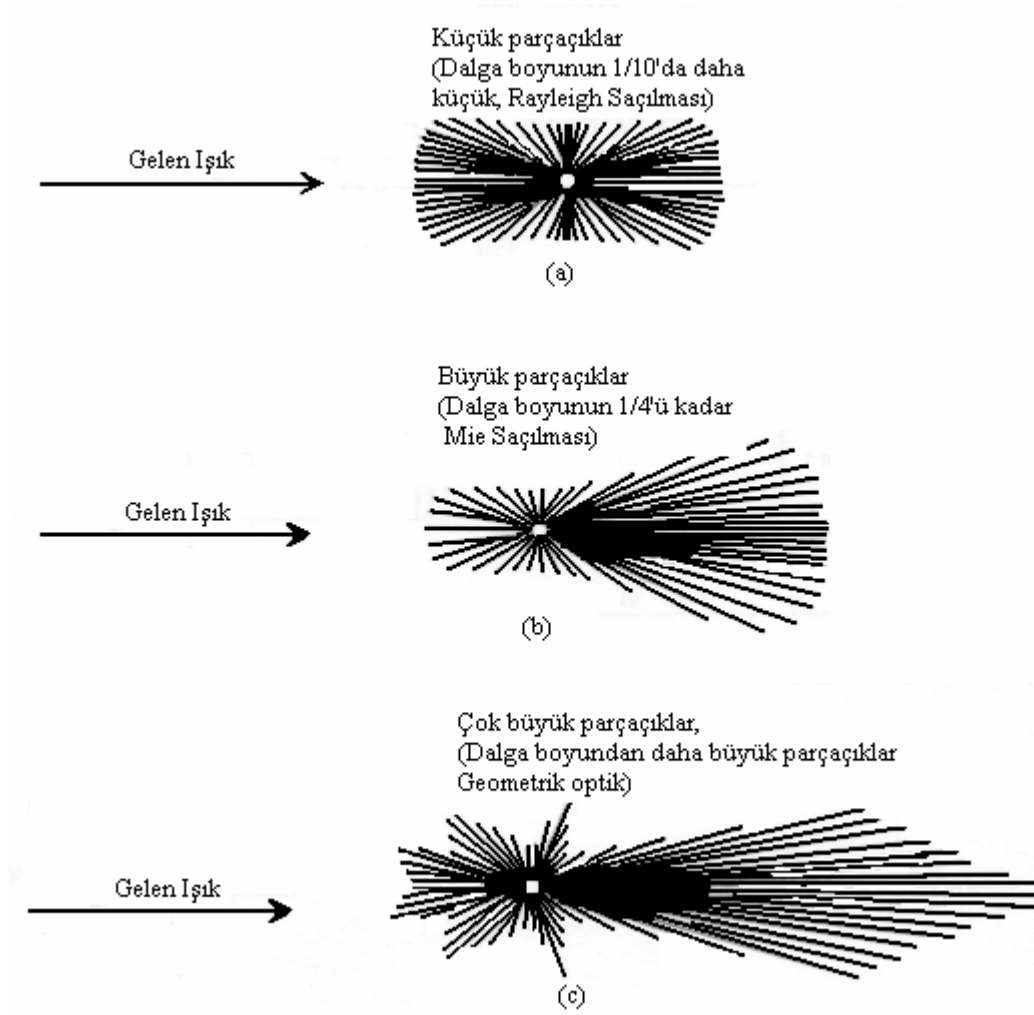


Şekil 2.5 Açık havada elektromanyetik ışınımın atmosferden geçişi [14].

2.8.2. Saçılma

Saçılma olayı, fotonların atmosferdeki parçacıklar ile çarpışmasından kaynaklanır. Bu çarpışma sonucunda fotonun enerjisi her yöne dağılır. Dağılmanın miktarı ve şekli atmosferdeki parçacığın büyüklüğüne, parçacığın yoğunluğuna ve kırılma indisine ve fotonun dalgaboyuna ve kutuplanmasına bağlıdır. Saçılma olayı emilim olayından farklıdır. Emilim olayında, fotonun ışınım enerjisi ortamda harcanırken saçılmada ise fotonun ışınım enerjisi yine ışınım enerjisi olarak kalır. Fakat ışınım enerjisinin yönü değişir.

Genel olarak saçılma modelleri, üç gruba ayrılabilir. Bu kategoriler, ışın dalga boyu ile atmosferik parçacığın boyutları arasındaki ilişkiye bağlıdır. Bu durum Şekil 2.6'da gösterilmektedir [11].



Şekil 2.6 Atmosferik parçacıkların oluşturduğu saçılma [11].

Bu üç kategoriden ilki Rayleigh saçılmasıdır. Eğer atmosferik parçacığın yarıçapı ışığın dalga boyunun $1/10$ 'undan küçükse meydana gelen saçılma Rayleigh saçılmasıdır. Bu durumda meydana gelen saçılma λ^{-4} ile orantılıdır. Şekil 2.6a'da görüldüğü gibi saçılma simetriktir. Gökyüzünün mavi görülmesinin nedeni Rayleigh saçılmasıdır.

İkinci tip saçılma, Mie saçılması veya aerosol saçılmasıdır. Eğer atmosferik parçacığın yarıçapı ışığın dalga boyuna yakın ise Mie saçılması meydana gelir (Şekil 2.6b). Mie teorisi, klasik elektromanyetik denklemlere dayanır ve sınır koşulları kullanılarak çözülür.

Üçüncü tip saçılma ise atmosferik parçacığın yarıçapı ışığın dalga boyundan büyük olduğunda meydana gelir. Bu saçılmada, saçılmanın büyük bir kısmı yayılma doğrultusunda olur. Bu saçılma geometrik optik ile ifade edilebilir. Sis, bu tip bir saçılma meydana getirir. Çünkü sis, μm boyutunda parçacıklardan (toz, tuz ve etrafı su damlacıkları ile sarılmış kalıntılar) meydana gelir. Büyük parçacıklar kızılötesi ışınları daha fazla dağıtırlar.

2.8.3. Yayınım

Atmosferik gazlar, mutlak sıfırın üstünde bir sıcaklığa sahip olduklarından doğal olarak bir termal ışınım yayarlar [11]. Kızılötesi görüntüleme sistemleri, hedefin ve arka plandaki cisimlerin yaydığı termal ışınım arasındaki farkı algırlar. Bu tip sistemler için yolda meydana gelen yayınım önemli olmayacaktır. Çünkü hem hedef için hem de arka plan için aynı yol söz konusudur ve bunların farkı alındığından etkisi olmamaktadır. Bununla birlikte, hedef ve arka plan için aynı yol söz konusu olmadığında yolda oluşacak yayınım sistemde etkili olacaktır. Bu durumda yayınım, atmosferik bir etki olarak ele alınmalıdır.

2.8.4. Türbülans

Atmosferik türbülans düzensiz hava hareketidir. Öyle ki, herhangi bir anda hava moleküllerinin hızı ve doğrultusu rasgele bir değerdedir. Atmosferik türbülans, gece, yıldızların ışıklarının kırışmasına, sıcak günlerde uzak mesafelerdeki nesnelerin titreşmesine neden olur. Bundan dolayı, atmosferik türbülans, görüntüleme sistemlerinin performansını ve lazer ışığının yayılmasını etkiler [11].

Bu bölümde kızılötesi bant ve atmosferin kızılötesi banttaki özellikleri hakkında bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölümde ise deniz yüzeyinden yansıyan ışımaların hesaplanmasında kullanılan deniz yüzeyi modeli yaklaşımı, yüzey parçası kavramı ve deniz yüzeyi istatistiksel modelleri anlatılmaktadır.

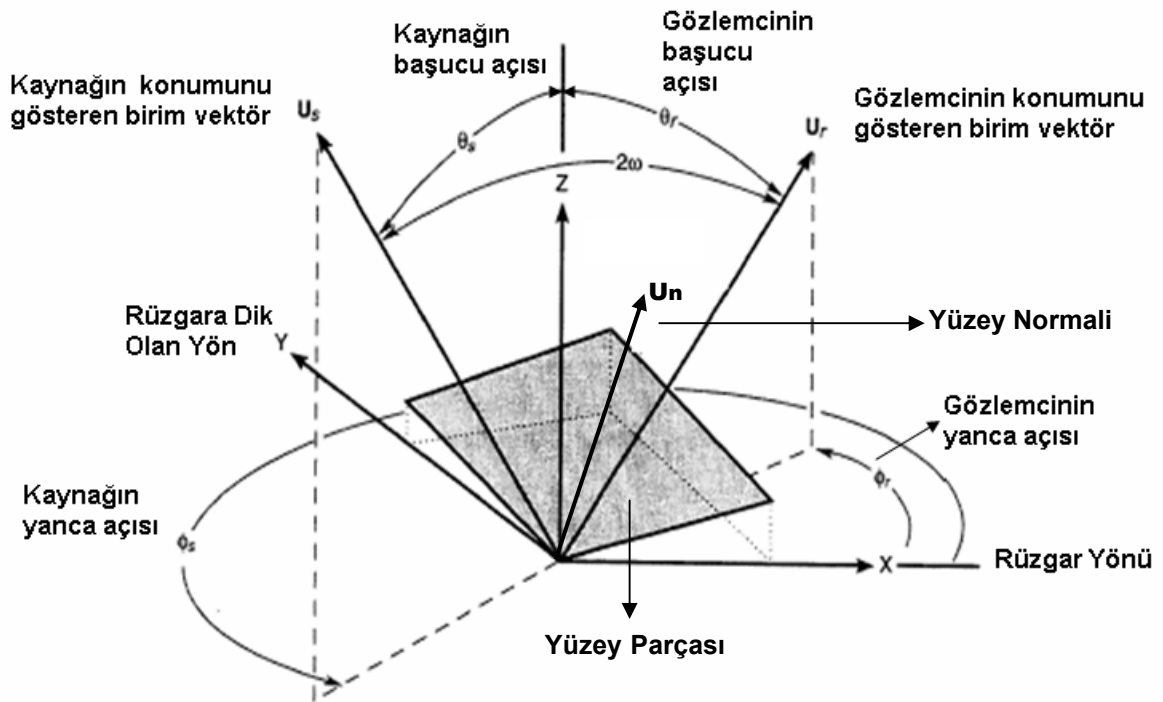
3. DENİZ YÜZEYİ MODELİ

Deniz yüzeyi, rüzgar hızına ve yönüne bağlı olarak çeşitli eğimlerde ve hareket halinde olan dalgacıklarla kaplıdır. Deniz yüzeyinden gözlemciye gelen ışımların elde edilmesindeki yöntem, deniz yüzeyinin küçük parçalara bölünmesi ve bu parçacıklardan yansıyan ışımların hesaplanması ilkesine dayanmaktadır. Her bir küçük düzlem parçaya 'yüzey parçası' denilmektedir. Gözlemcinin aydınlattığı bölgedeki her bir yüzey parçasından gelen ışımların toplamı deniz yüzeyinden yansıyan ışımayı vermektedir. Kızılötesi bantta deniz yüzeyi parçacıkları çok küçük boyutta olmakta ve bu nedenle gözlemcinin görüş alanı çok sayıda yüzey parçasına bölünmektedir. Mermelstein'in çalışmasında [3] 4 m/s rüzgar hızı için yüzey parçasının en büyük boyutu 5.7 mm olarak hesaplanmaktadır. 4 m/s rüzgar hızı durumunda bu hesaplara 500 m x 500 m'lik bir görüş alanı yaklaşık 7.5 milyar yüzey parçasından oluşmaktadır. Dolayısıyla kızılötesi bantta yansıyan ışımların hesaplanmasında olasılıksal yöntemlerin kullanılması uygun görülmektedir. Bir yüzey parçasının ' m ' eğimine sahip olması olasılığı görüş alanı içindeki ' m ' eğimine sahip yüzey parçası sayısının toplam yüzey parçası sayısına oranına eşittir. Bu yaklaşıma göre her bir eğim durumu için yansıyan ışıma hesaplanıp o eğimin oluşma olasılığıyla çarpılmaktadır ve tüm eğim durumları için elde edilen çarpımlar toplanmaktadır. Böylece elde edilen sonuç her bir parçadan yansıyan ışımanın hesaplanıp toplanması ile eşdeğer olmaktadır. Yansıyan ışımların her bir bileşeninde bu yaklaşımın uygulaması olarak elde edilen formüller tezin dördüncü bölümünde detaylarıyla açıklanmaktadır.

Bu bölümde yüzey parçasının bir köşesini merkez kabul eden rüzgar yönüne bağımlı olarak oluşturulan yüzey parçası koordinat sistemi ve bu koordinat sistemi üzerindeki yüzey parçasının eğimleri tanımlanmaktadır. Kızılötesi bantta deniz yüzeyi parçacıklarının eğimlerinin dağılımlarını rüzgar yönüne ve hızına göre istatistiksel olarak modelleyen literatürdeki istatistiksel modeller verilmekte ve karşılaştırmalar yapılmaktadır. Yüzey parçasından yansıyan ışımların gözlemciye ulaşma yani gözlemcinin bakış doğrultusunda yansıma olasılığını ifade eden etkileşim olasılık yoğunluk fonksiyonu da bu bölümde anlatılmaktadır.

3.1. Yüzey Parçası Koordinat Sistemi

Deniz yüzeyinin düzlem parçalara bölünmesi ile elde edilen yüzey parçası üzerinde rüzgar yönüne bağlı olarak bir koordinat sistemi tanımlanmaktadır. Yüzey parçası için tanımlanan koordinat sistemi Şekil 3.1'de gösterilmektedir [17]. Koordinat sisteminde X eksen rüzgar yönünü, Y eksen rüzgara dik olan yönü, Z eksen ise diğer eksenlere dik olan yönü göstermektedir. Şekil 3.1'de $\mathbf{U}_r$ gözlemcinin konumunu, $\mathbf{U}_s$ kaynağın konumunu gösteren birim vektörlerdir. ϕ_r gözlemcinin yanca açısını, ϕ_s kaynağın yanca açısını, θ_r gözlemcinin başucu açısını, θ_s kaynağın başucu açısını göstermektedir. 2ω açısı $\mathbf{U}_r$ ile $\mathbf{U}_s$ vektörlerinin arasındaki açıdır. $\mathbf{U}_n$ yüzey parçasının yüzey normalini gösteren vektördür. Yüzey normalinin yanca açısı ϕ_n , başucu açısı θ_n ile ifade edilmektedir.



Şekil 3.1: Yüzey parçası kordinat sistemi [17]

Yüzey parçasığı kordinat sistemi üzerinde kutupsal olarak ifade edilmiş olan $\mathbf{U}(\theta, \phi)$ birim vektörü kartezyen kordinatlarda ifade edilirse, $\mathbf{U}(a, b, c)$ vektöründe

$$\begin{aligned}
a &= \sin \theta \cos \phi \\
b &= \sin \theta \sin \phi \\
c &= \cos \theta
\end{aligned}
\tag{3.1}$$

dönüşümü yapılmaktadır. $\mathbf{U}$ vektörü küresel kordinatlarda ise

$$\begin{aligned}
\theta &= \cos^{-1}(c) \\
\phi &= \tan^{-1}(b/a)
\end{aligned}
\tag{3.2}$$

dönüşümü ile ifade edilmektedir. Bu dönüşümler daha genel olarak

$$\mathbf{U}(a, b, c) = a\hat{x} + b\hat{y} + c\hat{z} = \sin \theta \cos \phi \hat{x} + \sin \theta \sin \phi \hat{y} + \cos \theta \hat{z}
\tag{3.3}$$

şeklinde yazılabilir.

Yüzey parçacığı için tanımlanabilecek bir diğer birim vektör ise yüzey parçacığının yüzey normali birim vektörüdür ve $\mathbf{U}_n(a_n, b_n, c_n)$ olarak sembolize edilir.

3.2. Yüzey Parçası Eğimleri

Kızılötesi bantta deniz yüzeyinden yansıyan ışımaların hesaplanmasında yüzey parçası eğimleri etkilidir. Yüzey parçası eğimleri iki bileşen ile ifade edilmektedir. Bunlar rüzgar yönünde ve rüzgara dik yöndeki eğimlerdir. Rüzgar yönündeki yüzey parçasının eğimi, ζ_x , yüzey parçasının X-Z düzlemiyle kesişimindeki doğrunun eğimidir. Rüzgara dik yöndeki yüzey parçasının eğimi ise, ζ_y , yüzey parçasının Y-Z düzlemiyle kesişimindeki doğrunun eğimidir. Eğimler

$$\begin{aligned}
\zeta_x &= -a_n / c_n \\
\zeta_y &= -b_n / c_n
\end{aligned}
\tag{3.4}$$

formülleriyle tanımlanmaktadır.

Deniz yüzeyinden yansıyan ışımaların hesaplanmasında yüzey parçacıklarının eğimleri gelen ışımının ne yönde yansıyacağını belirlenmesi açısından önemlidir.

3.3. Deniz Yüzeyi İstatistiksel Modelleri

Basit bir yaklaşımla yüzey parçası eğimlerindeki uzamsal değişimler Gauss dağılım fonksiyonu ile ifade edilebilir. Deniz yüzeyi de uzamsal olarak rastgele

değişim gösteren bir ortam olduğundan yüzey parçacığı eğim olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$p(\zeta_x, \zeta_y, W) = \frac{1}{2\pi\sigma_u\sigma_c} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\zeta_x^2}{\sigma_u^2} + \frac{\zeta_y^2}{\sigma_c^2}\right)\right\} \quad (3.5)$$

olarak ifade edilebilir. σ_u^2 ve σ_c^2 sırasıyla rüzgar yönündeki ve rüzgara dik yöndeki dalga eğim varyanslarını vermektedir. σ_u^2 ve σ_c^2 rüzgar hızının, W , fonksiyonudur ve aralarındaki bağıntıyı tanımlayan üç temel model bulunmaktadır. Bunlar Cox ve Munk Modeli, Mermelstein Modeli ve Shaw - Churnside Modeli'dir.

3.3.1. Cox ve Munk istatistiksel deniz yüzeyi modeli

Cox ve Munk modeli 1954 yılında bir uçaktan deniz yüzeyindeki güneş pırıltı görüntülerinin fotoğraflarının çekilmesi ve pırıltı istatistiklerinin eğim dağılımı istatistiklerine çevrilmesi ile oluşturulmuştur [2].

Cox ve Munk modeli temiz deniz yüzeyi için eğimlerin rüzgar hızına bağlı varyanslarını aşağıdaki gibi tanımlamaktadır.

$$\begin{aligned} \sigma_u^2 &= 0.000 + 3.16 \times 10^{-3} \times W \\ \sigma_c^2 &= 0.003 + 1.92 \times 10^{-3} \times W \end{aligned} \quad (3.6)$$

Cox ve Munk modeli yağ tabakasıyla kaplı deniz yüzeyi modeli ise varyansları,

$$\begin{aligned} \sigma_u^2 &= 0.003 + 1.92 \times 10^{-3} \times W \\ \sigma_c^2 &= 0.005 + 0.78 \times 10^{-3} \times W \end{aligned} \quad (3.7)$$

olarak verilmektedir. Cox ve Munk'un ölçüm çalışmaları boyunca veriler, Hawaii bölgesinde, 610 m yükseklikte ve 1-14 m/s rüzgar hızı koşulları altında elde edilmiş ve sonrasında diğer faktörlerin etkileri de eklenerek bu veriler işlenmiştir. Cox ve Munk'un metodu iki temel prensibe dayanmaktadır. (1) Güneş ışınlarının gözlemciye ulaşabilmesi için gerekli olan yüzey parçası eğiminin belirlenmesi; (2) Bu eğim oluştuğunda deniz yüzeyinden gelecek ortalama parlaklığın belirlenmesi. Çoklu yansımaların etkilerinden kaçınmak amacıyla güneşin yükselti açısının 55° den fazla olduğu zamanlarda veriler toplanmıştır. Fotoğrafların çözünürlüğü 0.04°

olarak verilmektedir. Bu çalışmanın zayıf yönü arka plan kaynaklı deniz yüzeyi ışımlarının, güneş kaynaklı olanlardan ayırt edilmesindeki zorluktur.

3.3.2. Mermelstein istatistiksel deniz yüzeyi modeli

Mermelstein, 1994 yılında güneş ışımlarının mevcut olduğu durumda okyanus yüzeyinden yayılan kızılötesi ışımların analitik modelini oluşturmak üzerine çalışmıştır [3]. Mermelstein, çalışmasında deniz yüzeyini küçük parçalar halinde düşünmektedir. Bu nedenle deniz yüzeyinin modellenmesiyle de yakından ilgilenmiştir. Cox ve Munk'un çalışmasından yola çıkmış ve Donelan ve Pierson'ın çalışmasından [8] da faydalanarak modelini oluşturmuştur. 31 m yükseklikte, 3-5 μm ve 8-12 μm bantlarında 1.7° çözünürlükle ve 2.5 m/s ile 20 m/s rüzgar hızı aralığında yapılan ölçüm verilerini kullanmıştır. Mermelstein modeli sırasıyla rüzgar yönünde ve rüzgara dik yöndeki eğim standart sapmalarını,

$$\begin{aligned}\sigma_u &= 0.091 + 0.019 \times W - 4.6 \times 10^{-4} \times W^2 \\ \sigma_c &= 0.059 + 0.021 \times W - 5.5 \times 10^{-4} \times W^2\end{aligned}\quad (3.8)$$

olarak tanımlamaktadır. Bu modelle rüzgar hızı ile pürüzsüz deniz yüzey parçası eğim standart sapmaları arasında ikinci dereceden bir bağıntı kurulmakta ve yüzey eğimi olasılık yoğunluk fonksiyonu Gauss yoğunluk fonksiyonu olarak seçilmektedir.

3.3.3. Shaw - Churnside istatistiksel deniz yüzeyi modeli

Shaw – Churnside [4], çalışmalarında çeşitli açılarla dar lazer ışın demetini deniz yüzeyine doğrultmuşlar ve yüzeyden yansıyan ışımları değerlendirmişler. Bunun sonucunda yüzey eğimlerini Gauss yoğunluk fonksiyonu ile ifade etmektedirler. Güneş ışınlarının lazer ışın demetinin etkilerini bastırmasını engellemek amacıyla çalışmalar geceleri yapılmıştır. Shaw - Churnside modeli,

$$\begin{aligned}\sigma_u^2 &= 12.4 \times 10^{-3} + 3.1 \times 10^{-3} \times W \\ \sigma_c^2 &= 12.4 \times 10^{-3} + 3.1 \times 10^{-3} \times W\end{aligned}\quad (3.9)$$

olarak verilmektedir. Shaw - Churnside modelinin avantajlı olduğu konu negatif kararlılık şartları (denizin havadan daha sıcak olması durumu) altında da geçerli olmasıdır. Buna karşın Cox ve Munk çalışmasının sadece pozitif ve nötr kararlılık

şartları (denizin havadan daha soğuk yada aynı sıcaklıkta olması durumu) altında geçerli olduğunu ifade etmektedirler. Shaw - Churnside'a göre pozitif kararlılığın artmasıyla ortalama eğimin azalması oranında, negatif kararlılığın artmasıyla ortalama eğim artar. Bu çalışmada incelenen veriler 4-10 m/s rüzgar hızı şartlarında, deniz seviyesinden 17 m yükseklikte, lazer ışını yükselti açısının -45° ile 45° arasında olduğu durumlarda, 1° çözünürlükle, 3-15 μm bant aralığında yapılan ölçümler sonucunda elde edilmiştir.

3.3.4. İstatistiksel deniz yüzeyi modellerinin karşılaştırılması

İstatistiksel deniz yüzeyi modellerinin ortaya koyuldukları yıl, geçerli oldukları rüzgar hızı sınırları, ölçüm açı çözünürlükleri, ölçüm yükseklikleri, rüzgar hızı ölçüm yükseklikleri, ölçümlerin geçerli olduğu kızılötesi bant, kararlılık, arka plan ışımlarının etkileri, yüzey parçası pürüzlülüğü ve çoklu yansıma kriterlerine göre karşılaştırmaları Çizelge 3.1'de yapılmaktadır. Kararlılık hava sıcaklığı ile deniz suyu sıcaklığı karşılaştırmasına göre tanımlanmaktadır. Hava sıcaklığı deniz suyunun sıcaklığından fazla ise pozitif kararlılık, hava sıcaklığı ile deniz suyu sıcaklığı eşit ise nötr kararlılık, hava deniz suyundan soğuk ise negatif kararlılık geçerli demektir [4].

Yapılan karşılaştırma sonucunda Mermelstein modelinin daha geniş bir rüzgar hızı aralığında geçerli olduğu, Cox ve Munk modelinin ölçümlerinin daha yoğun açı çözünürlüğüyle yapıldığı, Shaw ve Churnside modelinin tüm kararlılık şartları altında geçerli olduğu, her üç modelde de yüzey parçacığının pürüzsüz kabul edildiği ve çoklu yansımaların ihmal edildiği görülmektedir. Rüzgar hızı ile eğim varyansları arasındaki bağıntılara bakıldığında ise Cox ve Munk ile Shaw ve Churnside modellerinde birinci dereceden bir bağıntı olduğu, Mermelstein modelinde ise standart sapma ile rüzgar hızı arasında ikinci dereceden bir bağıntı olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1: İstatistiksel Deniz Yüzeyi Modellerinin Karşılaştırılması

KARŞILAŞTIRMA PARAMETRELERİ	İSTATİSTİKSEL DENİZ YÜZEYİ MODELLERİ		
	COX ve MUNK	MERMELSTEIN	SHAW ve CHURNSIDE
YIL	1954	1994	1997
RÜZGAR HIZI	1-14 m/s	2.5 – 20 m/s	4 -10 m/s
BANT	-	3-5µm ve 8-12µm	3-15 µm
KARARLILIK	Deniz suyu hava ile aynı ya da daha az sıcaklığa sahip ise geçerli	-	Deniz suyu havadan sıcak olduğunda da geçerli
ARKA PLAN IŞIMALARININ ETKİLERİ	Fazla (ölçümler gündüz)	-	Az (ölçümler gece)

3.4. Etkileşim Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Deniz yüzeyine gelen ışımalar deniz yüzeyini kaplayan yüzey parçacıklarına çarparak her yönde yansır. Yansıyan ışımalar gözlemci konumu doğrultusunda olanlar gözlemciye ulaşmaktadır. Yansıyan ışımaların gözlemciye ulaşan doğrultuda olma olasılığını ifade eden olasılık yoğunluk fonksiyonu ‘etkileşim olasılık yoğunluk fonksiyonu’ olarak tanımlanmakta ve verilen rüzgar hızı ve gözlemci konumuna karşılık

$$q(\zeta_x, \zeta_y) = \frac{\frac{\cos \omega}{\cos \theta_n} p(\zeta_x, \zeta_y)}{\iint \frac{\cos \omega}{\cos \theta_n} p(\zeta_x, \zeta_y) d\zeta_x d\zeta_y} \quad (3.10)$$

olarak ifade edilmektedir. Verilen eşitlikte θ_n yüzey parçacığının yüzey normalinin başucu açısını, $\cos \omega / \cos \theta_n$ ise eğim olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanan yatay yüzeyin $\mathbf{U}_r(\theta_r, \phi_r)$ gözlemci konum vektörü üzerine düşen iz düşüm katsayısını ifade etmektedir.

Yansıyan ışımların ne oranda gözlemciye ulaşacağını ifade eden 'etkileşim ağırlık fonsiyonu' ise

$$Q \equiv q(\zeta_x, \zeta_y, \theta, \phi, W) d\zeta_x d\zeta_y \quad (3.11)$$

olarak tanımlanmaktadır [17].

Bu bölümde anlatılan deniz yüzeyi modeli yaklaşımı deniz yüzeyinden yansıyan ışımların hesaplanmasında kullanılmaktadır. Dördüncü bölümde deniz yüzeyinden gözlemciye gelen toplam ışıma ve bileşenleri yol ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması, yansıyan kaynak ışıması ve termal deniz ışıması ile atmosferik iletim katsayısı anlatılmaktadır.

4. DENİZ YÜZEYİNDEN GÖZLEMÇİYE GELEN TOPLAM IŞIMA VE BİLEŞENLERİ

Yol ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması, yansıyan kaynak (güneş veya ay) ışıması ve termal deniz ışıması deniz yüzeyinden gözlemciye gelen toplam ışımayı oluşturan dört temel bileşendir. Yansıyan ışımaların atmosferden geçip gözlemciye ulaşana kadar uğradıkları zayıflama etkisi ise atmosferik iletim katsayısı ile ifade edilmektedir. Yansıyan gökyüzü ışıması, yansıyan kaynak (güneş veya ay) ışıması hesaplarında katsayı olarak kullanılan deniz yüzeyine gelen gökyüzü ve ışımaları ile yol ışıması ve atmosferik iletim katsayısı MODTRAN yazılımı [9] çıktılarından elde edilmektedir. Atmosfer ışımalarını hesaplayan MODTRAN yazılımı hakkındaki detaylı bilgiler EK 2’de verilmektedir.

4.1. Yol Işıması

Yol ışıması, N_y , gözlemcinin deniz üzerinde gördüğü yüzey ile gözlemci arasındaki atmosfer moleküllerinin ve parçacıklarının yaptığı ışımadır. Bu ışıma temel olarak, atmosfer parçacıklarının kendi sıcaklığından kaynaklanan termal ışıma ile güneş ışınlarının atmosfer parçacıklarına çarparak saçılmasından kaynaklanan ışımaların toplamıdır. Verilen dalgaboyuna karşılık yol ışıması N_{ys} ile ifade edilmektedir.

4.2. Yansıyan Gökyüzü Işıması

Gözlemciye ulaşan yansıyan gökyüzü ışıması, N_g , güneş ışınlarının çeşitli cisimlere (bulutlar, dağlar, gibi) çarpıp saçılmasıyla meydana gelen ışın demetinin deniz yüzeyinden yansmasıyla oluşan ışımadır. Gökyüzü ışıması atmosferin tüm katmanlarından ve her yönden gelmektedir. Gözlemci tarafından aydınlatılan deniz yüzeyi çeşitli eğimlere sahip çok sayıda küçük yüzey parçacıkları içermektedir. Her bir yüzey parçacığı, eğimine bağlı olarak, gelen gökyüzü ışımasını farklı oranlarla gözlemci yönünde yansıtır. Değişik eğimlerdeki yüzey parçacıklarının gözlemci yönünde yansıttığı ışımaların toplamı, yansıyan gökyüzü ışımasını vermektedir [17] .

Dalgaboyuna karşılık, deniz yüzeyindeki yansıyan gökyüzü ışıması N_{gs} , deniz yüzeyine gelen gökyüzü ışıması $N_s(\theta_s, \phi_s, \nu)$ 'nin, yansıma katsayısı (ρ) ve etkileşim olasılık yoğunluk fonksiyonunun çarpımının ω ve θ_s açılarını 90° 'den küçük yapan eğimler üzerinden integrali ile elde edilmektedir.

$$N_{gs}(\nu) = \iint N_s(\theta_s, \phi_s, \nu) \rho(\omega, \nu) q(\zeta_x, \zeta_y) d\zeta_x d\zeta_y \quad (4.1)$$

ν dalga sayısını ifade etmektedir. İntegral her bir dalga sayısı için hesaplanmaktadır. Bu nedenle dalga sayısı da integralin bir değişkenidir.

İntegral kullanılan değişkenler

$$\theta_n = \cos^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_x^2 + \zeta_y^2}} \right) \quad (4.2)$$

$$\omega = \cos^{-1} \left\{ \frac{(-\zeta_x \sin \theta_r \cos \phi_r - \zeta_y \sin \theta_r \sin \phi_r + \cos \theta_r)}{\sqrt{1 + \zeta_x^2 + \zeta_y^2}} \right\} \quad (4.3)$$

$$\theta_s = \cos^{-1} \left\{ \frac{-2 \sin \theta_r (\zeta_x \cos \phi_r + \zeta_y \sin \phi_r) + \cos \theta_r (1 - \zeta_x^2 - \zeta_y^2)}{1 + \zeta_x^2 + \zeta_y^2} \right\} \quad (4.4)$$

$$\phi_s = \tan^{-1} \left\{ \frac{(1 + \zeta_x^2 - \zeta_y^2) \sin \phi_r - 2 \zeta_x \zeta_y \cos \phi_r + 2 \zeta_y \cot \theta_r}{(1 - \zeta_x^2 + \zeta_y^2) \cos \phi_r - 2 \zeta_x \zeta_y \sin \phi_r + 2 \zeta_y \cot \theta_r} \right\} \quad (4.5)$$

eşitlikleriyle hesaplanmaktadır. Eşitliklerin çıkarımı EK1'de verilmektedir.

4.3. Yansıyan Kaynak (Güneş-Ay) Işıması

Gözlemciye ulaşan yansıyan kaynak ışıması, N_k , güneş ya da ay ışınlarının deniz yüzeyine çarpıp yansımasıyla gözlemciye ulaşan ışımadır. Gökyüzü ışımasından farklı olarak yerel koordinatlarda kaynağın geliş açısı enlem, boylam ve zamana bağlıdır ve belirlidir. Belli bir yönden deniz yüzeyine gelen kaynak ışıması yüzey parçacıklarının eğimlerine bağlı olarak her yönde yansımaktadır ancak kaynak ışımlarından bir kısmı gözlemciye ulaşabilmektedir. Kaynak ışımasını gözlemci

doğrultusunda yansıtan eğimlere sahip olan yüzey parçacıklarından gelen ışımaya yansıyan kaynak ışımalarını oluşturmaktadır.

Yansıyan kaynak ışımaları, deniz yüzeyine θ_o başucu ve ϕ_o yanca açısıyla gelen kaynak ışımaları $N_o(\nu)$ 'nın, yansıma katsayısının ve etkileşim olasılık yoğunluk fonksiyonunun çarpımının eğimler üzerinden integrali ile çarpımı sonucu hesaplanabilir. Gelen kaynak ışımaları belli başucu ve yanca açıları aralığında olduğundan ve yüzey eğimleri bu açılar cinsinden ifade edilebildiğinden integralde değişken değiştirilmekte ve integral kaynak ışımalarının geliş açıları üzerinden alınmaktadır [17]. Dalgaboyuna karşılık, deniz yüzeyindeki yansıyan kaynak ışımaları N_{ks} ,

$$N_{ks}(\nu) = \frac{N_o(\nu)}{4} \iint \rho(\omega, \nu) \sec \omega \sec^3 \theta_n q(\zeta_x, \zeta_y) \sin \theta_s d\theta_s d\phi_s \quad (4.6)$$

integrali ile her bir dalgaboyu adımı için hesaplanmaktadır. θ_o ve ϕ_o sırasıyla kaynağın geliş başucu ve yanca açılarını göstermektedir. İntegral içinde geçen değişkenler

$$\zeta_x = -\frac{\sin \theta_s \cos \phi_s + \sin \theta_r \cos \phi_r}{\cos \theta_s + \cos \theta_r} \quad (4.7)$$

$$\zeta_y = -\frac{\sin \theta_s \sin \phi_s + \sin \theta_r \sin \phi_r}{\cos \theta_s + \cos \theta_r} \quad (4.8)$$

$$\omega = \cos^{-1} \sqrt{\frac{1 + \sin \theta_s \sin \theta_r \cos(\phi_s - \phi_r) + \cos \theta_s \cos \theta_r}{2}} \quad (4.9)$$

$$\theta_n = \tan^{-1} \sqrt{\frac{\sin^2 \theta_r + \sin^2 \theta_s + 2 \sin \theta_s \sin \theta_r \cos(\phi_r - \phi_s)}{(\cos \theta_s + \cos \theta_r)^2}} \quad (4.10)$$

eşitlikleriyle hesaplanmaktadır. Eşitliklerin çıkarımı EK1'de verilmektedir.

4.4. Termal Deniz Işıması

Termal deniz ışıması, N_d , ise denizin kendi sıcaklığından dolayı yaydığı ışımadır. Deniz yüzeyi, kendi sıcaklığındaki siyah cisim ışımasını kendi yansıtıcılığı oranıyla yaymaktadır. Bu ışıma da deniz yüzeyine bakan gözlemciye ulaşmaktadır.

Termal deniz ışıması, deniz yüzeyi sıcaklığında siyah cisim ışıması $N_b(T_d, \nu)$ 'nın, deniz yüzeyinin yansıtıcılığı ve etkileşim olasılık yoğunluk fonksiyonunun ω açısını 90° 'den küçük yapan eğimler üzerinden alınan integrali ile çarpılması sonucunda elde edilmektedir [17]. Dalgaboyuna karşılık, deniz yüzeyindeki termal deniz ışıması N_{ds} ,

$$N_{ds}(\nu) = N_b(T_d, \nu) \iint [1 - \rho(\omega, \nu)] q(\zeta_x, \zeta_y) d\zeta_x d\zeta_y \quad (4.11)$$

integrali ile her bir dalgaboyu adımı için hesaplanmaktadır. Denklemden ρ yansıma katsayısıdır. Kirchhoff yasasına göre denge koşulları altında salıcılık katsayısı, soğuruculuk katsayısına eşittir. Enerjinin korunumu yasasına göre ise iletim, yansıma ve soğuruculuk katsayılarının toplamı bire eşittir. Denizin kızılötesi bantta iletim katsayısı sıfır olacağından salıcılık katsayısı $\varepsilon = (1 - \rho)$ olarak hesaplanabilir. T_d deniz suyu sıcaklığıdır. İntegral içinde geçen değişkenler ω ve θ_n sırasıyla Eşitlik 4.2 ve 4.3 ile hesaplanmaktadır.

4.5. İletim Katsayısı

Atmosfer içinde yol alan bir ışıma atmosferik iletim katsayısı (τ) oranında bir zayıflamaya uğramaktadır. Toplam ışımayı oluşturan bileşenlerden yansıyan gökyüzü ve güneş ışıması ile termal deniz ışıması bu zayıflama etkisiyle çarpılmakta ve gözlemciye ulaşan kadarı hesaplanmaktadır. Verilen dalgaboyuna karşılık atmosferik iletim katsayısı τ_s ile ifade edilmektedir.

4.6. Toplam Işıma

Gözlemciye gelen toplam deniz ışıması yansıyan gökyüzü ışıması, yansıyan güneş ışıması ve termal deniz ışımasının toplamının atmosferin iletim katsayısıyla

arpımının yol ışmasıyla toplamıdır. Bu toplam hesaplanırken kullanıcı tarafından girilen dalgaboyu aralığına bağı olarak dalga sayısı üzerinden

$$N_t = \int_{\nu_1}^{\nu_2} \left[N_{js}(\nu) + \tau_s(\nu)(N_{gs}(\nu) + N_{ks}(\nu) + N_{ds}(\nu)) \right] d\nu \quad (4.12)$$

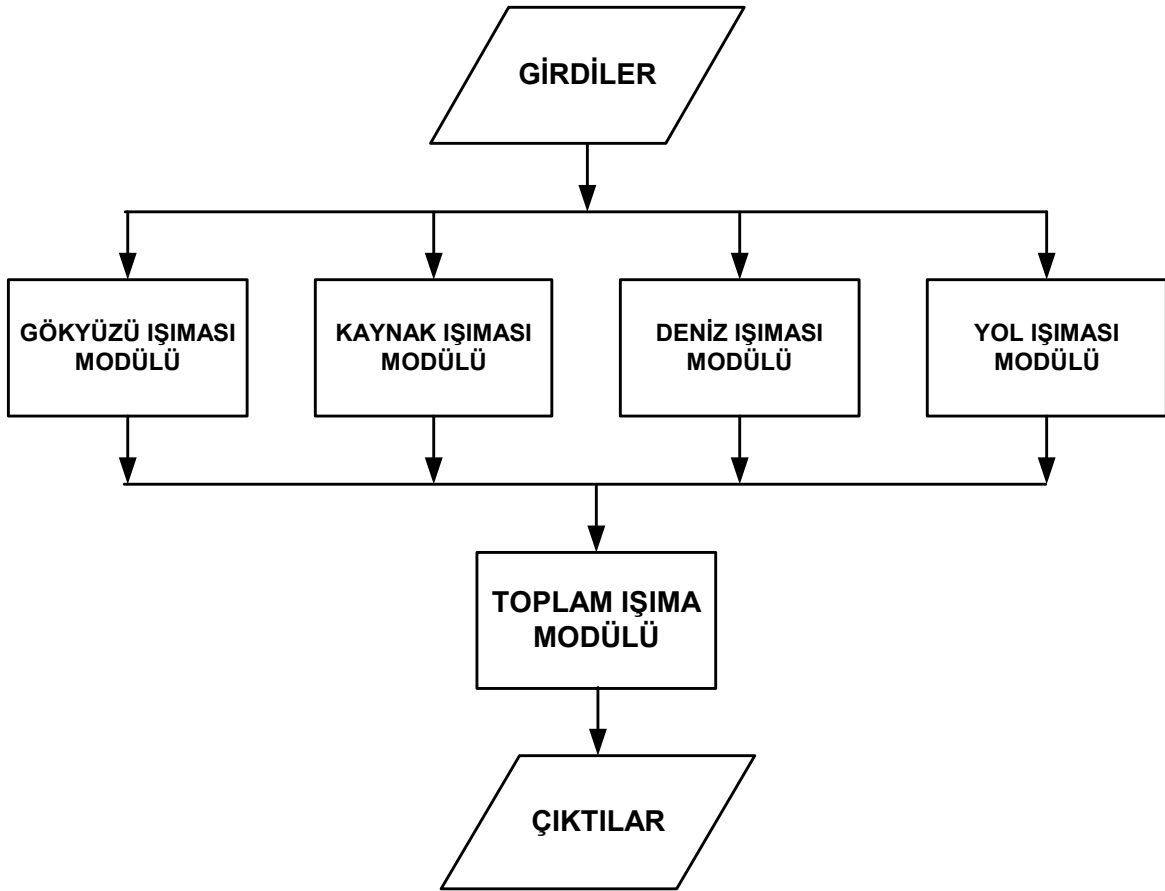
integrali alınmaktadır. Toplam ışma birim steradyan katı açığa ve birim m² alana düşen güç olarak hesaplanmaktadır ve birimi W/m²/sr'dır.

Bu bölümde detaylı bir şekilde açıklanan gözlemciye gelen toplam ışma ve bileşenlerini hesaplamak üzere bir benzetim yazılımı geliştirilmiştir. Beşinci bölümde yazılımın akış şemaları, girdi - çıktı parametreleri ve arayüzü anlatılmaktadır.

5. DAMA YAZILIMI

Deniz yüzeyinden gözlemciye gelen toplam ışımayı hesaplamak amacıyla MATLAB ortamında bir yazılım hazırlanmıştır. Kullanıcı girdi parametrelerinin değerlerini arayüzden ya da girdi dosyasından girebilmektedir. Hazırlanan arayüz, girdi parametreleri ile ilgili uyarılarda bulunarak kullanıcıyı yönlendirilebilmektedir. Çıktılar da hem arayüz ile hem de çıktı dosyasıyla kullanıcıya sunulmaktadır.

Deniz yüzeyinden gözlemciye ulaşan toplam ışımayı hesaplamak için MATLAB ortamında hazırlanan yazılımın genel akış şeması Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Yazılımın girdileri gökyüzü ışıması, kaynak ışıması, deniz ışıması ve yol ışıması modüllerine girmektedir. Bu modüllerin çıktıları toplam ışımaya girmektedir. Çıktılar ise gökyüzü ışıması, kaynak ışıması, deniz ışıması ve yol ışıması modülleri ile toplam ışımaya girmektedir. Bu şekilde bulunan her bir bileşenin içeriği bu bölümde sunulmaktadır.



Şekil 5.1: Yazılımın Akış Şeması

5.1. Girdi Parametreleri

Yazılımda girdiler 'tgirdiler' dosyasından ya da arayüzden girilebilmektedir. Girdi parametreleri, gözlemci, ortam, zaman, dalgaboyu bandı, model seçimi ve çıktı dosyası parametreleri olarak sınıflandırılmaktadır.

Gözlemci parametreleri gözlemcinin konumu ile ilgili parametreleri kapsamaktadır. Gözlemcinin enlemi, boylamı ve yüksekliği ile gözlemcinin bakış eğim ve yönelim açıları kullanıcı tarafından girilmesi gereken gözlemci parametreleridir. Enlem parametresi derece cinsinden -90 ile 90 arasında girilmelidir. Pozitif enlem değeri kuzey yarım küreyi, negatif enlem değerleri ise güney yarım küreyi ifade etmektedir. Boylam değeri derece birimiyle, Greenwich'i 0° kabul eden ve doğuya doğru artan sistemde 0° ile 360° arasında girilmelidir. Gözlemcinin yüksekliği pozitif bir değer olarak metre cinsinden girilmelidir. Gözlemcinin bakış eğim açısı gözlemcinin bakış doğrultusunun dünyanın merkezini gösteren vektör ile yaptığı açıdır. Bu tanım ile gözlemci tam aşağıya baktığında bu parametrenin değeri 0°, gözlemci tam karşıya baktığında 90°, tam yukarıya baktığında ise 180° olmaktadır. Bakış eğim açısı derece birimiyle 0 ile 180 arasında girilmelidir. Gözlemcinin bakış yönelim açısı gözlemcinin bakış doğrultusunun izdüşümünün yerel kuzey ile arasındaki kuzeyden doğuya doğru ölçülen açıdır. Bu parametrenin değeri derece birimiyle ve 0 ile 360 arasında girilmelidir. Gözlemci parametreleri Çizelge 5.1'de özetlenmektedir.

Çizelge 5.1 : Gözlemci Parametreleri

PARAMETRE ADI	BİRİM	DEĞER ARALIĞI	AÇIKLAMA
Gözlemcinin Enlemi	Derece	[-90,90]	Pozitif açılar kuzey yarım küreyi, negatif açılar güney yarım küreyi ifade etmektedir.
Gözlemcinin Boylamı	Derece	[0,360]	Boylam değeri Greenwich'in doğusuna doğru artmaktadır.
Gözlemcinin Yüksekliği	m	>0	Gözlemcinin yüksekliği deniz seviyesine göre girilmektedir.
Gözlemcinin Bakış Eğim Açısı	Derece	[0,180]	Bakış eğim açısı 0° iken gözlemci tam olarak aşağıya (dünyanın merkezine), 90° iken tam karşıya, 180° iken tam yukarıya doğru bakmaktadır.
Gözlemcinin Bakış Yönelim Açısı	Derece	[0,360]	Bakış yönelim açısı kuzeyden doğuya doğru ölçülen ve gözlemcinin yatayda hangi yöne doğru baktığını belirten açıdır.

Ortam parametreleri hava ve deniz şartlarını içermektedir. Deniz suyu sıcaklığı,°C birimiyle 0 ile 50 arasında bir değer girilmelidir. Rüzgar hızı ve 24 saatlik ortalama rüzgar hızı m/s birimi ile pozitif değer almaktadır. Rüzgar yönü, gözlemcinin bulunduğu yerel koordinatlarda kuzey ile rüzgar yönü arasındaki kuzeyden doğuya doğru ölçülen açıdır ve derece birimiyle 0° ile 360° arasında bir değer almaktadır. Yazılımda bulunan bulut – yağmur modelleri, Bulut ya da Yağmur Yok, Küme Bulutları, Altostratus Bulutlar, Stratus Bulutlar, Stratus/Strato- Küme Bulutları, Nimbostratus Bulutlar, 2 mm/sa Çiseleme/ Stratus Bulutlar, 5 mm/sa Hafif Yağmur/ Nimbostratus, 12.5 mm/sa Ortalama Yağmur/ Nimbostratus, 25 mm/sa Ağır

Yağmur/Küme Bulutları ve 75 mm/sa Aşırı Yağmur/ Küme olmak üzere onbir tanedir. Arayüzde bu parametrenin değeri listeden seçilerek atanabilmekte, girdi dosyasında ise Çizelge 5.2’de verilen değerler girilebilmektedir. Görüş uzaklığı km birimi ile pozitif değer almaktadır. Kullanıcı girilen rüzgar hızı ile bulut ve yağmur modeli seçimine göre yazılımda varsayılan değer kullanıldığını tercih eder ise bu parametrenin değeri sıfır olmaktadır. Arayüzde de bu seçimin yapılmasına imkan tanınmaktadır. Yağmur oranı mm/sa birimi ile girilmelidir. Bu parametre 0 değerini aldığı anda, girilen bulut ve yağmur modeli seçimine göre yazılımda belirlenmiş olan değer atanmaktadır. Çizelge 5.2’de ortam parametreleri özetlenmektedir.

Çizelge 5.2: Ortam Parametreleri

PARAMETRE ADI	BİRİM	DEĞER ARALIĞI	AÇIKLAMA
Deniz Suyu Sıcaklığı	°C	[0,50]	-
Rüzgar Hızı	m/s	>0	-
24 Saatlik Ortalama Rüzgar Hızı	m/s	>0	24 saatlik ortalama Rüzgar Hızı
Rüzgar Yönü	Derece	[0,360]	Kuzeyden doğuya doğru ölçülen açıdır.
Bulut ve Yağmur Modeli	-	[0,10]	0=Bulut ya da Yağmur Yok, 1=Küme Bulutları, 2=Altostratus Bulutlar, 3=Stratus Bulutlar, 4=Stratus/Strato-Küme Bulutları, 5=Nimbostratus Bulutlar, 6=2 mm/sa çiseleme/ Stratus Bulutlar, 7=5 mm/sa Hafif Yağmur/ Nimbostratus, 8=12.5 mm/sa Ortalama Yağmur/ Nimbostratus, 9=25 mm/sa Ağır Yağmur/Küme Bulutları, 10=75 mm/sa Aşırı Yağmur/ Küme Bulutları
Görüş Uzaklığı	km	>=0	Görüş Uzaklığı 0 değerini aldığı anda yazılımda belirlenen değer atanmaktadır. Kullanıcı bir değer girer ise bu değer aktif hale gelmektedir.
Yağmur Oranı	mm/sa	>=0	Yağmur Oranı 0 değerini aldığı anda yazılımda belirlenen değer atanmaktadır. Kullanıcı bir değer girer ise bu değer aktif hale gelmektedir.

Zaman parametreleri, gün, ay, yıl, saat, dakika ve saat farkıdır. Saat farkı Greenwich'in doğusunda pozitif, batısında negatif değer almaktadır. Zaman parametreleri ile ilgili özet Çizelge 5.3'te verilmektedir.

Çizelge 5.3 : Zaman Parametreleri

PARAMETRE ADI	BİRİM	DEĞER ARALIĞI	AÇIKLAMA
Yıl	-	[-2000,6000]	-
Ay	-	[1,12]	-
Gün	-	[1,31]	-
Saat	sa	[0,23]	Yerel zaman girilmelidir.
Dakika	dak	[0,59]	Yerel zaman girilmelidir.
Saat Farkı	sa	[-12,12]	-

Dalgaboyu bandı parametreleri, dalgaboyu alt sınırı, üst sınırı ve çözünürlüğüdür. Bu üç parametre mikrometre birimi ile girilmelidir. Dalgaboyu çözünürlüğü yazılımın ne derece hassas bir hesaplama yapacağını ölçüsüdür. Bu değer ne kadar küçük seçilirse o kadar hassas bir hesaplama yapılmaktadır. Buna karşılık programın koşma süresi uzamaktadır. Dalgaboyu bandı parametrelerinin özeti Çizelge 5.4'te verilmektedir.

Çizelge 5.4 : Dalgaboyu Bandı Parametreleri

PARAMETRE ADI	BİRİM	DEĞER ARALIĞI	AÇIKLAMA
Dalgaboyu Alt Sınırı	μm	[0.2,200]	-
Dalgaboyu Üst Sınırı	μm	[0.2,200]	-
Dalgaboyu Çözünürlüğü	μm	-	Hassasiyeti belirlemektedir.

Model parametreleri, deniz yüzeyi istatistiksel model seçimi ve deniz suyu tuzluluk modeli seçimidir. Yazılımda bulunan deniz yüzeyi istatistiksel modelleri Cox ve Munk temiz yüzey, Cox ve Munk yağlı yüzey, Mermelstein ve Shaw – Churnside modelleri kullanıcının seçimine sunulmaktadır. Tuzluluk modelleri ise Hint Okyanusu, Florida Fosfat Kaynağı, Ölü Deniz, Büyük Tuz Gölü, Büyük Okyanus ve San Francisco Koyu olarak verilmektedir. Kullanıcı model seçimlerini arayüzde listeden seçebilmektedir. Dosyadan girdi yapılırken ise Çizelge 5.5'te modellere karşılık verilen değerler girilebilmektedir.

Çizelge 5.5 : Model Parametreleri

PARAMETRE ADI	BİRİM	DEĞER ARALIĞI	AÇIKLAMA
Deniz Yüzeyi İstatistiksel Model Seçimi	-	[1,4]	Deniz yüzeyi istatistiksel model seçimi 1-Cox-Munk temiz deniz yüzeyi modeli 2 -Cox-Munk yağlı deniz yüzeyi modeli 3-Mermelstein deniz yüzeyi modeli 4-Shaw-Churnside deniz yüzeyi modeli
Deniz Suyu Tuzluluk Seçimi	-	[1,6]	1-Hint Okyanusu 2-Florida Fosfat Kaynağı 3-Ölü Deniz 4-Büyük Tuz Gölü 5-Büyük Okyanus 6-San Francisco Koyu

Deniz suyu tuzluluk modellerinin oluşturulmasında kullanılan ölçümlerin yapıldığı ortamların özellikleri Çizelge 5.6'da verilmektedir. Çizelgede iyon yoğunlukları mg/lt birimiyle, σ , iletkenlik $\mu\text{mho/cm}$ birimiyle verilmektedir [6]. Na^+ iyonları en çok Büyük Tuz Gölü'ne bulunmaktadır. Ölü Deniz Cl^- iyonları açısından en zengindir. Florida Fosfat Kaynağı tuz iyonları açısından fakir, PO_4^{-3} iyonları açısından zengindir.

Çizelge 5.6: Deniz Suyu Tuzluluk Modellerinin Özellikleri [6]

İYON	San Francisco Koyu	Büyük Okyanus	Büyük Tuz Gölü	Florida Fosfat Kaynağı	Ölü Deniz
Ca^{+2}	360	400	210	1.100	16.300
Mg^{+2}	1.000	1.200	5.800	170	36.100
Na^+	8.000	10.000	52.000	2.100	38.500
K^+	340	420	4.000	300	6.500
$\text{NH}_3\text{-N}$	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01
HCO_3^-	124	142	514	1,6	230
SiO_2				230	
Cl^-	16.000	19.000	94.000	44	196.940
F^-				3.300	
SO_4^{-2}	2.200	2.700	12.000	870	580
NO_3^-	<0,1	0,1	<0,1		
PO_4^{-3}	0,03	0,04	2,3	1.700	
H_2PO_4^-				5.500	
CO_3^{-2}	6				
Br^-					4.600
B					30
Li					12
Sr					240
Fe					0,09
σ	41.300	47.000	134.000	26.000	

Çıktı dosyası parametreleri yazılım tarafından oluşturulacak çıktı dosyasının adı ve bu dosyanın ilk satırında yazılacak açıklamadır. Böylece kullanıcı, çıktı dosyalarını istediği gibi isimlendirebilecek ve dosyanın başına bir açıklama bilgisi yazdırabilecektir.

Çizelge 5.7: Çıktı Dosyası Parametreleri

PARAMETRE ADI	BİRİM	DEĞER ARALIĞI	AÇIKLAMA
Çıktı Dosyası Adı	-	-	Çıktı dosyasının oluşturulmasında kullanılacak olan kullanıcı tarafından belirlenen dosya adı
Çıktı Dosyası Tanımı	-	-	Çıktı dosyasının başında kullanıcı tarafından yazdırılmak istenilen açıklamalar, dosyayı tanımlayan bilgiler

Girdi parametreleri kullanıcının tercihi göre arayüzden ya da dosyadan girilebilmektedir. Aşağıdaki alt bölümlerde girdi dosyası ve girdi arayüzü ile ilgili bilgiler sunulmaktadır.

5.1.1. Girdi parametrelerinin dosyadan girilmesi

Yazılımda 'tgirdiler' isimli bir girdi dosyası bulunmaktadır. Bu dosyada girdi parametrelerinin adları, birimleri ve değer aralıkları verilmektedir. Kullanıcıya, girdi parametrelerinin herbirininin değerini yazması için isim ve açıklamalarının altında birer satırlık yer bırakılmıştır. Girdi parametrelerini dosyadan girmek isteyen kullanıcının bu değer satırlarını doldurması gerekmektedir. Şekil 5.2'de örnek bir girdi dosyası verilmektedir.

```

GIRDILER
Gozlemcinin Enlemi (Derece) [-90,90]:
36
Gozlemcinin Boylami (Derece) [0,360]:
31
Gozlemcinin Yuksekligi:
100
Gozlemcinin Bakis Egim Acisi (Derece) [0,180]:
10
Gozlemcinin Bakis Yonelim Acisi (Derece) [0,360]:
180 |
Ruzgar Yonu (Derece) [0,360]:
180
model = 1 => Cox ve Munk Temiz Deniz Yuzeyi Modeli
model = 2 => Cox ve Munk Kirli Deniz Yuzeyi Modeli
model = 3 => Mermelstein Deniz Yuzeyi Modeli
model = 4 => Shaw-Churnside Deniz Yuzeyi Modeli
Deniz Yuzeyi Modeli Secimi [1-4]:
1
Ruzgar Hizi (m/s):
14
24 Saat Ortalama Ruzgar Hizi (m/s):
14
Deniz Suyu Sicakligi (°C):
20
Deniz Suyu Tuzluluk Modeli Secimi [1-6]
5
Bulut - Yagmur Modeli Secimi [0-10]
0
Gorus Uzakligi (km)
0
Yagmur Orani (mm/sa)
0
Dalgaboyu Alt Siniri (mikrometre):
1
Dalgaboyu Ust Siniri (mikrometre):
3
Yil:
2006
Ay:
6
Gun:
21
Saat:
10
Dakika:
0
Greenwich ile Saat Farki:
2
Dalgaboyu Cozunurlugu (mikrometre):
0.1
Cikti Dosyasi Adi:
CIKTI_01
Cikti Dosyasi Tanimi
ORNEK GIRDI VE CIKTI DOSYALARI

```

Şekil 5.2: Yazılımın girdi dosyası örneği

5.1.2. Girdi parametrelerinin arayüzden girilmesi

Girdi parametrelerinin değerlerini arayüzden girmek kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada hazırlanan giriş arayüzü Şekil 5.3'te verilmektedir. Arayüzde parametrelerin değerlerinin uygun girilmemesine karşı kullanıcı uyarı pencereleri ile yönlendirilmektedir.

The screenshot shows a software window titled 'giris' with a light blue border. It contains several sections for inputting parameters:

- Gözlemci Parametreleri**: Enlem (Derece) 36, Boylam (Derece) 31, Yükseklik (m) 100, Bakis Egim Açısı (Derece) 10, Bakis Yönelim Açısı (Derece) 180.
- Zaman Parametreleri**: Gün / Ay / Yıl 21 / 06 / 2006, Saat : Dakika-Saat Farkı 10 : 00 - 2.
- Dalgaboyu Parametreleri**: Dalgaboyu Bandı (µm) 1 - 3, Dalgaboyu Çözünürlüğü (µm) 0.1.
- Ortam Parametreleri**: Deniz Suyu Sıcaklığı (°C) 20, Rüzgar Hizi (m/s) 14, 24 Saat Ortalama Rüzgar Hizi (m/s) 14, Rüzgar Yönü (Derece) 180, Bulut - Yağmur Modeli Bulut ya da Yağmur Yok, Görüş Uzaklığı (km) 0, ☒ Bulut ve Yağmur Modelinde Varsayılan Değer, Yağmur Oranı (mm/sa) 0, ☒ Bulut ve Yağmur Modelinde Varsayılan Değer.
- Model Secimi**: Deniz Yüzeyi Modeli Cox-Munk Temiz Deniz Yüzeyi, Deniz Suyu Tuzluluk Modeli Büyük Okyanus.
- Çıktı Dosyası**: Çıktı Dosyası Adı CIKTI_01, Çıktı Dosyası Tanımı ORNEK GIRDİ VE ÇIKTI DOSYALARI.

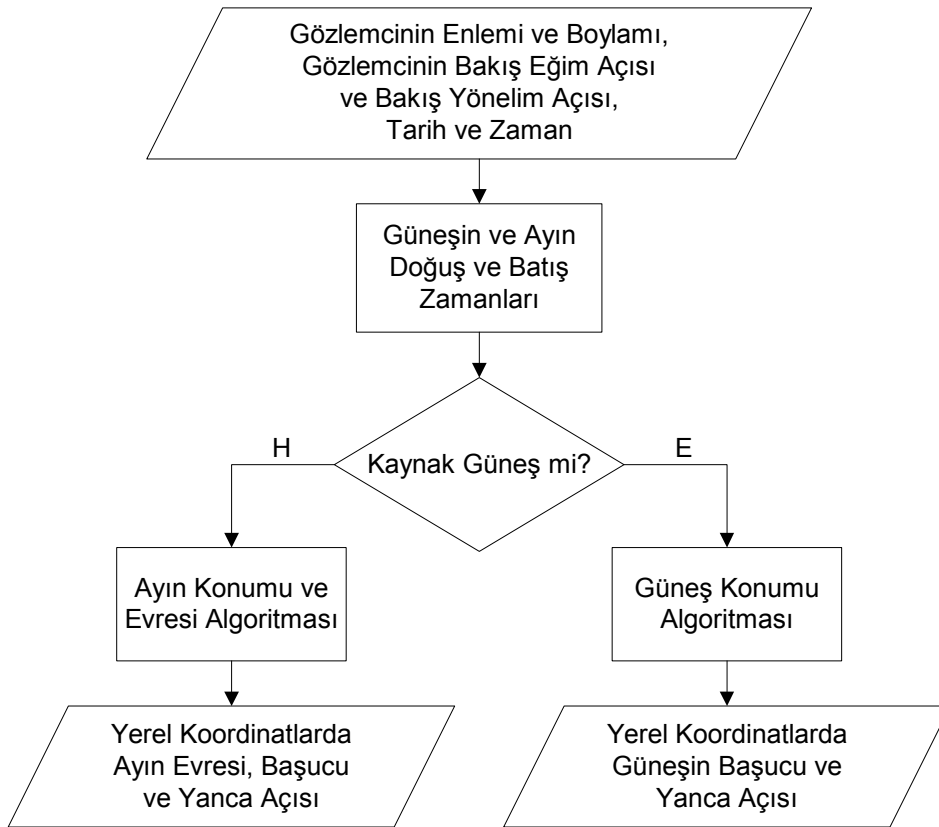
At the bottom, there are two buttons: 'ÇALIŞTIR' (Run) and 'ÇIKIS' (Exit).

Şekil 5.3 : Arayüz Girdi Penceresi

Parametreler hakkında açıklama bilgileri farenin parametre adının üzerine getirilmesiyle görünür hale gelen bantlarda verilmektedir. Böylece kullanıcı girdi parametresi hakkındaki detayları arayüz üzerinden görebilmektedir.

5.2. Kaynak Parametrelerinin Hesaplanması

Kaynak parametreleri yazılımda otomatik olarak hesaplanmaktadır. Kaynak parametrelerinin hesaplanmasını açıklayan akış şeması Şekil 5.4'te verilmektedir. Bu hesaplamalar kullanıcıya büyük kolaylık sunmaktadır. Özellikle ay ile ilgili parametrelerin kullanıcı tarafından yazılıma girilmesi oldukça zordur. Yazılımda öncelikle gözlemcinin konumuna ve tarih ile zaman bilgisine karşılık kaynağın güneş mi ay mı olduğuna karar verilmektedir. Daha sonra kaynağın yerel koordinatlarda başucu açısı ve yanca açısı hesaplanmaktadır [7]. Kaynak ay ise ayın evresi de hesaplanmaktadır [15].

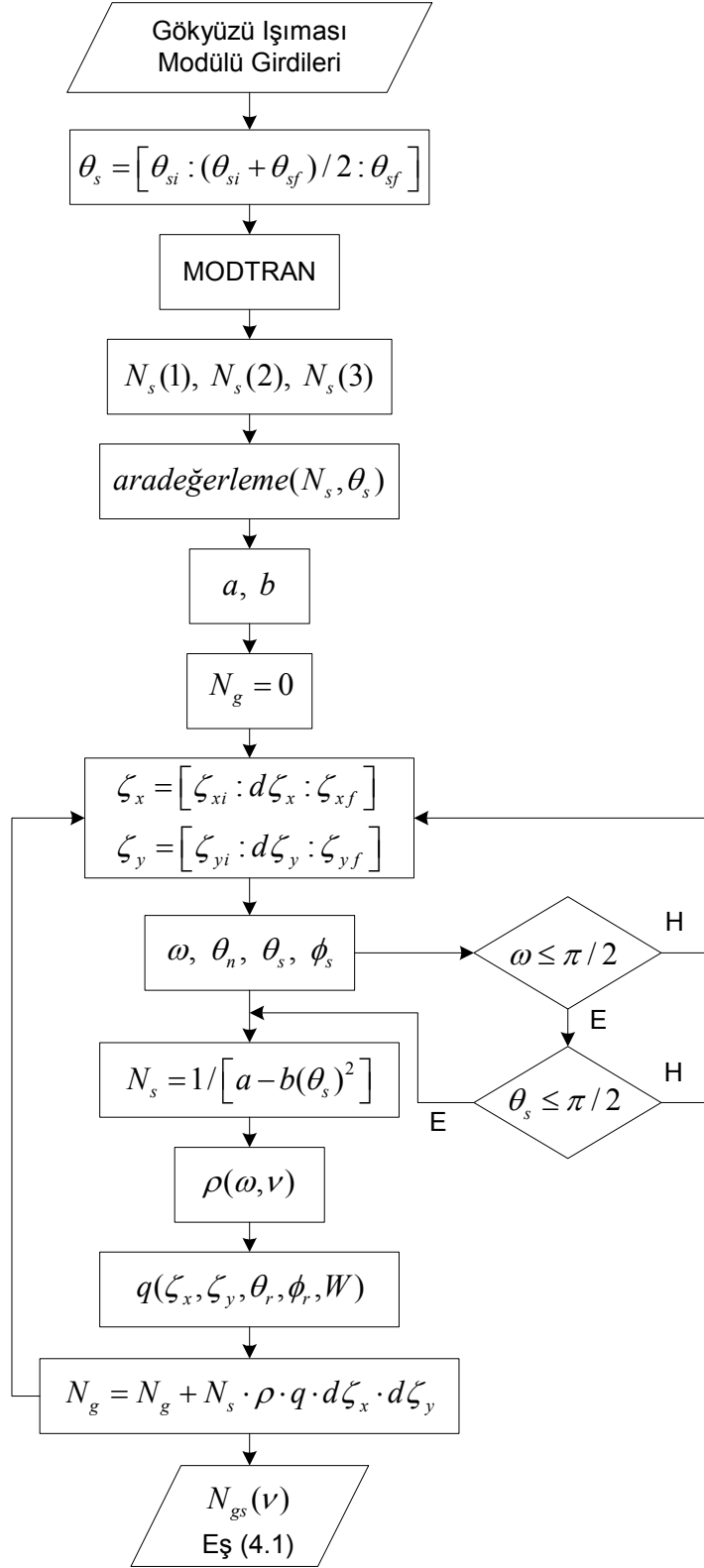


Şekil 5.4 : Kaynak Parametrelerinin Hesaplanması

5.3. Gökyüzü Işınması Modülü

Gökyüzü ışıması modülünün işleyişini anlatan akış şeması Şekil 5.5'te verilmektedir. Bu modülün girdileri gözlemcinin bulunduğu enlem, boylam ve yükseklik, gözlemcinin bakış eğim açısı ve bakış yönelim açısı, kaynak

parametreleri, dalgaboyu, anlık ve 24 saatlik ortalama rüzgar hızı ile rüzgar yönü, bulut – yağmur modeli, görüş uzaklığı, yağmur oranı, deniz yüzeyi modeli ve deniz suyu tuzluluk modelidir. Bu modülde ilk olarak üç tane gökyüzü ışıması geliş başucu açısına karşılık deniz yüzeyine gelen gökyüzü ışıması hesaplanır. Bu üç açı ve ışıma değerleri kullanılarak a ve b sabitleri elde edilmekte ve herhangi bir yönden gelen gökyüzü ışıması bu sabitlerin kullanıldığı aradeğerleme fonksiyonu ile hesaplanmaktadır [17]. Eğim sınırları eğim varyanslarına göre belirlenmektedir. Böylece $-\infty$ 'dan ∞ 'a alınması gereken integral verilen rüzgar hızına karşılık oluşma ihtimali olan eğimlerin sınırlarında alınmaktadır. Nümerik olarak hesaplanan integralin her bir adımına karşılık belirlenen eğimler için yansıyan gökyüzü ışıması başlığı altında verilen formüller kullanılarak ω , θ_n , θ_s , ϕ_s açıları hesaplanmaktadır. İntegral, yansıma açısının ve gelen gökyüzü ışımasının başucu açısının 90° 'den küçük olduğu durumlar için alınacağından bu açıların kontrolleri yapılmaktadır. Kuralı bozan durumlar için bir sonraki eğim adımına geçilmekte ve işleme devam edilmektedir. Her bir eğim adımı için gelen gökyüzü ışıması, yansıma katsayısı ve etkileşim olasılık yoğunluk fonksiyonunun değeri hesaplanmaktadır. Yansıma açısını ve gelen gökyüzü ışımasının başucu açısını 90° 'den küçük yapan her bir eğim adımı için gelen gökyüzü ışıması, yansıma katsayısı ve etkileşim olasılık yoğunluk fonksiyonunun değerlerinin çarpımı toplanmaktadır. Böylece verilen dalgaboyu için deniz yüzeyinden yansıyan gökyüzü ışıması hesaplanmaktadır. Bu modül kullanıcının belirlediği dalgaboyu bandı ve çözünürlüğüne göre her bir dalga boyu adımı için çağırılmakta ve her bir dalgaboyu adımı için yansıyan gökyüzü ışıması değeri elde edilmektedir.



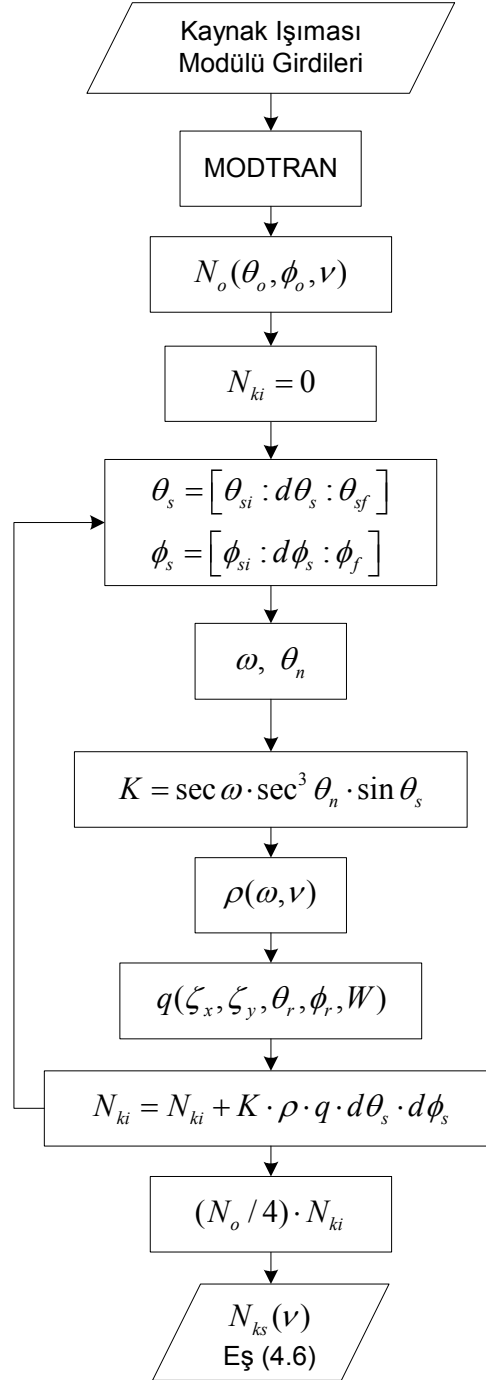
Şekil 5.5 : Gökyüzü Işıması Modülü Akış Şeması

5.4. Kaynak Işıması Modülü

Kaynak ışıması modülünün işleyişini anlatan akış şeması Şekil 5.6'da verilmektedir. Kaynak ışıması modülü girdileri gözlemcinin bulunduğu enlem, boylam ve yükseklik, gözlemcinin bakış eğim açısı ve bakış yönelim açısı, kaynak parametreleri, dalgaboyu, anlık ve 24 saatlik ortalama rüzgar hızı ile rüzgar yönü, bulut – yağmur modeli, görüş uzaklığı, yağmur oranı, deniz yüzeyi modeli ve deniz suyu tuzluluk modelidir. Bu modülde ilk olarak dalgaboyuna ve kaynağın geliş açılarına bağlı olarak deniz yüzeyine gelen kaynak ışıması hesaplanmaktadır. Kaynaktan gelen ışınların geliş açılarının üst ve alt limitleri hesaplanmaktadır ve integral bu açılar üzerinden ve bu limitler için alınmaktadır. Yansıyan kaynak ışıması başlığı altında verilen formüller kullanılarak deniz yüzeyine gelen kaynak ışımasını gözlemci yönünde yansıtabilecek yüzey parçacıklarının yüzey normalleri ve yansıma açısı hesaplanmaktadır. İntegral değişkenlerinin eğimlerden kaynak geliş açılarına çevirilmesi ile elde edilen $K = \sec \omega \cdot \sec^3 \theta_n \cdot \sin \theta_s$ katsayısı, yansıma katsayısı ve etkileşim olasılık yoğunluk fonksiyonunun değerlerinin çarpımı elde edilmekte ve her bir integral adımı için bu çarpım toplanmaktadır. Böylece aşağıdaki integral nümerik olarak hesaplanmaktadır.

$$N_{ki} = \iint \rho(\omega, \nu) \sec \omega \sec^3 \theta_n q(\zeta_x, \zeta_y) \sin \theta_s d\theta_s d\phi_s \quad (5.1)$$

Deniz yüzeyine gelen kaynak ışıması değişken değiştirme ile ortaya çıkan 1/4 katsayısı ile ve integralin sonucu ile çarpılmakta ve verilen dalgaboyuna karşılık deniz yüzeyinden yansıyan kaynak ışıması hesaplanmaktadır. Bu modül kullanıcının belirlediği dalgaboyu bandı ve çözünürlüğüne göre her bir dalga boyu adımı için çağırılmakta ve her bir dalgaboyu adımı için yansıyan kaynak ışıması değeri elde edilmektedir.



Şekil 5.6 : Kaynak Işıması Modülü Akış Şeması

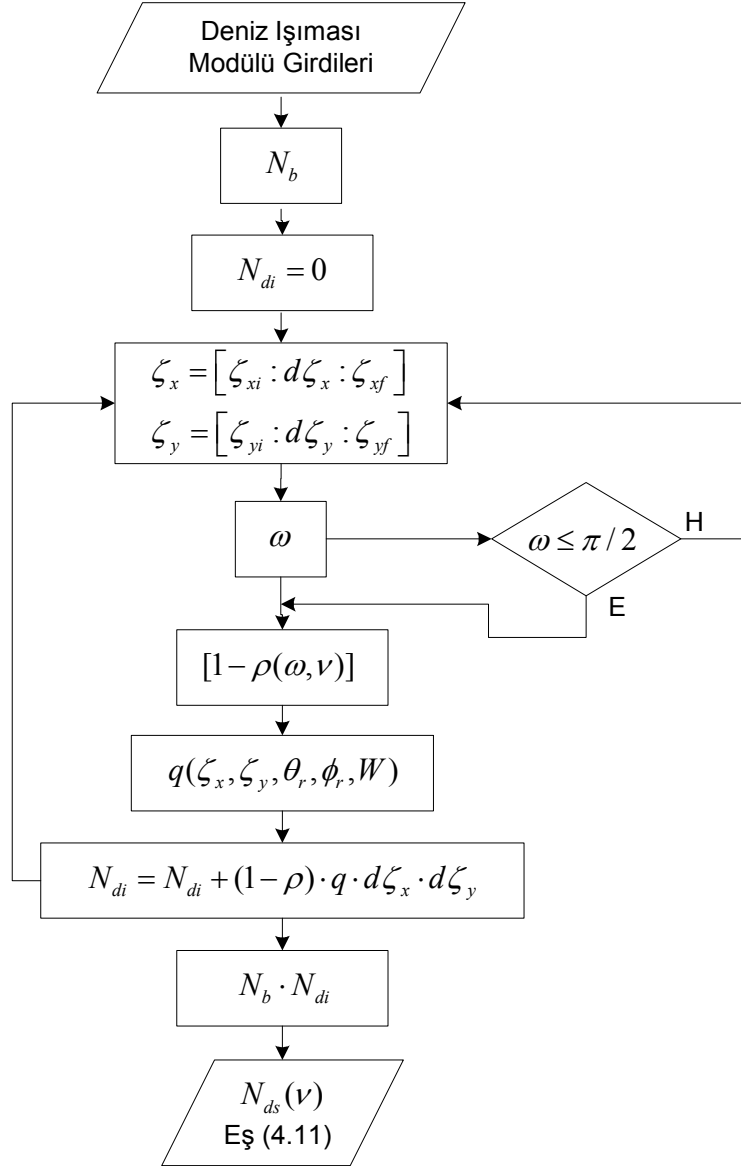
5.5. Deniz Işıması Modülü

Deniz ışıması modülünün işleyişini anlatan akış şeması Şekil 5.7’de verilmektedir. Deniz ışıması modülü girdileri gözlemcinin bulunduğu gözlemcinin bakış eğim açısı ve bakış yönelim açısı, deniz suyu sıcaklığı, dalgaboyu, anlık ve 24 saatlik ortalama rüzgar hızı ile rüzgar yönü, deniz yüzeyi modeli ve deniz suyu tuzluluk modelidir. Bu modülde ilk olarak deniz suyu sıcaklığındaki siyah cisimin verilen

dalgaboyundaki ışıması hesaplanmaktadır. Daha sonra eğimlerin alt ve üst sınırları belirlenmekte ve herbir eğim adımı için yansıma açısı hesaplanmaktadır. Yansıma açısı 90°'den büyük ise eğim bir adım arttırılır ve tekrar yansıma açısı hesaplanır. Yansıma açısı 90°'den büyük değil ise deniz suyunun verilen dalgaboyu için yayıcılık katsayısı ve etkileşim olasılık yoğunluk fonksiyonunun değerleri elde edilmekte ve çarpılmaktadır. Yansıma açısını 90°'den büyük yapmayan tüm eğim adımları için elde edilen çarpımlar toplanmaktadır. Böylece aşağıdaki integral nümerik olarak hesaplanmaktadır.

$$N_{di} = \iint [1 - \rho(\omega, \nu)] q(\zeta_x, \zeta_y) d\zeta_x d\zeta_y \quad (5.2)$$

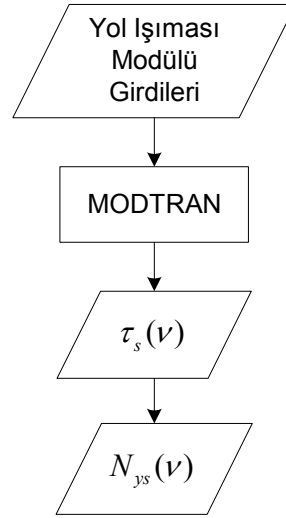
İntegralin önceden hesaplanmış olan siyah cisim ışıması değeriyle çarpılması sonucunda verilen dalgaboyuna karşılık denizden gözlemci yönünde yayılan ışıma elde edilmektedir. Bu modül kullanıcının belirlediği dalgaboyu bandı ve çözünürlüğüne göre her bir dalga boyu adımı için çağırılmakta ve her bir dalgaboyu adımı için termal deniz ışıması değeri elde edilmektedir.



Şekil 5.7 : Deniz Işıması Modülü Akış Şeması

5.6. Yol Işıması Modülü

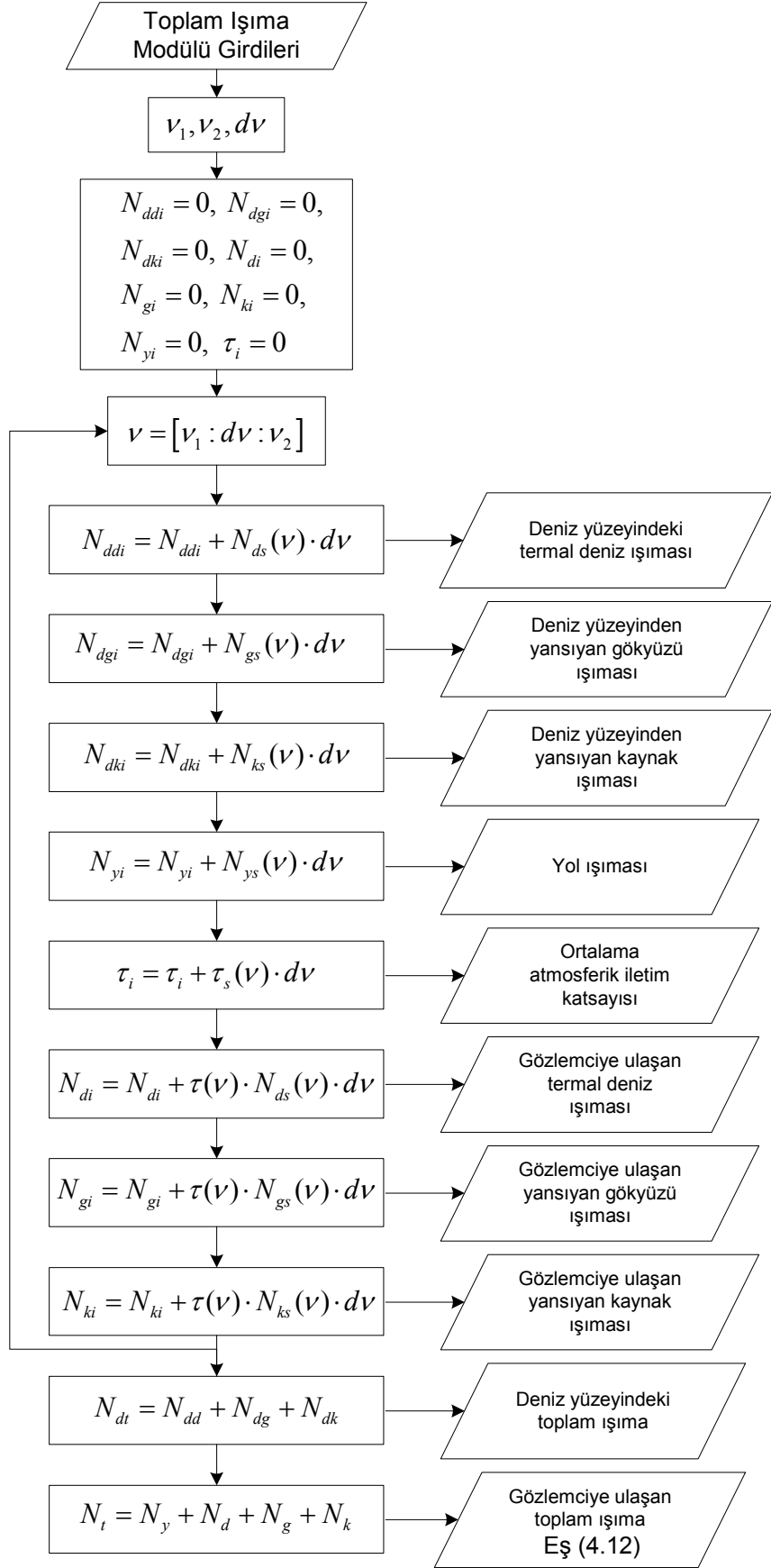
Yol ışıması modülünün işleyişini anlatan akış şeması Şekil 5.8’de verilmektedir. Yol ışıması modülü girdileri gözlemcinin bulunduğu enlem, boylam ve yükseklik, gözlemcinin bakış eğim açısı ve bakış yönelim açısı, kaynak parametreleri, dalgaboyu bandı ve çözünürlüğü, anlık ve 24 saatlik ortalama rüzgar hızı ile rüzgar yönü, bulut – yağmur modeli, görüş uzaklığı ve yağmur oranıdır. Verilen dalgaboyu bandı ve çözünürlüğüne bağlı olarak tüm dalgaboyu adımlarına karşılık iletim katsayısı ve yol ışıması değerleri bu modülün bir kere çalıştırılması ile elde edilmektedir.



Şekil 5.8 : Yol Işıması Modülü Akış Şeması

5.7. Toplam Işıma Modülü

Toplam ışıma modülünün işleyişini anlatan akış şeması Şekil 5.9'da verilmektedir. Bu modülde toplam ışıma ve bileşenleri hesaplanmaktadır. Toplam ışıma modülü girdileri dalgaboyu bandı alt ve üst sınırları ve dalgaboyu çözünürlüğü, her bir dalgaboyu adımına karşılık elde edilen termal deniz ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması, yansıyan kaynak ışıması, yol ışıması ve atmosferik iletim katsayısıdır. Modülde ilk olarak gökyüzü, kaynak ve deniz modüllerinin her bir dalgaboyu adımına karşılık verdiği çıktıları toplanmakta ve dalgaboyu adımıyla çarpılmaktadır. Böylece deniz yüzeyindeki her bir bileşenin dalgaboyu bandında integrali alınmaktadır. Gözlemciye ulaşan bileşenlerin hesaplanmasında ise her bir dalgaboyu adımı için elde edilen iletim katsayısı ile yansıyan gökyüzü ışıması, yansıyan kaynak ışıması ve termal deniz ışıması çarpılmaktadır. Her bir çarpımın dalgaboyu üzerinden nümerik olarak integrali alınmaktadır. Ayrıca dalgaboyu üzerinden integrali alınan yol ışıması da gözlemciye ulaşan toplam ışımanın bileşenlerinden biridir. Toplam ışıma ise yol ışıması, gözlemciye ulaşan yansıyan gökyüzü ışıması, gözlemciye ulaşan yansıyan kaynak ışıması ve gözlemciye ulaşan termal deniz ışımasının toplamı olarak hesaplanmaktadır. Böylece bu modülle yazılımın son çıktıları elde edilmektedir.



Şekil 5.9 : Toplam Işıma Modülü Akış Şeması

5.8. Çıktı Parametreleri

Yazılımda çıktı dosyasına yazdırılan ve arayüzde verilen çıktılar

- Deniz yüzeyindeki termal deniz ışıması (N_{dd}) (W/m²/sr)
- Deniz yüzeyinden yansıyan gökyüzü ışıması (N_{dg}) (W/m²/sr)
- Deniz yüzeyinden yansıyan kaynak ışıması (N_{dk}) (W/m²/sr)
- Deniz yüzeyindeki toplam ışıma (N_{dt}) (W/m²/sr)
- Gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması (N_d) (W/m²/sr)
- Gözlemciye ulaşan yansıyan gökyüzü ışıması (N_g) (W/m²/sr)
- Gözlemciye ulaşan yansıyan kaynak ışıması (N_k) (W/m²/sr)
- Yol ışıması (N_y) (W/m²/sr)
- Ortalama atmosferik iletim katsayısı (τ)
- Gözlemciye ulaşan toplam ışıma N_t (W/m²/sr)'dır.

5.8.1. Çıktı parametrelerinin dosyadan okunması

Çıktı dosyası 'tciktilar' ismiyle oluşturulmaktadır. Bir örneği Şekil 5.10'da verilen dosyada çıktı parametrelerinin adı ve birimi alt satırlarında ise değeri bulunmaktadır.

ORNEK GIRDİ VE ÇIKTI DOSYALARI

Gozlemcinin Enlemi: 36°
Gozlemcinin Boylami: 31°
Gozlemcinin Yuksekligi: 100m
Gozlemcinin Bakis Egim Acisi: 10°
Gozlemcinin Bakis Yonelim Acisi: 180°
Ruzgar Yonu: 180°
Deniz Yuzeyi Modeli Secimi: Cox ve Munk Temiz Deniz Yuzeyi Modeli
Ruzgar Hizi: 14m/s
24 Saat Ortalama Ruzgar Hizi: 14m/s
Deniz Suyu Sicakligi: 14°C
Deniz Suyu Tuzluluk Modeli Secimi: 5. model
Bulut - Yagmur Modeli Secimi: 0. model
Gorus Uzakligi: Okm
Yagmur Orani: 0mm/sa
Dalga Boyu Bandi: 1 µm - 3µm
Tarih: 2006 / 6 / 21
Yerel Saat: 10 : 0
Greenwich ile Saat Farki:: 2

Deniz yuzeyindeki termal deniz isimasi ($W/m^2/sr$):
0.00943751
Deniz yuzeyinden yansiyan gokyuzu isimasi ($W/m^2/sr$):
0.0832351
Deniz yuzeyinden yansiyan kaynak isimasi ($W/m^2/sr$):
1.65367
Deniz yuzeyindeki toplam isima ($W/m^2/sr$):
1.74635
Gozlemciye ulasan termal deniz isimasi ($W/m^2/sr$):
0.00568673
Gozlemciye ulasan yansiyan gokyuzu isimasi ($W/m^2/sr$):
0.081222
Gozlemciye ulasan yansiyan kaynak isimasi ($W/m^2/sr$):
1.61341
Yol isimasi ($W/m^2/sr$)
0.208297
Ortalama atmosfer iletim katsayisi:
0.81826
Gozlemciye ulasan toplam isima ($W/m^2/sr$):
1.90862

Şekil 5.10: Çıktı Dosyası Örneği

5.8.2. Çıktı parametrelerinin arayüzden okunması

Program kullanıcı arayüzü ile çalıştırıldığında çıktı değerleri arayüzden okunabilmektedir. Bu çalışmada hazırlanan çıktı arayüzü Şekil 5.11’de verilmektedir.

The screenshot shows a software window titled 'ciktilar'. It contains two main sections: 'Deniz Yüzeyindeki Isima Bilesenleri' and 'Gözlemciye Ulasan Isima Bilesenleri'. Each section has a table of parameters and their values. At the bottom, there is a 'Gozlemciye Ulasan Toplam Isima (W/m²/sr)' section and a 'CIKIS' button.

Deniz Yüzeyindeki Isima Bilesenleri	
Deniz Yüzeyindeki Termal Deniz Isimasi (W/m²/sr)	0.00943751
Deniz Yüzeyinden Yansiyan Gökyüzü Isimasi (W/m²/sr)	0.0832351
Deniz Yüzeyinden Yansiyan Kaynak Isimasi (W/m²/sr)	1.65367
Deniz Yüzeyindeki Toplam Isima (W/m²/sr)	1.74635

Gözlemciye Ulasan Isima Bilesenleri	
Gözlemciye Ulasan Termal Deniz Isimasi (W/m²/sr)	0.00568673
Gözlemciye Ulasan Yansiyan Gökyüzü Isimasi (W/m²/sr)	0.081222
Gözlemciye Ulasan Yansiyan Kaynak Isimasi (W/m²/sr)	1.61341
Yol Isimasi (W/m²/sr)	0.208297
Ortalama Atmosfer Iletim Katsayisi	0.81826

Gozlemciye Ulasan Toplam Isima (W/m²/sr)	
	1.90862

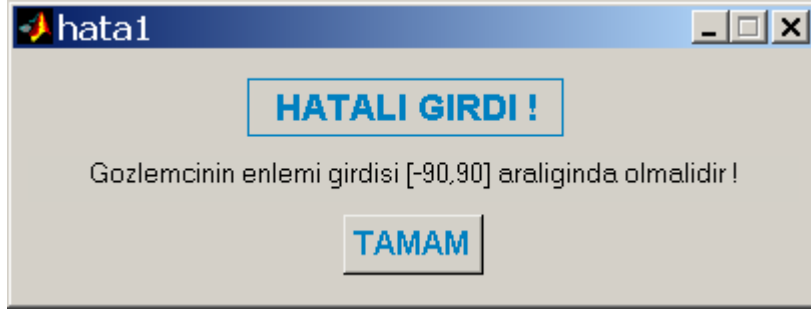
CIKIS

Şekil 5.11 : Arayüz Çıktı Penceresi Örneği

Arayüz çıktı penceresinde çıktı parametrelerin değerleri karşılarındaki kutulara yazdırılmaktadır. Çıktı parametreleri ile ilgili açıklamalar farenin parametre adının üzerine getirilmesiyle görünür hale gelen bantlarda verilmektedir.

5.9. Arayüzde Kullanıcıyı Yönlendiren Pencereleler

Bu çalışmada hazırlanan arayüzde kullanıcıyı yönlendiren pencereler bulunmaktadır. 'HATALI GİRDİ' pencerelerine bir örnek Şekil 5.12'de gösterilmektedir.



Şekil 5.12 : Arayüz Hata Penceresi Örneği

'HATALI GİRDİ' uyarı pencereleri kullanıcıya girdi parametrelerini uygun format ve aralıkta girebilmesi konusunda kolaylık sağlamak ve böylece programın doğru bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

5.10. Yazılımın SEARAD Yazılımı ile Karşılaştırılması

SEARAD deniz yüzeyinden yansıyan ışımları hesaplayan ve MODTRAN yazılımına eklemeler yapılarak oluşturulan bir yazılımdır. SEARAD [17] yazılımı ile ilgili bilgiler EK 3'te verilmektedir. Bu tez kapsamında geliştirilen DAMA yazılımı ile SEARAD yazılımının karşılaştırması Şekil 5.7'de yapılmaktadır.

Çizelge 5.8: SEARAD ile Tez Kapsamında DAMA Yazılımının Karşılaştırması

KARŞILAŞTIRMA KONUSU	SEARAD	DAMA
Kullanılan MODTRAN Versiyonu	SEARAD yazılımı MODTRAN v2 versiyonunun içine eklemeler yapılarak oluşturulmuştur.	Yazılım MODTRAN v4 versiyonunu dışardan çağırarak kullanmaktadır. MODTRAN yazılımı dışarıdan çağırılarak kullanıldığı için yeni MODTRAN versiyonları ya da atmosfer ışıması hesaplayan alternatif yazılımlar bu yazılıma adapte edilebilmektedir.
Yazılım Ortamı	FORTRAN	MATLAB
Arayüz	Arayüzü yok.	Kullanıcıya uyarı ve önerilerde bulunan arayüz içermektedir. Kullanıcı hatalı girdi yaptığında hatanın ne olduğu belirtilmektedir.
İstatistiksel Deniz Yüzeyi Modelleri	Sadece Cox ve Munk Temiz Deniz Yüzeyi İstatistiksel Modelini içermektedir.	Yazılımda tüm deniz yüzeyi istatistiksel modelleri içermektedir.
Deniz Tuzluluk Seçimi	Sadece Büyük Okyanus yansıma katsayısı ölçüm değerlerini içermektedir.	Literatürde bulunan KÖ dalgaboyu bandında yansıma katsayısı ölçümleri yapılmış değişik tuzluluğa sahip tüm ortamlar yazılımda kapsanmıştır. Ayrıca kullanıcının kendi ölçüm değerlerini girebilme imkanı bulunmaktadır.
Otomatik Girdi Ataması	Yalnızca girilen gözlemci konumuna ve zamana göre güneşin geliş açıları otomatik hesaplanmaktadır.	Girilen gözlemci konumu ve zamana bağlı olarak kaynağın güneş mi ay mı olduğu ve kaynağın açıları otomatik olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca atmosfer modeli seçimi de otomatik atanmaktadır.
Girdi ve Çıktı Dosyaları	Yazılım girdilerini 'tape5' isimli dosyadan okuyup çıktılarını 'OUT' dosyasına yazdırmaktadır. Girdi dosyası kullanıcı açısından oldukça karışık bir formattadır.	Yazılımda girdiler hem arayüzden hem de dosyadan okunabilmektedir. Çıktılar da hem arayüze hem de çıktı dosyasına yazdırılmaktadır. Girdi ve çıktı dosyaları sadedir.

Çizelge 5.8’de verilenlere ek olarak DAMA yazılımı özgündür ve modüller halinde yazılmıştır. Yazılımın parçaları ilgili amaç doğrultusunda değiştirilebilmekte ve geliştirilebilmektedir. DAMA’nın çıktıları SEARAD yazılımının çıktıları ile tutarlıdır.

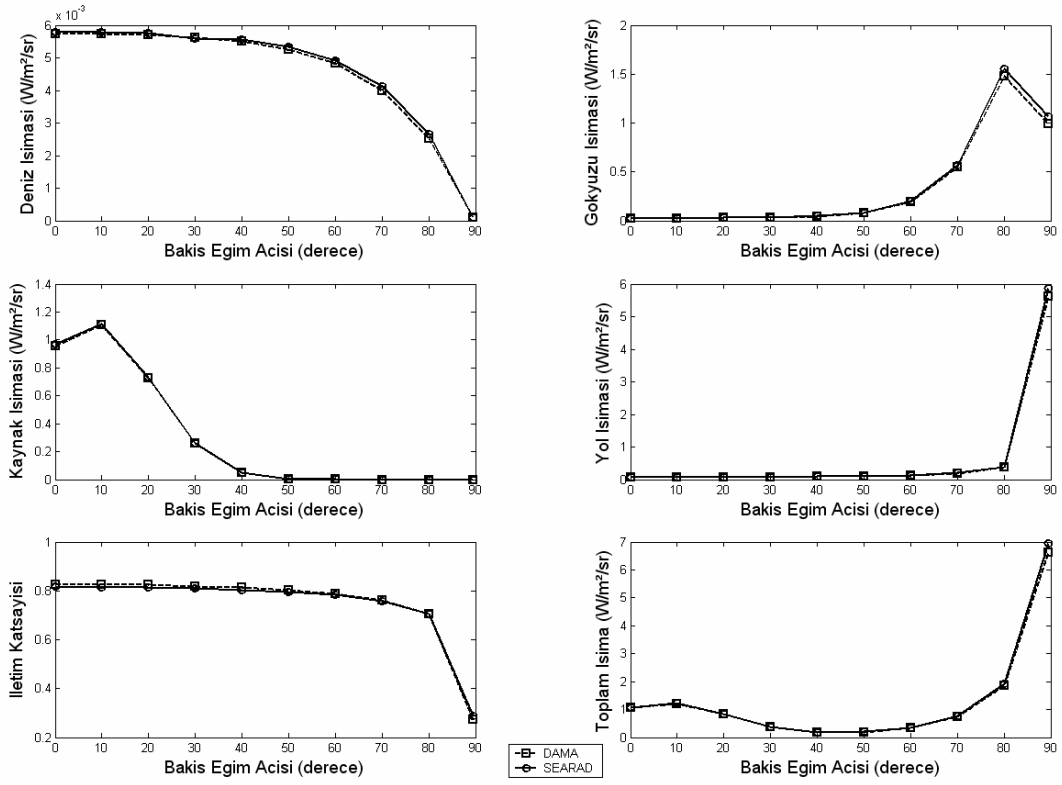
5.11. DAMA Yazılımının SEARAD Yazılımıyla Geçerlenmesi

Geliştirilen yazılım SEARAD yazılımıyla ortak girdi parametreleri ile koşturulduğunda ve ortak çıktı parametrelerinin değerleri karşılaştırıldığında tutarlı sonuçlar elde edilmektedir. Bu bölümde örnek olarak her iki yazılım kullanılarak ortak girdilerle elde edilen bakış eğim açısı değişimine karşılık gözlemciye gelen toplam ışıma ve bileşenleri çıktılarının karşılaştırması yapılmaktadır.

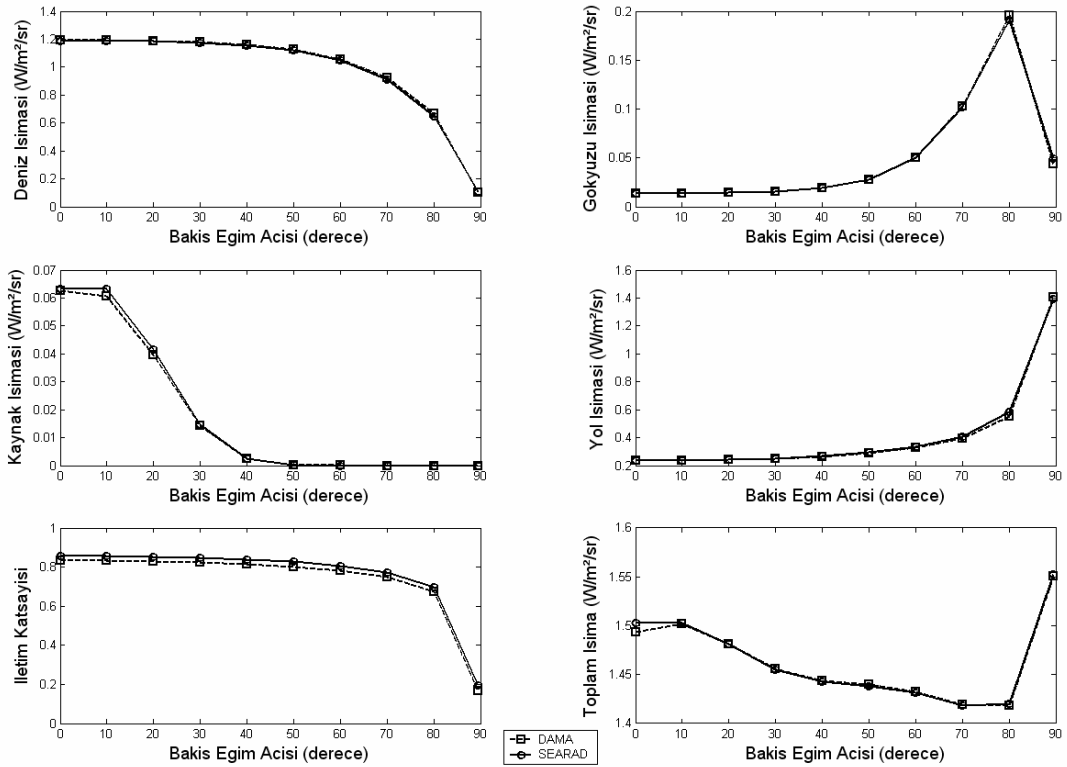
DAMA ve SEARAD yazılımları Akdeniz’de (36°K, 31°D), 21.06.2006 tarihinde, yerel saat ile 10:00’da, 24 saatlik ortalama ve anlık rüzgar hızı 5 m/s, rüzgar yönü 180°, bulutsuz ve açık havada, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, Cox ve Munk temiz deniz yüzeyi modeliyle, dalgaboyu aralığı 1-3 µm, 3-5 µm ve 8-12 µm iken gözlemci bakış eğim açısı 0°’den 89.5°’ye artarken koşturuldu. Verilen senaryo şartları altında, yerel koordinatlarda gözlemcinin deniz yüzeyinde gördüğü noktaya gelen güneş başucu açısı 29°, yanca açısı 286° olarak hesaplanmaktadır. Bakış eğim açısı 90°’ye kadar artırılmama sebebi 90°’de gözlemcinin tam karşıya bakması ve deniz yüzeyini görememesidir. Benzetim çıktılarındaki ışıma değişimleri üzerindeki değerlendirmeler yazılımın çıktılarının değerlendirildiği bölümde detayları ile verilmektedir.

Her iki yazılım ile ortak girdilere karşılık elde edilen toplam ışıma ve bileşenlerinin bakış eğim açısına göre değişimlerini veren, çıktıların üst üste çizdirildiği benzetim sonuçlarında aynı senaryo şartları altında DAMA yazılımının çıktılarının, SEARAD yazılımının çıktıları ile tutarlı olduğu görülmektedir.

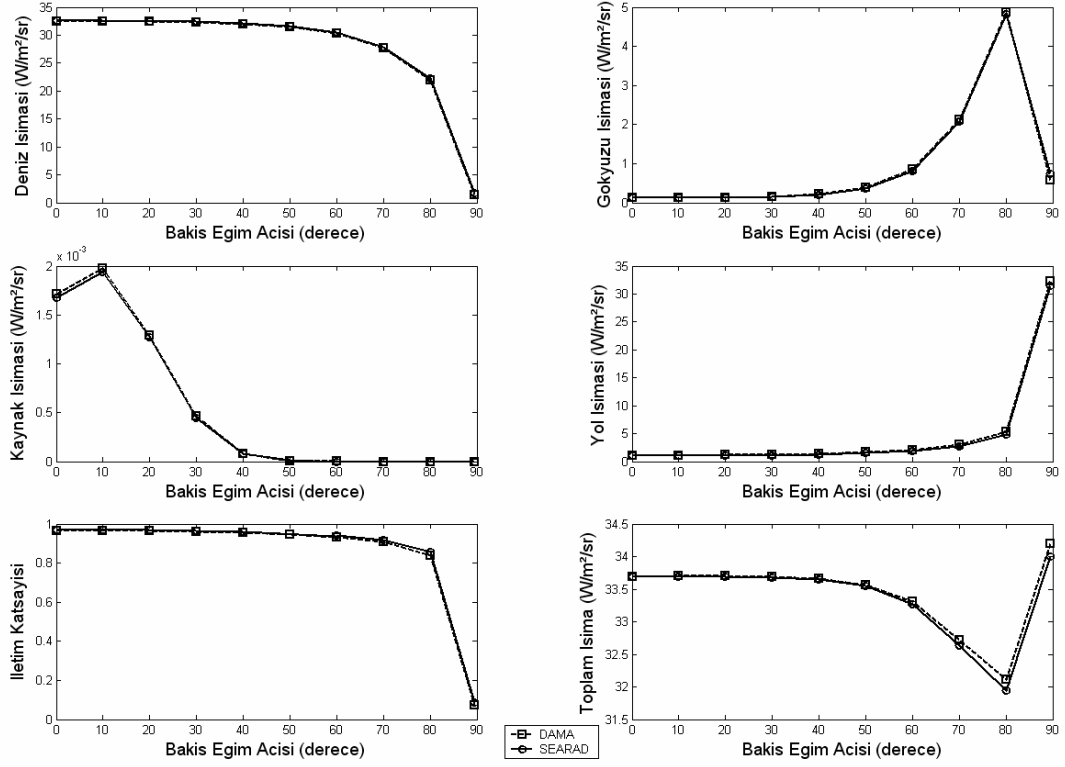
Bakış eğim açısı 0°’den 89.5°’ye değişirken toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışını 1-3 µm, 3-5 µm ve 8-12 µm bandında gösteren sonuçlar sırasıyla Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’te verilmektedir.



Şekil 5.13 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-89.5°



Şekil 5.14 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-89.5°



Şekil 5.15 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-89.5°

Bu bölümde bu tez çalışması kapsamında geliştirilmiş olan deniz arka plan ortamında kızılötesi bandta gözlemciye gelen toplam ışıma ve bileşenlerini hesaplamak amacıyla DAMA yazılımının detayları aktarılmıştır. Tezin altıncı bölümünde ise DAMA benzetim yazılımının çıktıları grafikler üzerinden değerlendirilmekte ve yorumlanmaktadır.

6. DAMA YAZILIMININ ÇIKTILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez kapsamında literatürde ilk defa etkin girdi parametrelerinin değişimine karşılık deniz arka plan ortamındaki kızılötesi ışımların davranışları incelenmekte ve yorumlanmaktadır. Gözlemcinin yüksekliğinin, bakış eğim ve yönelim açılarının, dalgaboyu bandının, rüzgar hızı ve yönünün, tarih ve saatin, deniz suyu sıcaklığının, bulut ve yağmur modellerinin, deniz yüzeyi istatistiksel modellerinin, deniz suyu tuzluluk modellerinin değişimlerinin toplam ışıma ve bileşenleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla yazılım yaklaşık 10.000 farklı senaryo ile koşturulmuştur. Bu bölümde bu yazılımla modellenen, güneşin doğmasından hemen sonra ve batmasından hemen önce deniz yüzeyinde gözlenen güneş pırıltısı yolunun özellikleri de incelenmektedir. Ayrıca yazılımın çıktıları Schwenger ve Repasi'nin çalışmalarında [10] verilen ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmaktadır.

6.1. Yazılımın Çıktılarının Yorumlanması

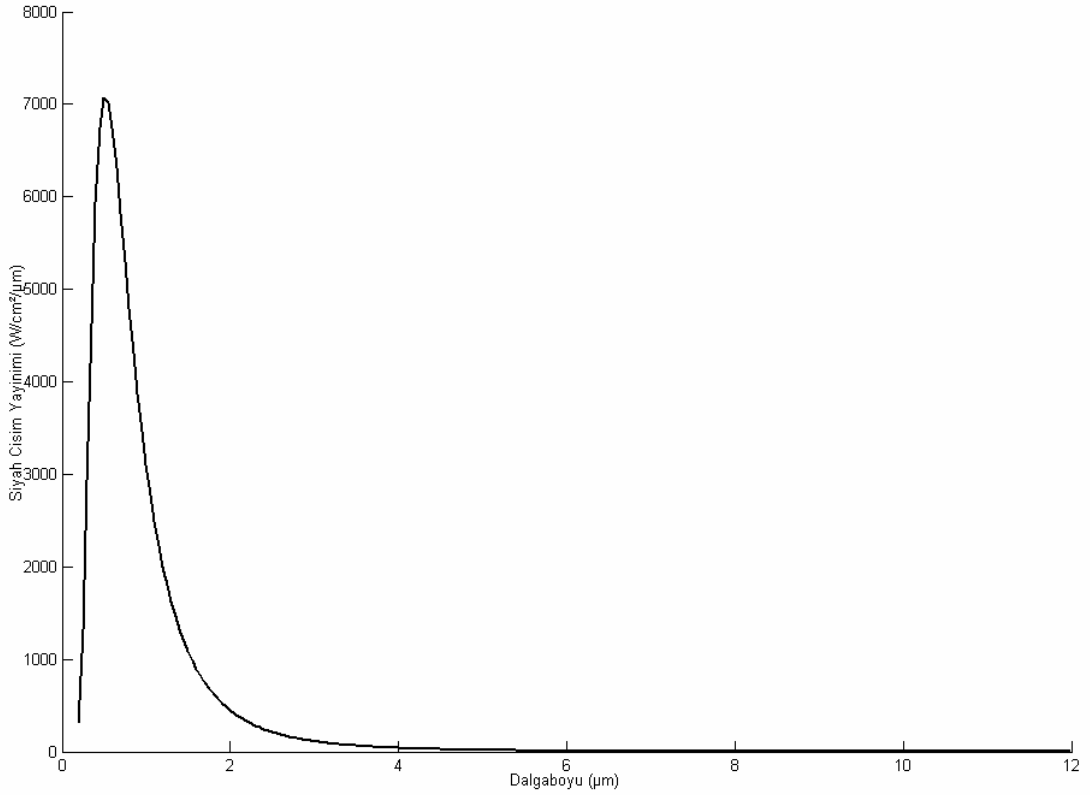
Bu bölümde etkin girdi parametrelerinin değişimine karşılık elde edilen toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışları üzerinde yapılan yorum açıklama ve değerlendirmeler sunulmaktadır. Verilen benzetim çıktıları, gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması, gözlemciye ulaşan yansıyan gökyüzü ışıması, gözlemciye ulaşan yansıyan kaynak ışıması, yol ışıması, atmosferik iletim katsayısı ve gözlemciye ulaşan toplam arka plan ışımasını içermektedir.

6.1.1. Dalgaboyu bandının toplam ışıma ve bileşenleri üzerindeki etkileri

Kızılötesi bantta ışıma temel olarak sıcaklığa ve dalgaboyu bandına bağlıdır. Dalgaboyu bandı seçiminin toplam ışıma ve bileşenleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi, diğer etkin girdi parametrelerinin değişimine karşılık elde edilen ışımların yorumlanmasında önemlidir. Bu tez kapsamında analizler kızılötesi bandın temel bantları olan 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bantlarında yapılmaktadır.

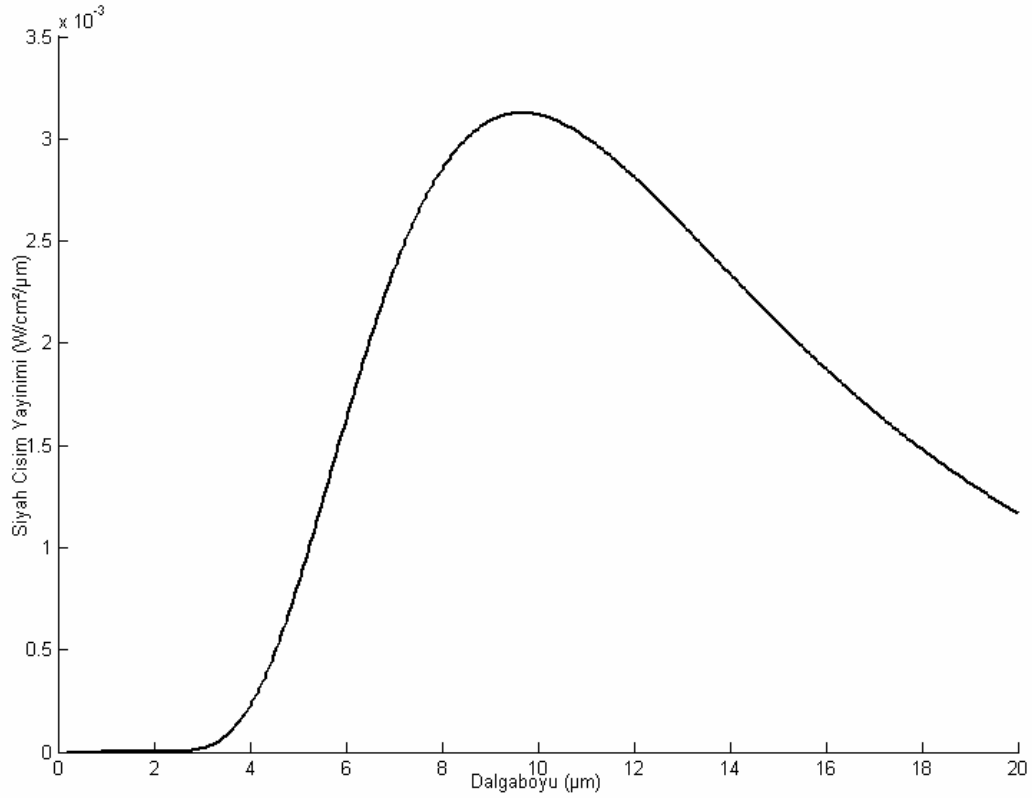
Güneş ışıması yayınımlı yaklaşık olarak 5900°K sıcaklığındaki bir siyah cisim yayınımlı olarak modellenmektedir. Bu sıcaklıktaki siyah cisim yayınımlı grafiği Şekil 6.1'de verilmektedir. Planck Kanunu kullanılarak bu sıcaklıktaki siyah cisim

yayınımı tüm kızılötesi spektrumunda hesaplandığında ya da ölçüm sonuçlarından faydalanılarak elde edilen grafikler incelendiğinde güneş ışımalarının yaklaşık olarak 0.2 – 2.8 μm bandında etkin olduğu görülmektedir. Bu nedenle güneş ışması bileşeninin analiz kapsamında incelenen bantlardan 1-3 μm bandında daha baskın olması beklenmektedir. Bu banttaki yol ışması ve deniz yüzeyine gelen atmosfer ışması, güneş ışınlarının atmosfer parçacıklarına çarparak saçılmasından kaynaklanmaktadır. Bu bantta atmosfer parçacıklarının kendi sıcaklıklarından dolayı yaydıkları kızılötesi ışımlar etkisiz olmaktadır.



Şekil 6.1: Güneş Işması Yayınımı

Denizin ve atmosfer parçacıklarının kendi sıcaklıklarından kaynaklanarak yayılan kızılötesi ışımlar 8-12 μm bandında daha etkin olmaktadır. Yaklaşık olarak 0 $^{\circ}\text{C}$ - 50 $^{\circ}\text{C}$ arasında bir sıcaklığa sahip olan siyah cismin kızılötesi banttaki yayılımı bu tez kapsamında analiz edilen bantlardan 8-12 μm bandında daha yüksek ışıma değerleri vermektedir. 300 $^{\circ}\text{K}$ sıcaklığında siyah cisim yayılımı grafiği Şekil 6.2’de verilmektedir ve 8-12 μm bandının altındaki alan en fazla olmaktadır. Buna karşılık bu bantta güneş kaynaklı ışımlar etkisizdir.



Şekil 6.2: 300°K Sıcaklığında Siyah Cisim Yayınlımı

3-5 μm bandında ise denizin ve atmosfer parçacıklarının kendi sıcaklıklarından kaynaklanan ışımlar etkin olmakla birlikte bu ışımlar 8-12 μm bandında olduğu kadar yüksek değerlere ulaşmamaktadır. Bu bandta güneş kaynaklı ışımların etkileri 1-3 μm bandına göre oldukça düşük seviyede olmaktadır.

Bu bölümde dalgaboyu bantları için ifade edilen özellikler tezin daha sonraki bölümlerinde sunulan analizlerde gözlenmektedir.

6.1.2. Bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri

DAMA yazılımı, gözlemci Akdeniz'de (36°K, 31°D), 21.06.2006 tarihinde, yerel saat ile saat 10:00'da, 24 saatlik ortalama ve anlık rüzgar hızı 5 m/s, rüzgar yönü 180°, bulutsuz ve açık havada, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, deniz yüzeyi modeli 1, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken gözlemci bakış eğim açısı 0°'den 89.5°'ye artarken koşturuldu. Verilen senaryo şartları altında, yerel kordinatlarda gözlemcinin deniz yüzeyinde gördüğü noktaya gelen güneş başucu açısı 29°, yanca açısı 286° olarak hesaplanmaktadır. Bakış eğim açısı 90°'ye kadar

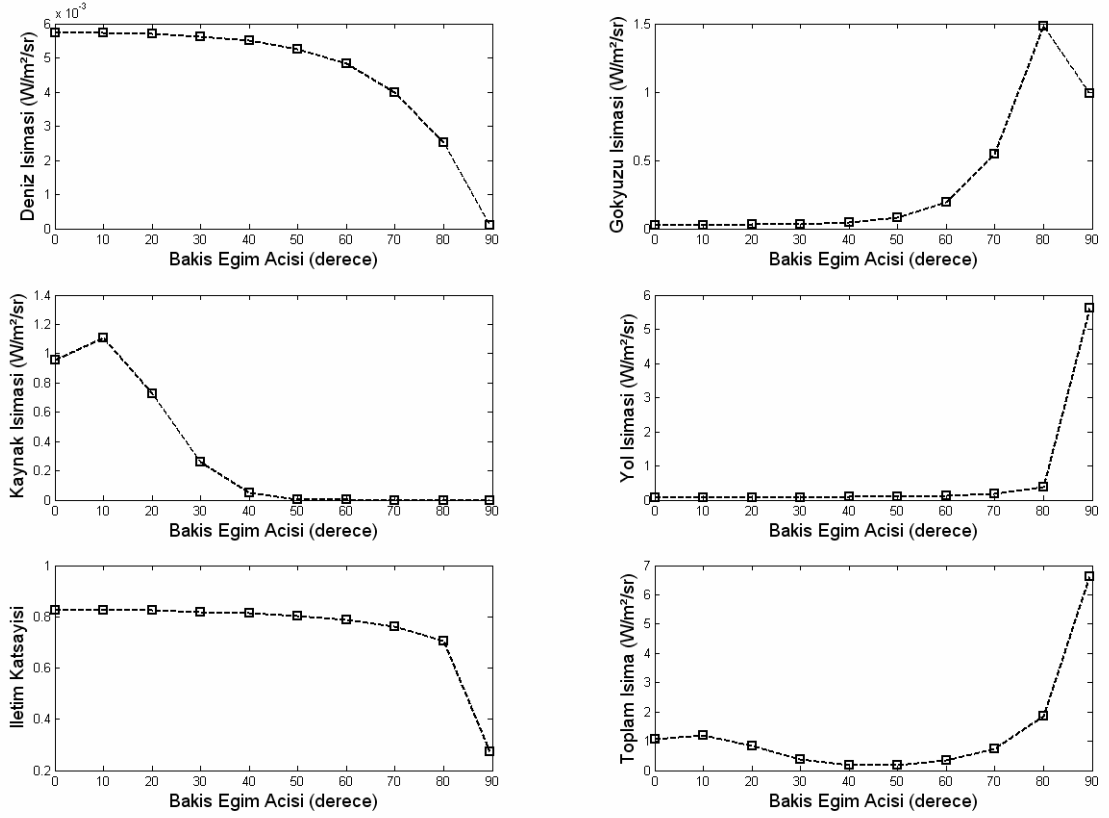
artırılamama sebebi 90° 'de gözlemcinin tam karşıya bakması ve deniz yüzeyini görememesidir.

Gözlemci bakış eğim açısının 80° üzerine çıkmasıyla gözlemcinin gördüğü yol yataya yakın hale gelmekte ve yol uzunluğu oldukça çok artmakta ve böylece toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışlarında farklı değişimler meydana gelmektedir. Bu nedenle anlamlı bir değerlendirme yapılması için bakış eğim açısı değişiminin etkileri 0° - 80° ile 80° - 89.5° olmak üzere iki aralıkta incelenmektedir.

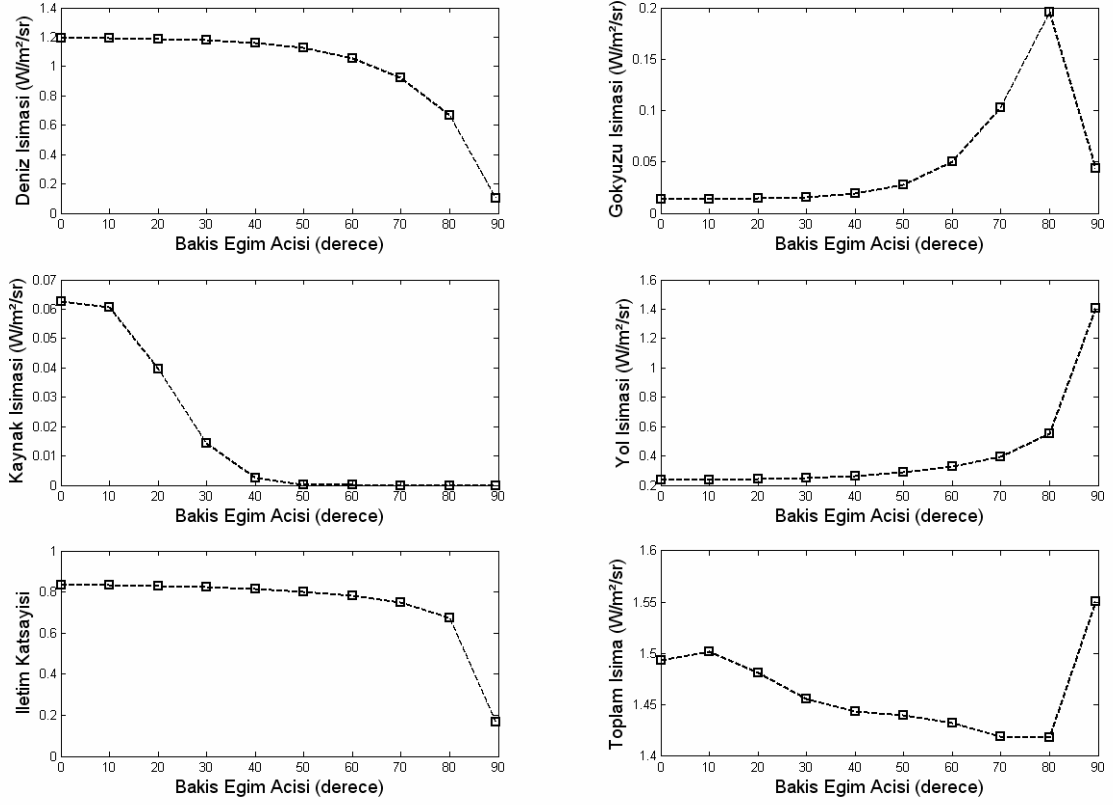
Belirtilen senaryo şartları altında, gözlemcinin bakış eğim açısı 0° 'den 80° 'ye değişirken, 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bandında elde edilen benzetim çıktıları sırasıyla Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te verilmektedir.

Gözlemci bakış eğim açısı 0° 'den 80° 'ye artarken gözlemcinin gördüğü yol uzamaktadır bu nedenle her üç dalgaboyu bandında da yol ışıması artmakta ve atmosferik iletim katsayısı azalmaktadır. Gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması atmosferik iletim katsayısına bağlıdır. Bu nedenle bakış eğim açısının artması ile gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması azalmaktadır. Gözlemciye ulaşan termal deniz ışımasındaki azalmanın bir diğer sebebi de verilen rüzgar hızı koşullarında gözlemcinin bakış eğim açısının artması ile gözlemci yönünde termal ışımayı yönlendirebilecek eğimlerin oluşma olasılığının azalmasıdır. Yansıyan güneş ışıması güneşin geliş açısına bağlı olarak önce artmakta sonra azalmaktadır. Güneşin geliş başucu açısı yaklaşık 30° olduğundan verilen rüzgar hızı şartlarında gözlemcinin bakış eğim açısı 0° ile 40° arasında iken yansıyan güneş ışıması daha yüksek değerler vermektedir. Gözlemcinin bakış eğim açısının 40° nin üzerine çıkması ile, gelen güneş ışımasını bu yönde yansıtabilecek eğimlere sahip yüzey parçacıklarının oluşma olasılığı çok az olduğundan, bu bakış eğim açılarına karşılık yansıyan güneş ışıması etkisiz kalmaktadır. Gökyüzü ışıması deniz yüzeyine her yönden ulaşmaktadır. Bu nedenle gözlemci bakış eğim açısı ne kadar artarsa artsın, uygun açı ile deniz yüzeyine gelen gökyüzü ışımasını gözlemci yönünde yansıtabilecek eğimler oluşabilmektedir. Verilen senaryo şartları altında bakış eğim açısının artması ile yansıyan ve gözlemciye ulaşan gökyüzü ışıması artmaktadır. Gözlemciye ulaşan gökyüzü ışıması atmosferik iletim katsayısı ile orantılı olduğundan, iletim katsayısındaki azalış, 89.5° bakış eğim açısında gözlemciye ulaşan bu ışımanın değerinin hızla düşmesine sebep

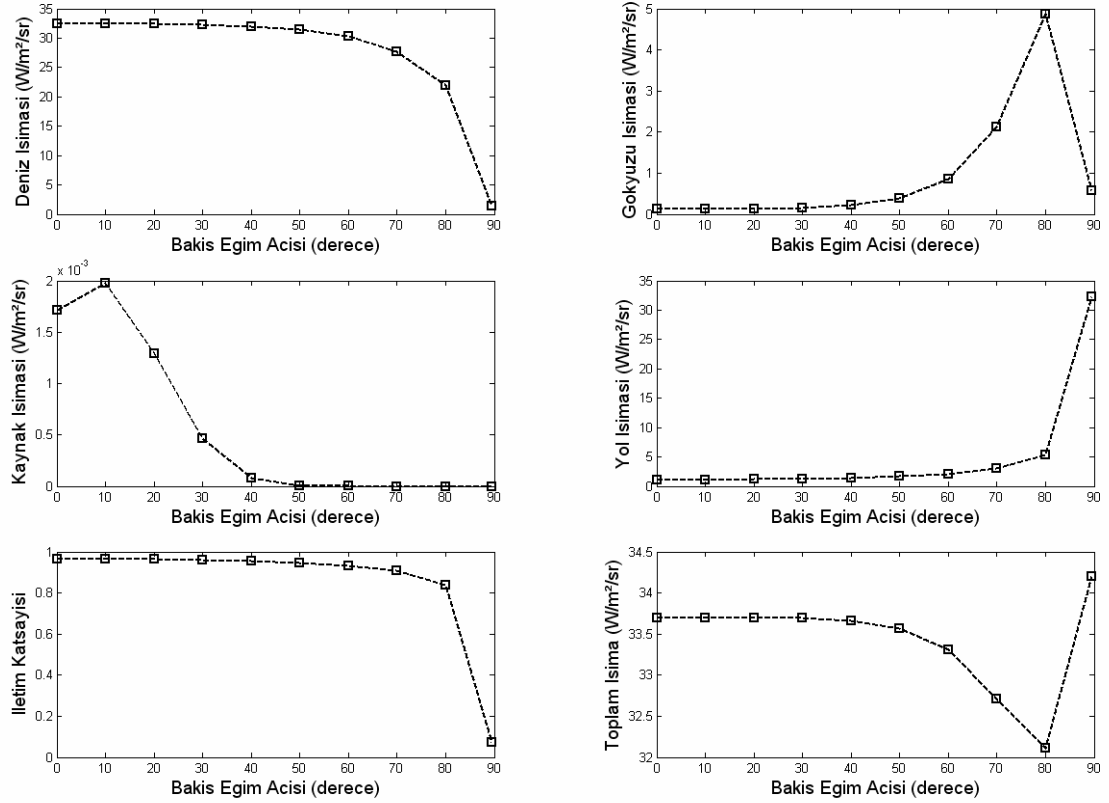
olmaktadır. Verilen üç dalgaboyu bandının herbirinde baskın olan bileşenler farklılık gösterdiğinden, toplam ışıma için her üç dalgaboyu bandını da kapsayan genel değerlendirmeler yapmak yerine herbir bileşen kendi içinde değerlendirilmektedir.



Şekil 6.3 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-89.5°



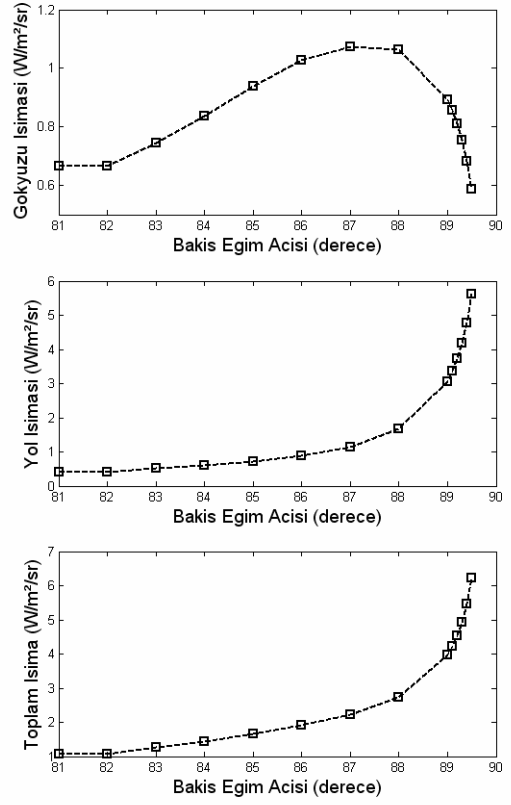
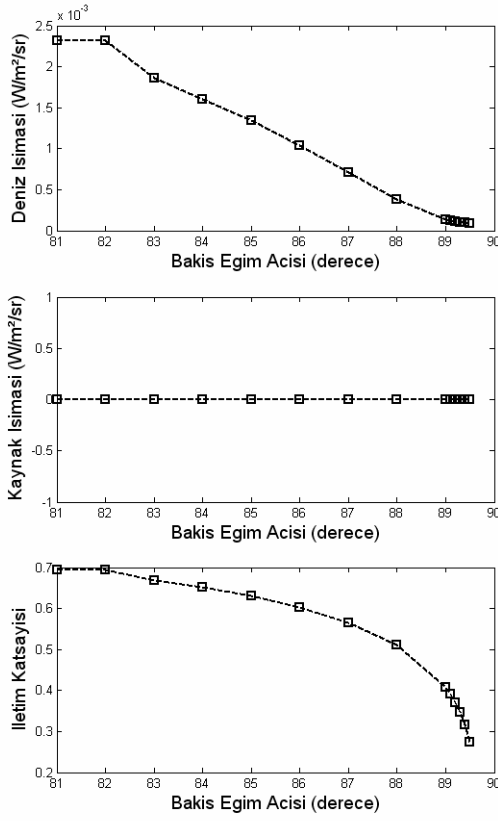
Şekil 6.4 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-89.5°



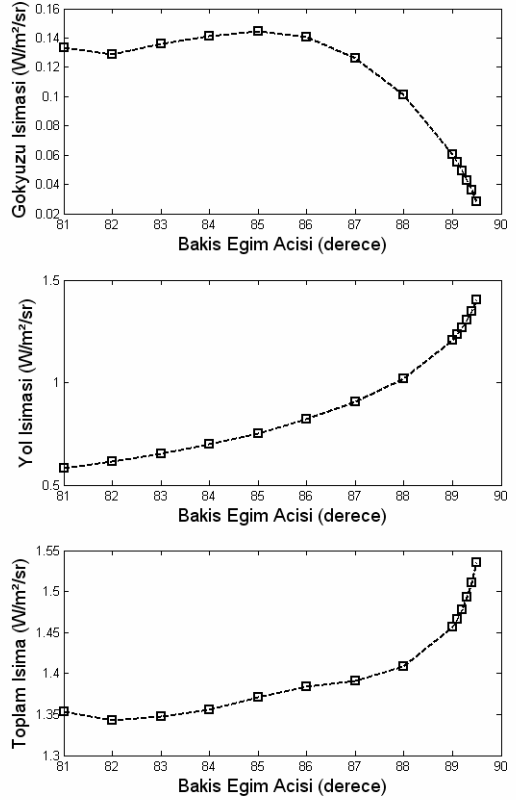
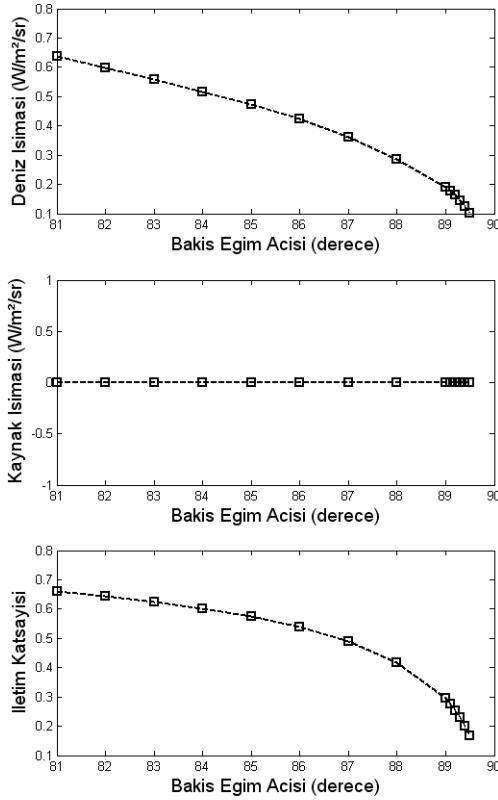
Şekil 6.5 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-89.5°

Bakış eğim açısının 0° 'den 89.5° 'ye değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri benzetim çıktılarında 80° 'den sonra grafiklerde büyük değişimler gözlenmektedir. Bu nedenle bakış eğim açısının 80° ile 89.5° arasındaki değişimlerini daha detaylı inceleyebilmek amacıyla yazılım 89° 'ye kadar 1° adımlarla, 89° 'den sonra 0.1° adımlarla koşturulmuştur. 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bandı için elde edilen benzetim çıktıları sırasıyla Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de verilmektedir.

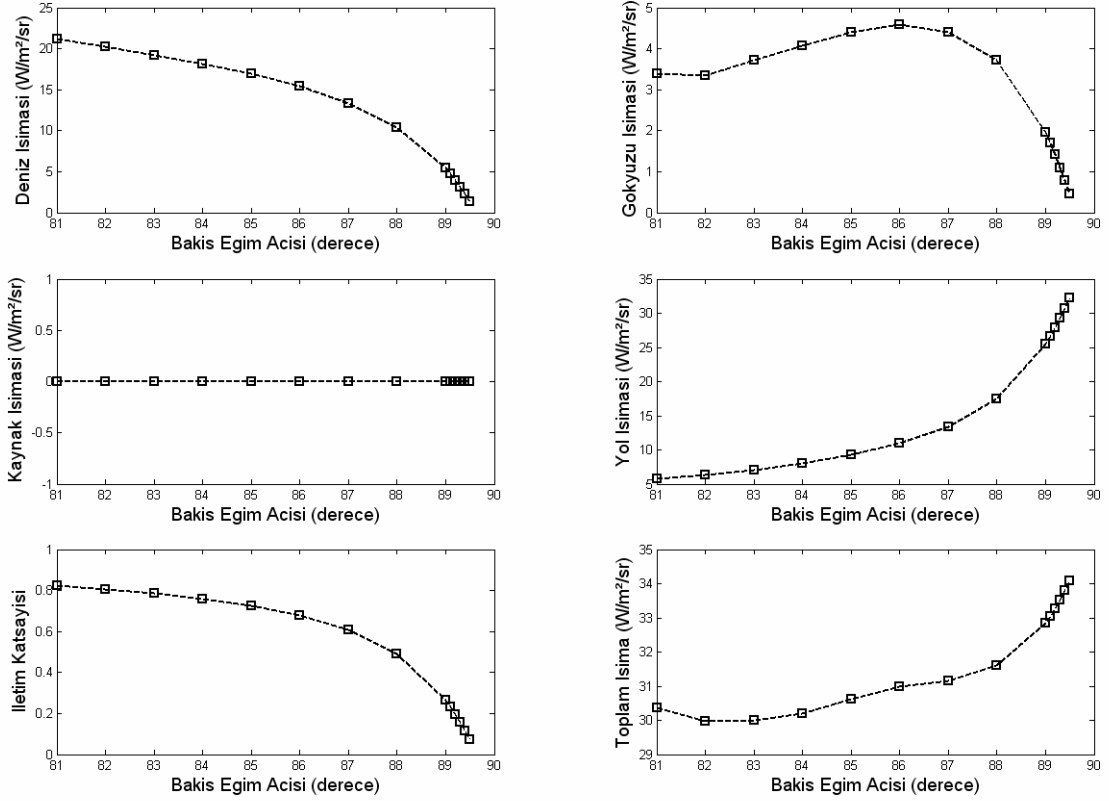
Bu benzetim çıktılarından bakış eğim açısının 80° ile 89.5° arasında, ani ışıma değişimleri değil beklenen değişimler yarattığı görülmektedir. Bakış eğim açısının bu açılar arasında artmasıyla gözlemcinin gördüğü yol hızla uzamaktadır. Bu nedenle yol ışıması hızla artmakta ve atmosferik iletim katsayısı hızla azalmaktadır. Denizin kendi sıcaklığından kaynaklanarak yayılan ışıma gözlemcinin bakış eğim açısına bağlı değildir. Ancak gözlemciye ulaşan deniz ışıması atmosferik iletim katsayısına bağlı olduğundan bakış eğim açısının artması ile gözlemciye ulaşan deniz ışıması azalmaktadır. Deniz yüzeyinden yansıyan gökyüzü ışıması bakış eğim açısının artması ile artmaktadır. Bunun yanında gözlemciye ulaşan gökyüzü ışıması atmosferik iletim katsayısı ile orantılıdır. Yansıyan gökyüzü ışımasındaki artış yaklaşık 88° bakış eğim açısına kadar gözlemciye ulaşan gökyüzü ışımasının da artmasını sağlamaktadır. 88° 'den sonra yansıyan gökyüzü ışımasındaki artış atmosferik iletim katsayısındaki azalış ile sönümlenmektedir ve yansıyan gökyüzü ışıması bu açıdan sonra azalışa geçmektedir.



Şekil 6.6 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 80°-89.5°



Şekil 6.7 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 80°-89.5°



Şekil 6.8 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 80°-89.5°

6.1.3. Yükseklik ve bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri

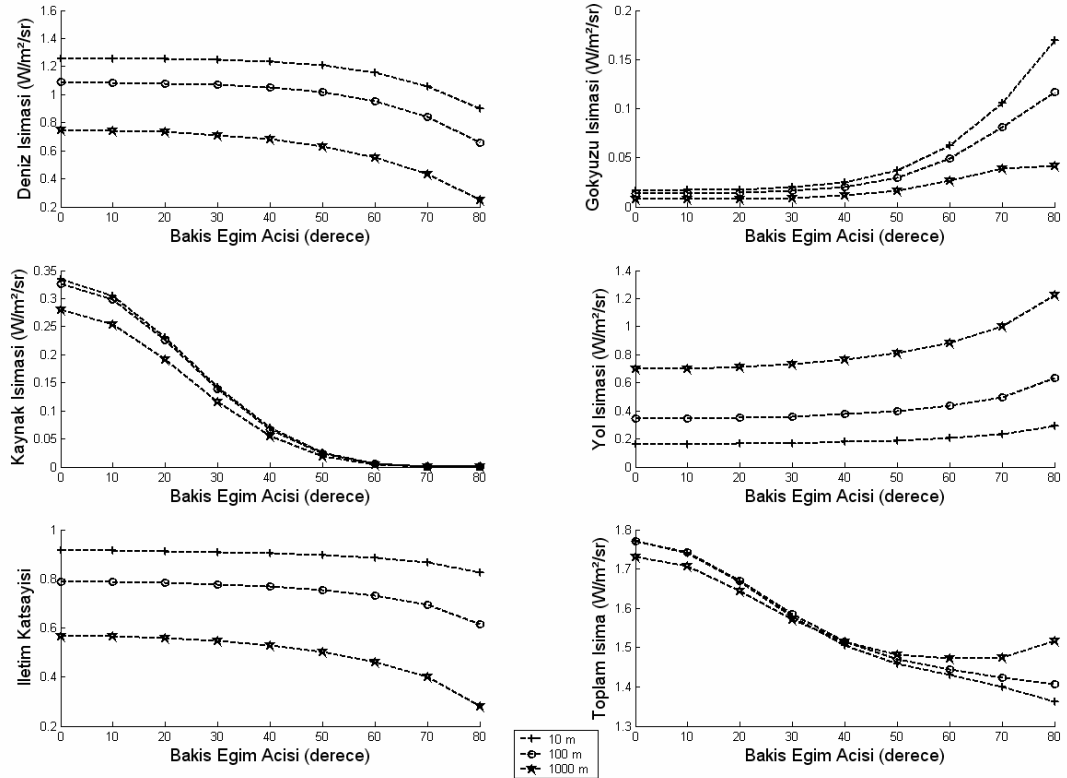
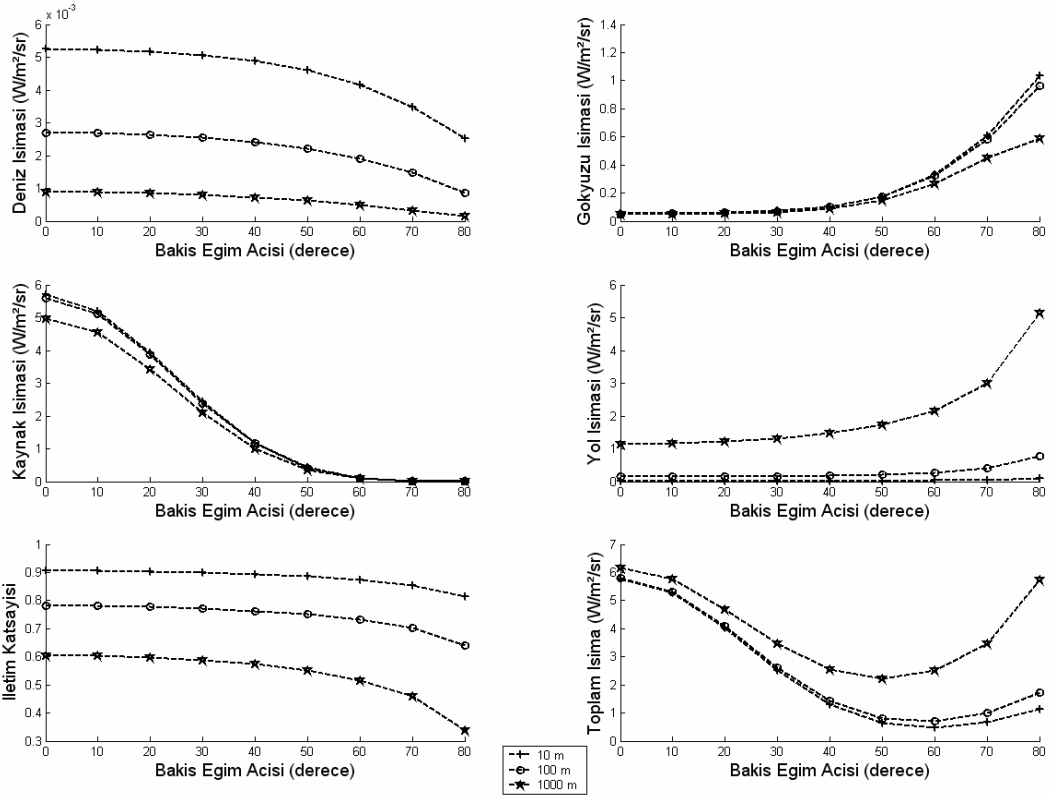
Bu bölümde 10 m, 100 m ve 1000 m gözlemci yükseklikleri için, bakış eğim açısı 0°'den 80°'ye değişirken toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışlarını gösteren benzetim çıktıları sunulmaktadır.

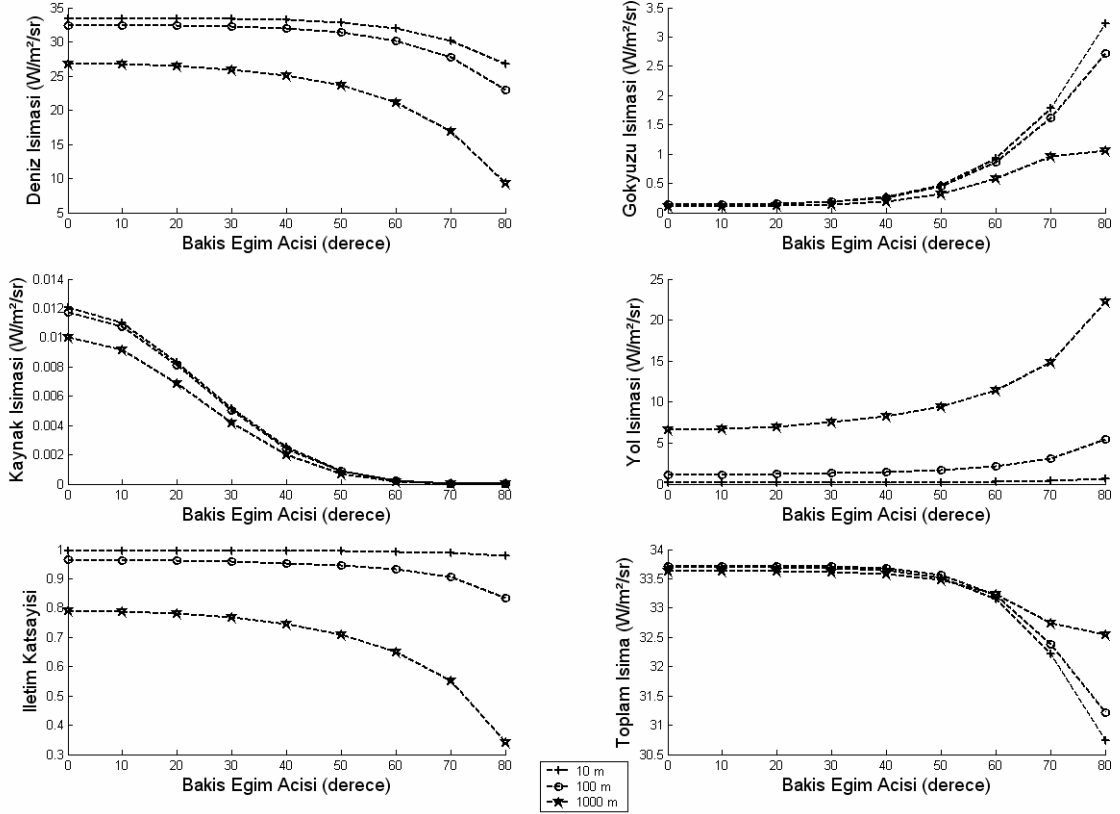
Yazılım gözlemci Akdeniz'de (36°K, 31°D), bulutsuz ve açık havada, güneşin geliş başucu ve yanca açıları 0°, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, rüzgar yönü 180°, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, anlık ve ortalama rüzgar hızı 10 m/s, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken, 10 m, 100 m ve 1000 m gözlemci yükseklikleri için, gözlemci bakış eğim açısı 0°'den 80°'ye 10° çözünürlükle değişirken koşturulmuştur.

10 m, 100 m ve 1000 m gözlemci yükseklikleri için, gözlemci bakış eğim açısı 0°'den 80°'ye 10° çözünürlükle değişirken elde edilen toplam ışıma ve bileşenlerinin benzetim çıktıları, 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bandı için sırasıyla Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de verilmektedir.

Bu bölümdeki senaryolarda gözlemciye ulaşan yansıyan güneş ışıması bileşenin daha iyi değerlendirilebilmesi amacıyla güneşin geliş başucu açısı 0° olarak atanmıştır. Yani bu senaryolarda güneş tam tepede durmaktadır. Bu şartlar altında en fazla yansıyan gökyüzü ışımasının tam tepede duran ve tam aşağıya bakan gözlemciye gelmesi düşünülmektedir. Gözlemcinin, bakış eğim açısı 0° iken en fazla güneş ışımasını alması ve bakış eğim açısının artması ile göreceği güneş ışımasının azalması beklenmektedir. Yazılım ile elde edilen benzetim çıktılarından bu durumun sağlandığı görülmektedir.

Verilen senaryo şartları altında gözlemci yüksekliğinin artmasıyla gözlemcinin gördüğü yol uzadığından yol ışıması artmakta, atmosferik iletim katsayısı ise azalmaktadır. Her üç dalgaboyu bandında toplam ışımayı oluşturan bileşenlerden gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması ve yansıyan güneş ışıması azalmaktadır; çünkü bu bileşenler atmosferik iletim katsayısı ile doğru orantılıdır. Yüksekliğin ve bakış eğim açısının birlikte artması ile gözlemcinin gördüğü yol daha da fazla uzamaktadır. Bu durumda yol ışımasının artışı hızlanmaktadır. Her üç dalgaboyu bandında da yüksekliğin ve bakış eğim açısının arttığı durumlarda yol ışıması etkin bir bileşen haline gelmektedir. 1-3 μm bandında daha etkin olan gözlemciye ulaşan yansıyan güneş ışıması bileşeninin değerinin iyice azaldığı bakış eğim açılarında yol ışımasındaki artış baskın hale gelmekte ve böylece toplam ışıma öncelikle azalmakta sonra artmaktadır. 3-5 μm bandında ise gözlemciye ulaşan yansıyan güneş ışıması ile termal deniz ışıması birlikte toplam ışıma üzerinde etkin rol oynamaktadır. Bu iki bileşenin etkinliğinin azaldığı bakış eğim açılarından itibaren yol ışıması artmaktadır, böylece diğer bileşenlerdeki azalışı hafifletmektedir. 8-12 μm bandında ise en etkin parametre gözlemciye ulaşan termal deniz ışımasıdır ve bu bileşenin değeri yüksek bakış eğim açılarında atmosferik iletim katsayısının azalmasının etkisi ile düşmektedir. Bu bantta da yol ışıması yüksek bakış eğim açılarında arttığından termal deniz ışımasındaki azalış dengelenmekte ve böylece toplam ışımadaki değişim az olmaktadır.





Şekil 6.11 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Yükseklik 10 m, 100 m ve 1000 m, Bakış Eğim Açısı 0°-80°

6.1.4. Yükseklik ve rüzgar yönü değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri

Bu bölümde 10 m, 100 m ve 1000 m gözlemci yükseklikleri için, rüzgar yönü 0°'den 360°'ye 45° çözünürlükle değişirken toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışlarını gösteren benzetim çıktıları sunulmaktadır.

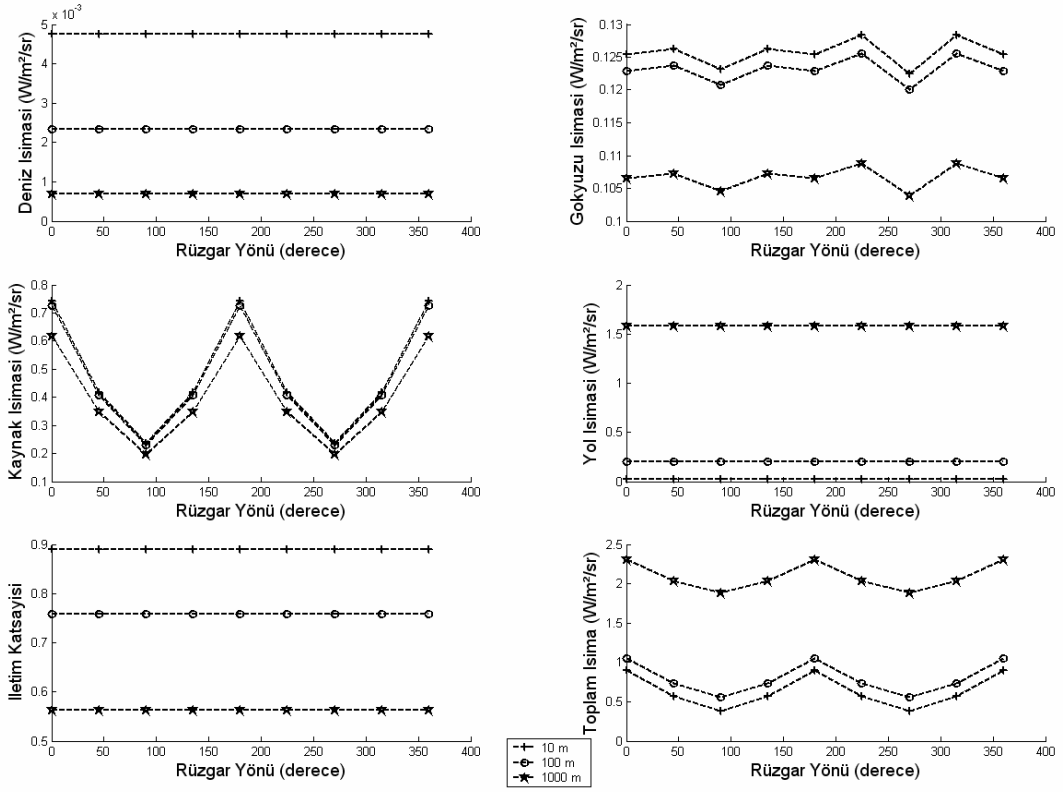
Program, gözlemci Akdeniz'de (36°K, 31°D), güneşin geliş başucu ve yanca açıları 0°, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, rüzgar yönü 180° bulutsuz ve açık havada, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, anlık ve ortalama rüzgar hızı 10 m/s, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken, 10 m, 100 m ve 1000 m gözlemci yükseklikleri için, rüzgar yönü 0°'den 360°'ye 45° çözünürlükle değişirken koşturuldu.

Verilen senaryo şartları altında, rüzgar yönü 0° iken dalgalar gözlemci bakış doğrultusuna paralel ve gözlemciye yaklaşan, 180° iken dalgalar gözlemci bakış

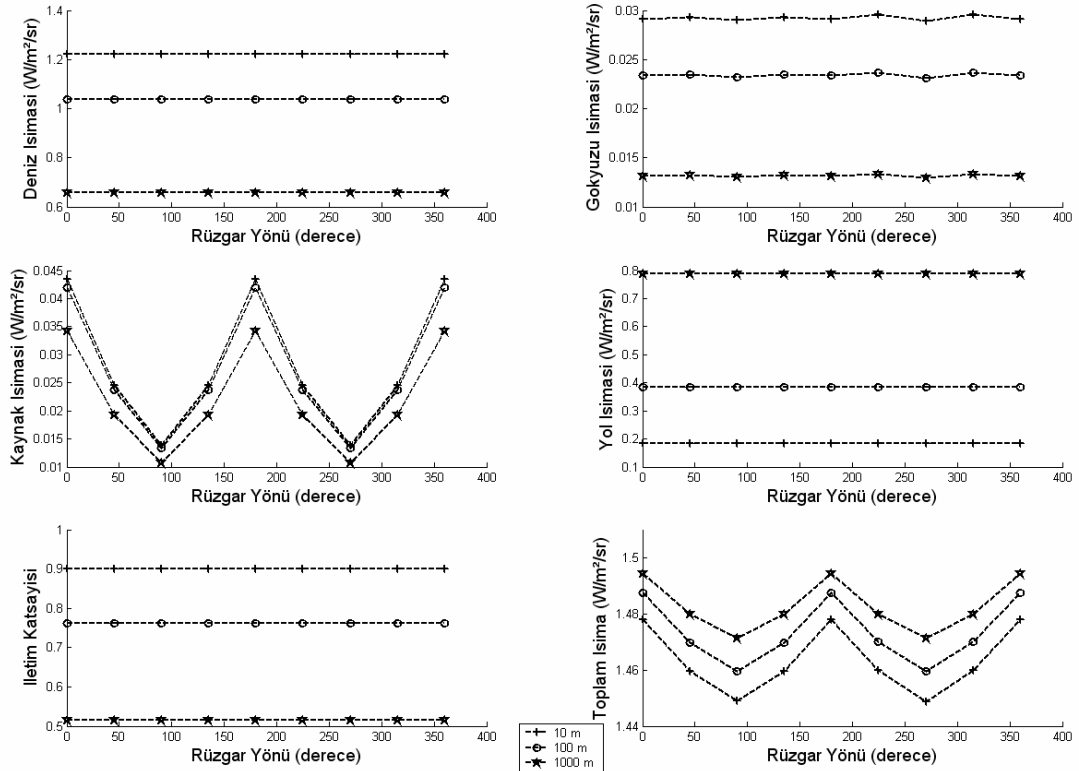
doğrultusuna paralel ve gözlemciden uzaklaşan, 90° ve 270° iken dalgalar gözlemciye dik şekilde hareket etmektedir.

Verilen senaryo şartları altında gözlemci yüksekliğinin artmasıyla her üç dalgaboyu bandında toplam ışımayı oluşturan bileşenlerden gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması ve yansıyan güneş ışıması azalmaktadır. Gözlemcinin gördüğü yol uzadığından yol ışıması artmakta, atmosferik iletim katsayısı ise azalmaktadır. Toplam ışıma ise 1-3 µm ve 3-5 µm bantlarında yol ışımasının baskın olması sonucu gözlemci yüksekliğinin artmasıyla artmaktadır. 8-12 µm bandında ise gözlemci yüksekliği ve rüzgar yönü değişimi toplam ışıma üzerinde çok küçük değişimler yaratmaktadır. 1000 m yükseklikte termal deniz ışımasındaki azalışın yol ışımasındaki artışa göre baskın olması nedeniyle 1000 m yükseklikteki toplam ışıma en küçük değeri vermektedir. Bu bantta 100 m yükseklikte ise yol ışımasındaki artışın termal deniz ışımasındaki azalışa göre baskın olması nedeniyle 100 m yükseklikteki toplam ışıma en yüksek değeri vermektedir.

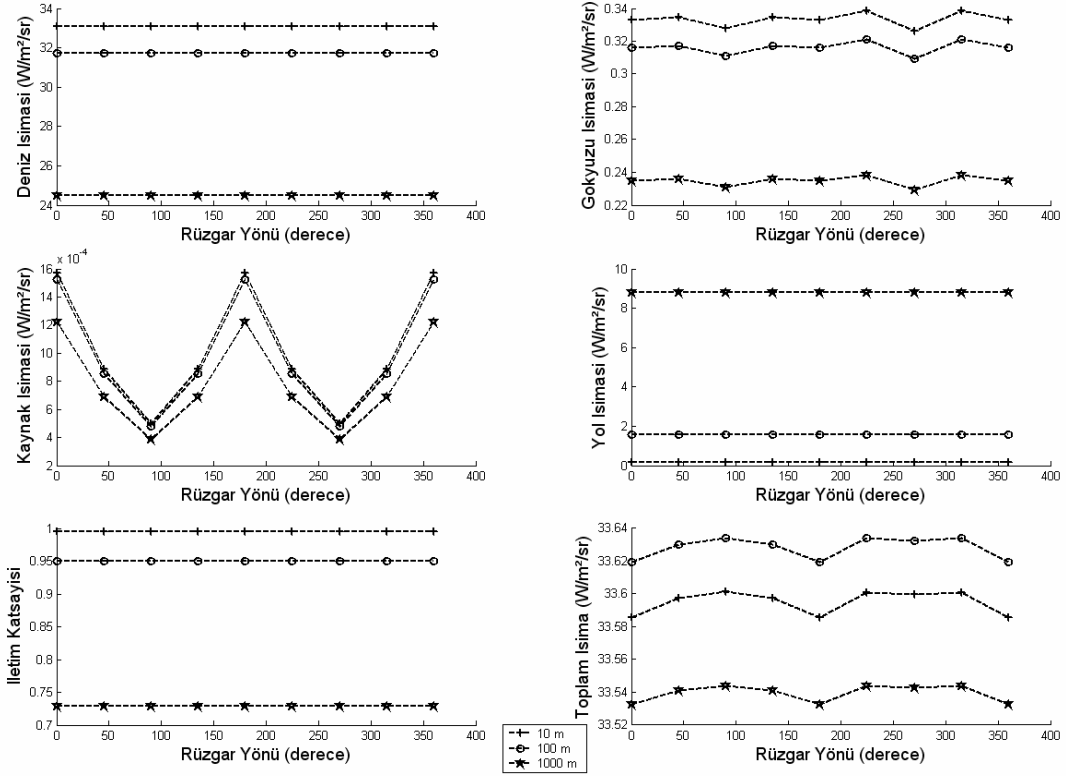
10 m, 100 m ve 1000 m gözlemci yükseklikleri için, rüzgar yönü 0°'den 360°'ye değişirken toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışlarını gösteren benzetim çıktıları 1-3 µm, 3-5 µm ve 8-12 µm bandı için elde edilen benzetim çıktıları sırasıyla Şekil 6.12, Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'te sunulmaktadır.



Şekil 6.12 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Yükseklik 10 m, 100 m ve 1000 m, Rüzgar Yönü 0°-360°



Şekil 6.13 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Yükseklik 10 m, 100 m ve 1000 m, Rüzgar Yönü 0°-360°



Şekil 6.14 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Yükseklik 10 m, 100 m ve 1000 m, Rüzgar Yönü 0°-360°

6.1.5. Bakış yönelim açısı ve rüzgar hızı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri

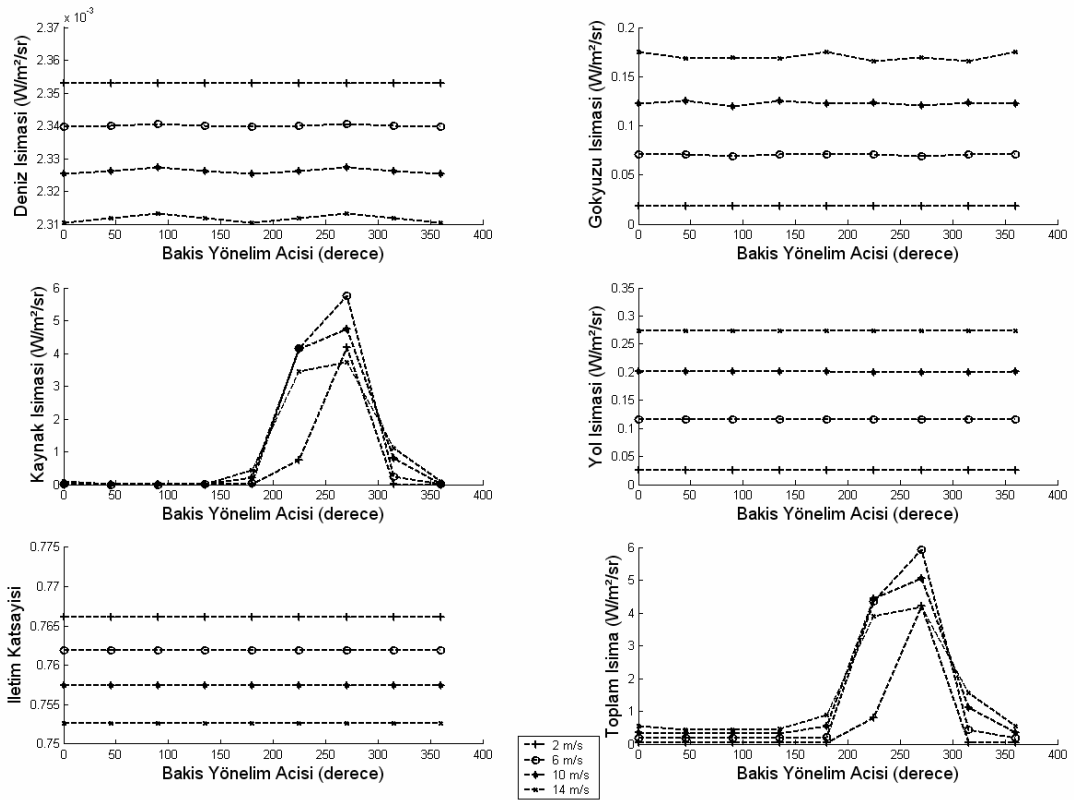
Bu bölümde 1-3 μm , 3-5 μm , 8-12 μm bantlarında, rüzgar hızı ve gözlemci bakış yönelim açılarındaki değişimin çıktılar üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.

Program, gözlemci Akdeniz’de (36°K, 31°D), 21.06.2006 tarihinde, yerel saat ile saat 10:00’da, rüzgar yönü 180° bulutsuz ve açık havada, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış eğim açısı 45°, deniz yüzeyi modeli Cox ve Munk temiz yüzey, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s rüzgar hızları için gözlemci bakış yönelim açısı 0°’den 360°’ye 45° çözünürlükle değişirken koşturuldu. Verilen senaryo şartları altında, yerel koordinatlarda gözlemcinin deniz yüzeyinde gördüğü noktaya gelen güneş başucu açısı 29°, yanca açısı 286° olarak hesaplanmaktadır.

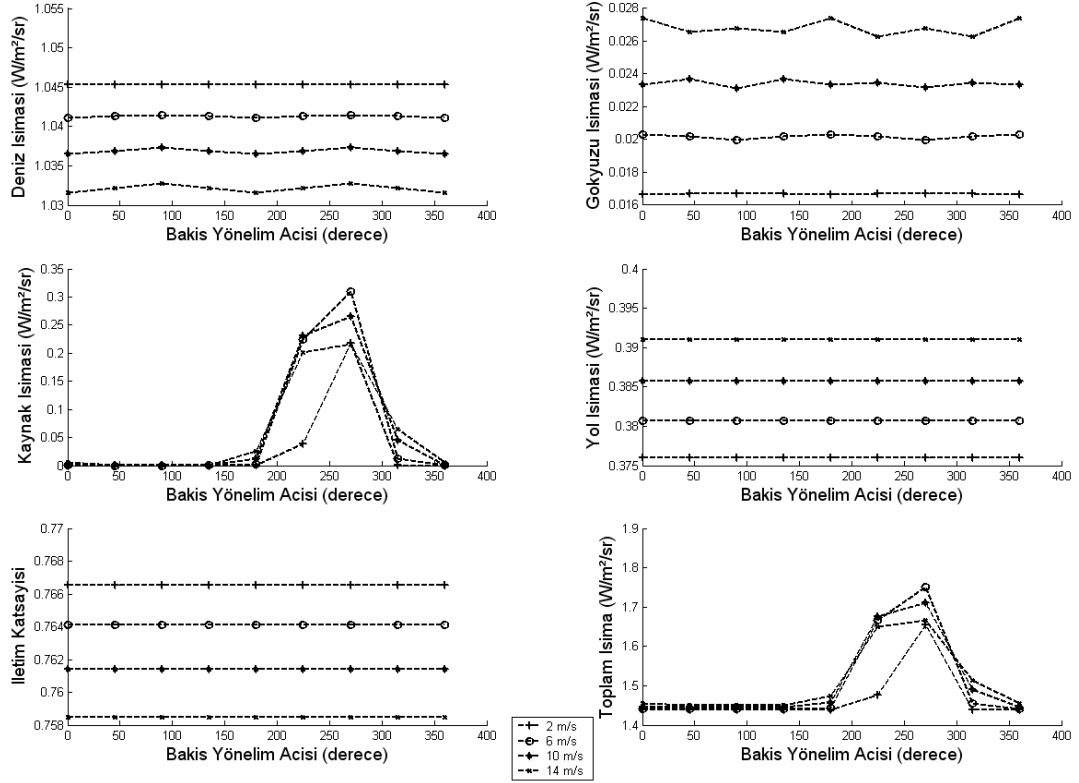
Bakış yönelim açısındaki değişim daha çok yansıyan güneş ışımasını etkilemektedir. Verilen senaryo ile oluşan geometri sonucunda, yansıyan güneş ışıması güneşin yanca açısı 286° yakınlarında en yüksek değerine ulaşmaktadır.

Gözlemcinin bakış yönelim açısına bağlı olmayan yol ışıması ve atmosferik iletim katsayısında değişim gözlenmemektedir. 1-3 μm ve 3-5 μm bantlarında toplam ışıma yansıyan güneş ışımasındaki değişimin etkisinde kalmakta ve 180° itibariyle artmakta ve 286° civarında en yüksek değerine ulaşmaktadır. 8-12 μm bandında yansıyan güneş ışıması bileşeni etkin olmadığından, toplam ışıma bakış yönelim açısı değişiminden etkilenmemektedir.

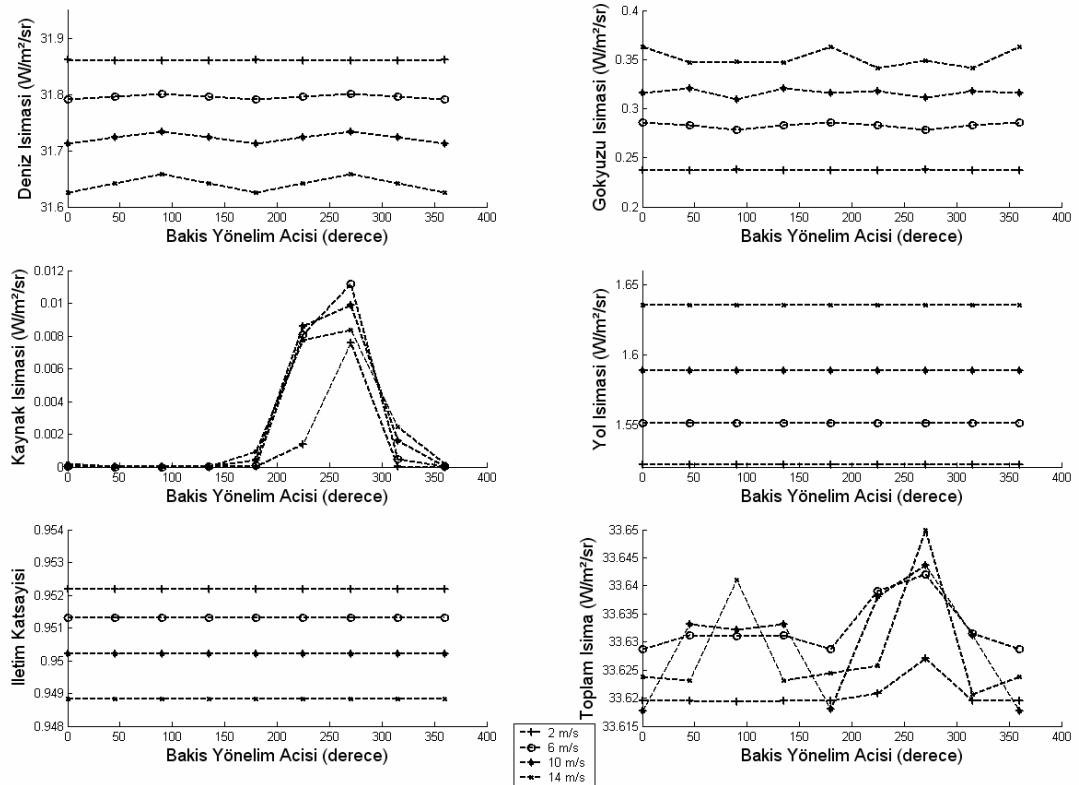
Bakış yönelim açısı 0° 'den 360° 'ye değişirken, 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s rüzgar hızlarında, 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bandı için elde edilen benzetim çıktıları sırasıyla Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de verilmektedir.



Şekil 6.15 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Yönelim Açısı 0° - 360° , Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s



Şekil 6.16 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Yönelim Açısı 0°-360°, Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s



Şekil 6.17 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Yönelim Açısı 0°-360°, Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s

6.1.6. Bakış eğim açısı ve rüzgar hızı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri

Bu bölümde 1-3 μm , 3-5 μm , 8-12 μm bantlarında, rüzgar hızı ve gözlemci bakış eğim açılarındaki değişimin çıktılar üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.

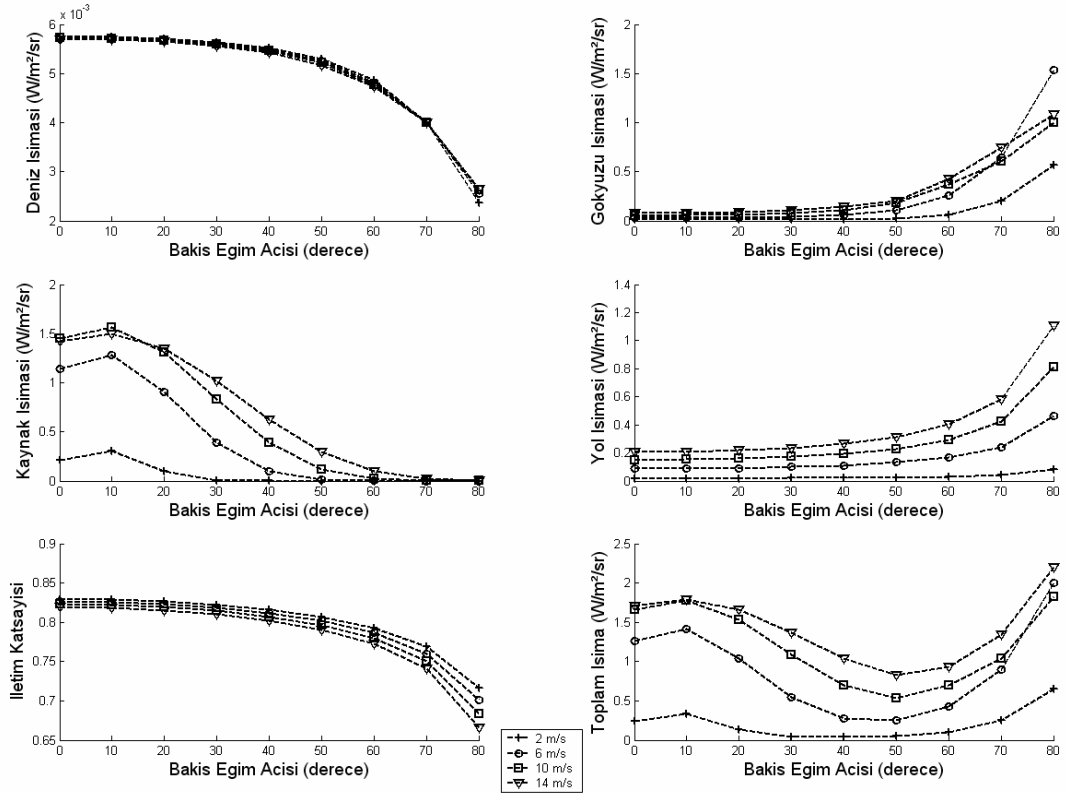
Program, gözlemci Akdeniz'de (36°K, 31°D), 21.06.2006 tarihinde, yerel saat ile saat 10:00'da, rüzgar yönü 180° bulutsuz ve açık havada, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, deniz yüzeyi modeli 1, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s rüzgar hızları için gözlemci bakış eğim açısı 0°'den 80°'ye 10° çözünürlükle değişirken koşturuldu. Verilen senaryo şartları altında, yerel kordinatlarda gözlemcinin deniz yüzeyinde gördüğü noktaya gelen güneş başucu açısı 29°, yanca açısı 286° olarak hesaplanmaktadır.

Verilen senaryo şartları altında her üç dalgaboyu bandında da bakış eğim açısının artmasıyla termal deniz ışıması ve atmosferik iletim katsayısı azalmakta, yansıyan gökyüzü ışıması ve yol ışıması artmaktadır. Yansıyan güneş ışıması ise güneşin geliş açılarına bağlı olarak 10°'ye kadar artıp sonra azalmaktadır. Rüzgar hızındaki değişim en çok yansıyan güneş ışımasını etkilemektedir. Bu tezde rüzgar hızının yansıyan güneş ışıması üzerindeki etkileri başka analizlerle de değerlendirilmektedir. Bu analizlerde güneşin geliş başucu açısı 0° olarak atanmaktadır.

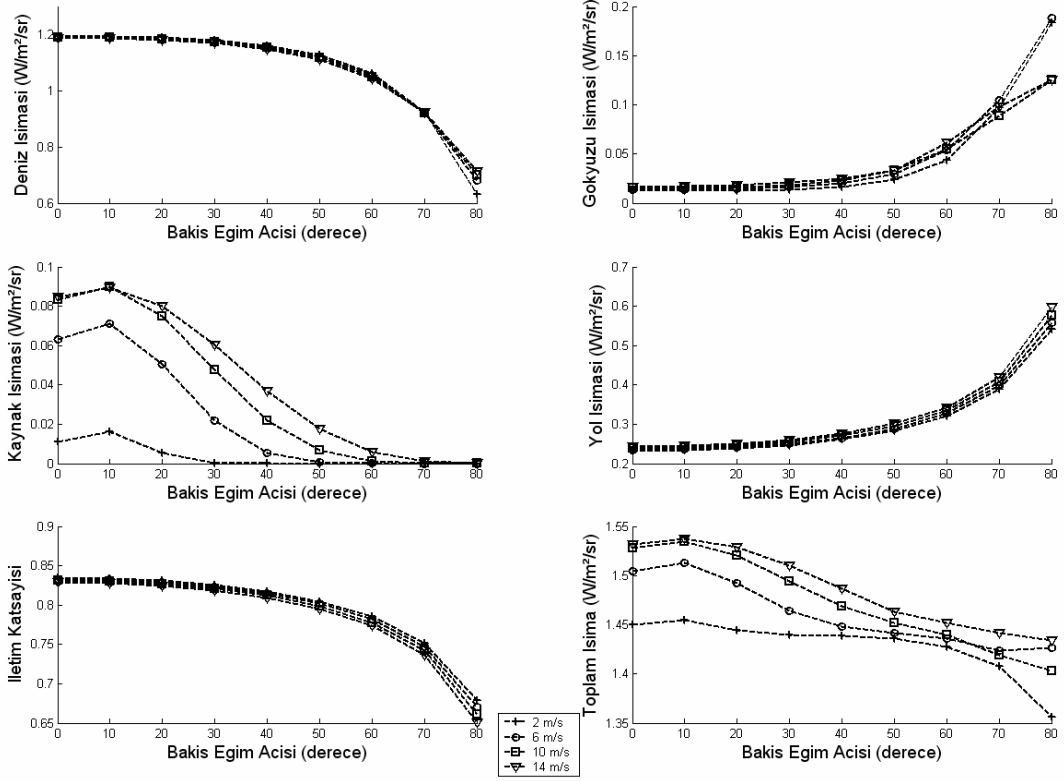
Toplam ışıma ise her bantta ayrı değerlendirilmelidir. 1-3 μm bandında baskın olan bileşenler yansıyan güneş ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması ve yol ışıması olduğundan toplam ışıma 10°'ye kadar artış gösterip, yaklaşık 50°'ye kadar azalıp sonra yol ışıması ve yansıyan gökyüzü ışımasındaki artışın etkisiyle tekrar artmaktadır. 3-5 μm bandında toplam ışımaya en fazla katkıda bulunan bileşen termal deniz ışımasıdır. Bu bileşenin üzerine yansıyan güneş ve gökyüzü ışımaları ile yol ışımasındaki değişimler eklendiğinde genel olarak 10°'den sonra azalışa geçen bir toplam ışıma grafiği gözlenmektedir. 8-12 μm bandında ise termal deniz ışıması oldukça baskın olduğundan diğer bileşenlerdeki değişimler toplam ışımayı fazla etkilememekte ve bu bantta bakış eğim açısı artarken toplam ışıma azalmaktadır. Belirtilen senaryo şartları altında 1-3 μm ve 3-5 μm bantlarında

rüzgar hızının artmasıyla toplam ışıma artmaktadır. 8-12 μm bandında ise rüzgar hızındaki değişim toplam ışımayı fazla etkilememektedir.

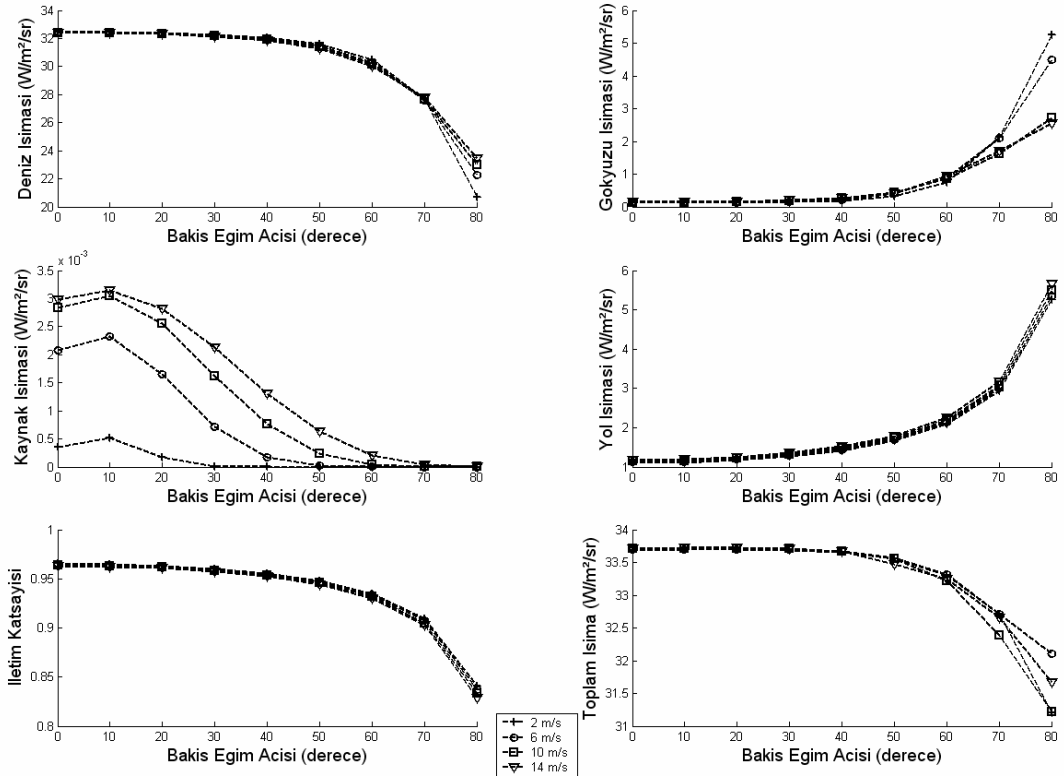
Bakış eğim açısı 0° 'den 80° 'ye değişirken, 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s rüzgar hızları için toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışını gösteren benzetim çıktıları 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bandı için sırasıyla Şekil 6.18, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de verilmektedir.



Şekil 6.18 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s



Şekil 6.19 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s



Şekil 6.20 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 2 m/s, 6 m/s, 10 m/s ve 14 m/s

6.1.7. Rüzgar yönü ve rüzgar hızı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri

Bu bölümde 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 14 m/s rüzgar hızları için, rüzgar yönü 0°'den 360°'ye değişirken, toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışlarını gösteren benzetim çıktıları sunulmaktadır. Güneşin geliş açısının değişimler üzerindeki etkisini kaldırmak için güneşin geliş başucu ve yanca açıları 0° olarak ayarlanmıştır.

Program, gözlemci Akdeniz'de (36°K, 31°D), güneşin geliş başucu ve yanca açıları 0°, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, bulutsuz ve açık havada, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış eğim açısı 45°, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, dalgaboyu aralığı 1-3 µm, 3-5 µm ve 8-12 µm iken, anlık ve ortalama rüzgar hızı 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 14 m/s için, rüzgar yönü 0°'den 360°'ye 45° çözünürlükle değişirken koşturuldu.

Verilen senaryo şartları altında rüzgar yönü 0° iken dalgalar gözlemciye yaklaşan, 180° iken dalgalar gözlemciden uzaklaşan, 90° ve 270° iken dalgalar gözlemciye dik şekilde hareket etmektedir.

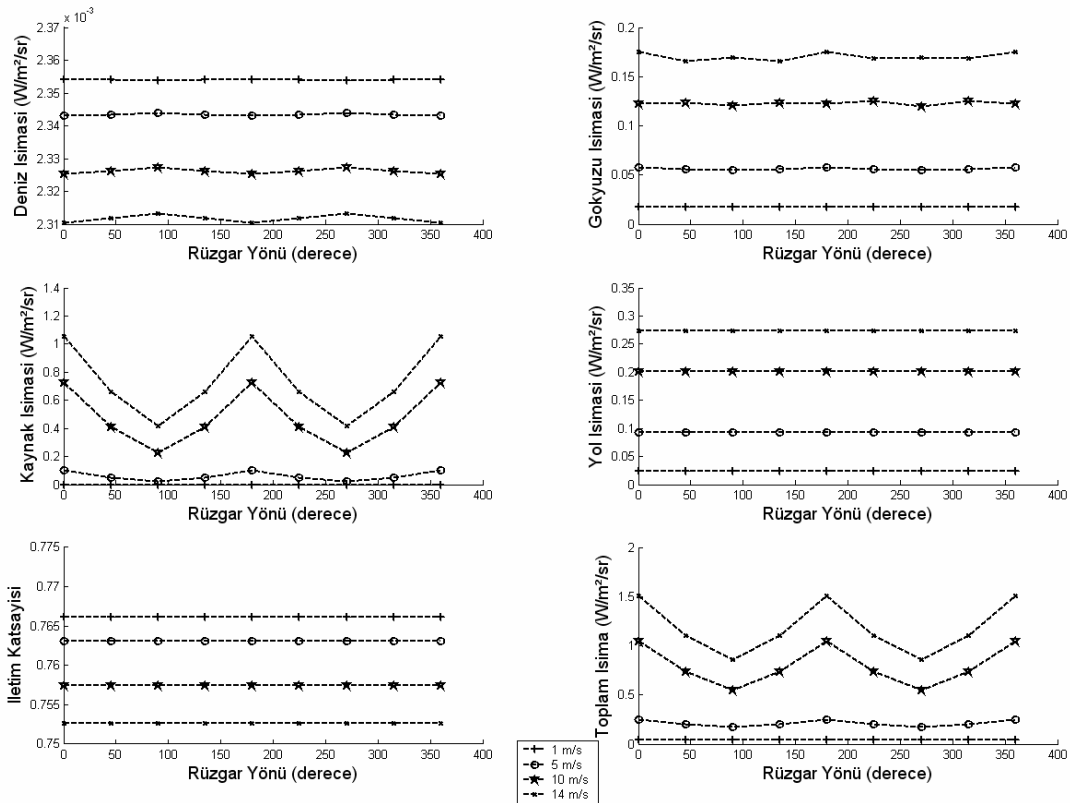
Toplam ışımayı oluşturan bileşenlerden yol ışıması ve atmosferik iletim katsayısı, deniz yüzeyinden yansımaya uğramadıkları için deniz yüzeyi parçacıklarının eğimlerinin değişiminden ve benzetim çıktılarında da görüldüğü gibi rüzgar yönü değişiminden etkilenmemektedirler. Rüzgar hızının artmasıyla atmosferin geçirgenliği yani atmosferik iletim katsayısı azalmakta, dolayısıyla gözlemcinin gördüğü yol üzerindeki atmosfer ışıması yani yol ışıması artmaktadır. Ayrıca rüzgar hızı arttıkça deniz yüzeyine gelen atmosfer ışıması da arttığından yansıyan gökyüzü ışıması da artmaktadır.

Her üç dalgaboyu bandında da rüzgar yönü değişiminden en çok etkilenen bileşen yansıyan güneş ışımasıdır. Öncelikle belirtilmesi gereken nokta verilen senaryo şartları altında rüzgar hızının artmasıyla yansıyan güneş ışımasının artmasıdır. Gözlemci bakış eğim açısı tepede olan güneşin geliş açısıyla aynı doğrultuda olmadığından gelen güneş ışıması ne kadar çok saçılırsa gözlemciye o kadar çok ulaşmakta, rüzgar hızı ne kadar artarsa deniz yüzeyi o kadar saçıcı olmaktadır. Dalgaların hareket yönünün gözlemcinin bakış doğrultusunun geçtiği yüzeye

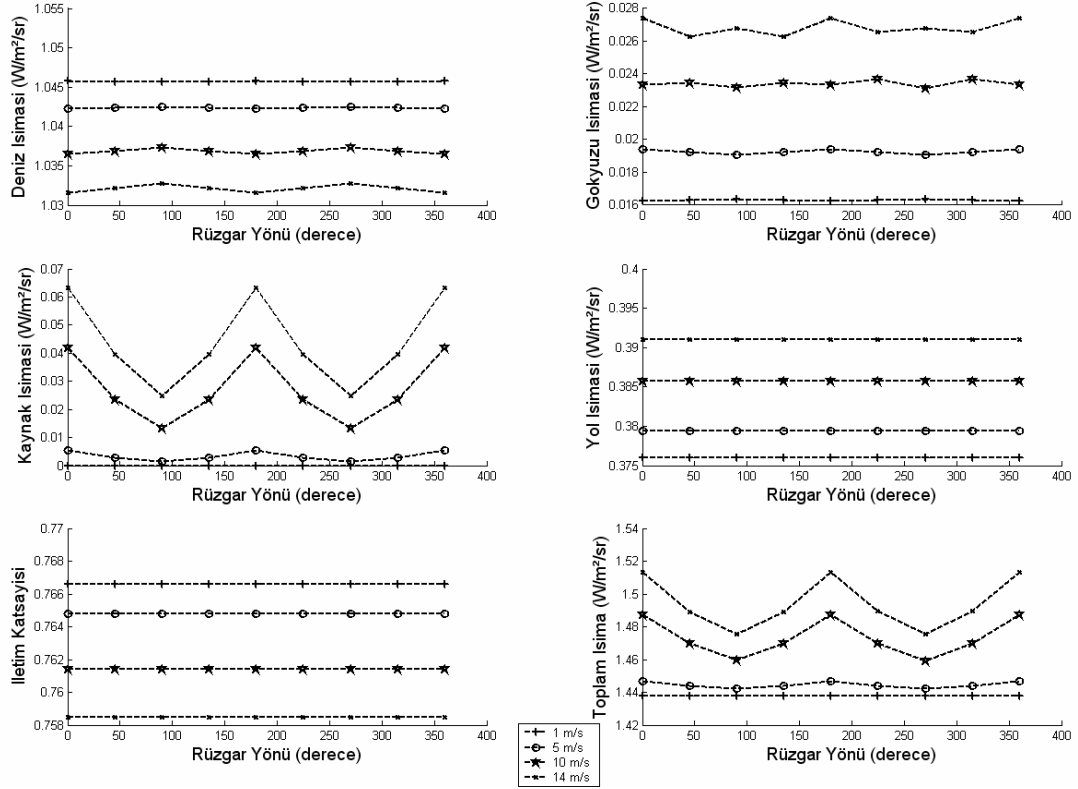
paralel olması durumunda en yüksek ışıma, dik olması durumunda ise en az ışıma beklenmektedir. Bu beklentiye uygun olarak yansıyan güneş ışıması, rüzgar yönü 0° ve 180° iken en yüksek, 90° ve 270° iken en düşük değerine ulaşmaktadır. Rüzgar hızının artmasıyla yansıyan güneş ışımasının en yüksek ve en düşük değerleri arasındaki fark artmaktadır.

Rüzgar hızının artmasıyla gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması azalmaktadır. Bunun temel sebebi atmosferik iletim katsayısındaki azalıştır. Ayrıca rüzgar hızının artmasıyla rüzgar yönündeki değişim gözlemciye ulaşan termal ışımayı da etkisi altına almaktadır.

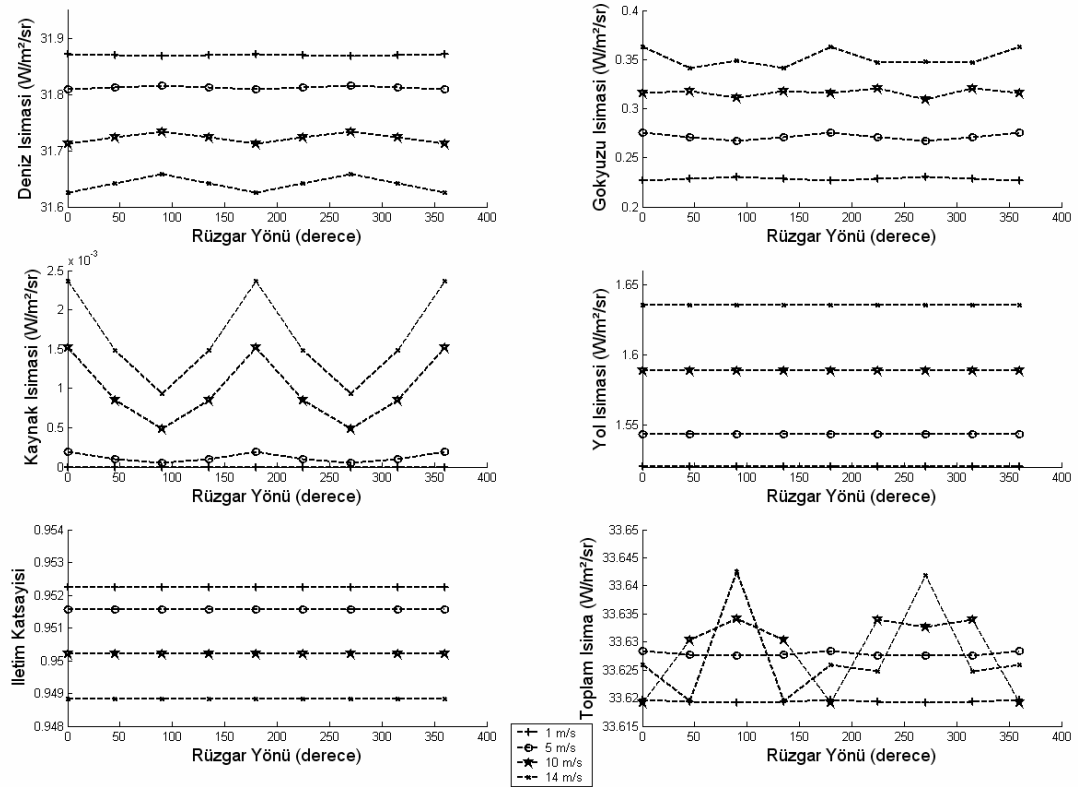
Güneş tepedeyken, rüzgar yönü 0° 'den 360° 'ye değişirken, 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 14 m/s rüzgar hızları için toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışını gösteren benzetim çıktıları 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bandı için sırasıyla Şekil 6.21, Şekil 6.22 ve Şekil 6.23'te verilmektedir.



Şekil 6.21: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Güneş Tepede, Rüzgar Yönü 0° - 360° , Rüzgar Hızı 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 14 m/s



Şekil 6.22: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Güneş Tepede, Rüzgar Yönü 0°-360°, Rüzgar Hızı 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 14 m/s

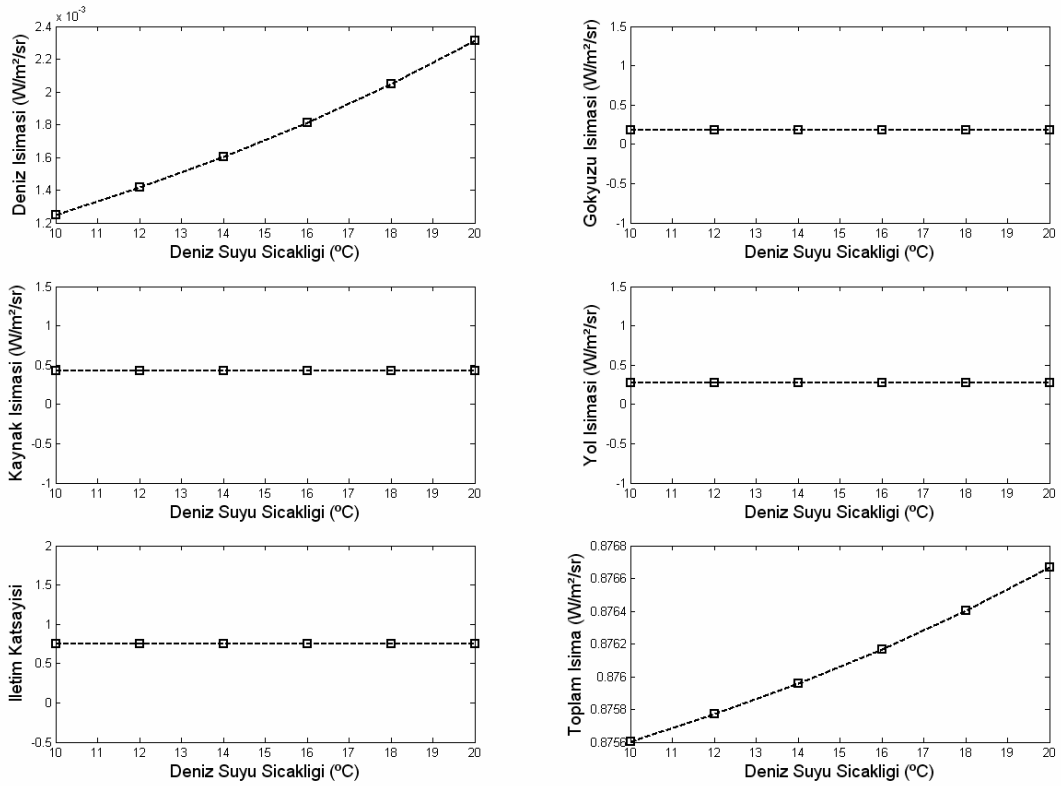


Şekil 6.23: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Güneş Tepede, Rüzgar Yönü 0°-360°, Rüzgar Hızı 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 14 m/s

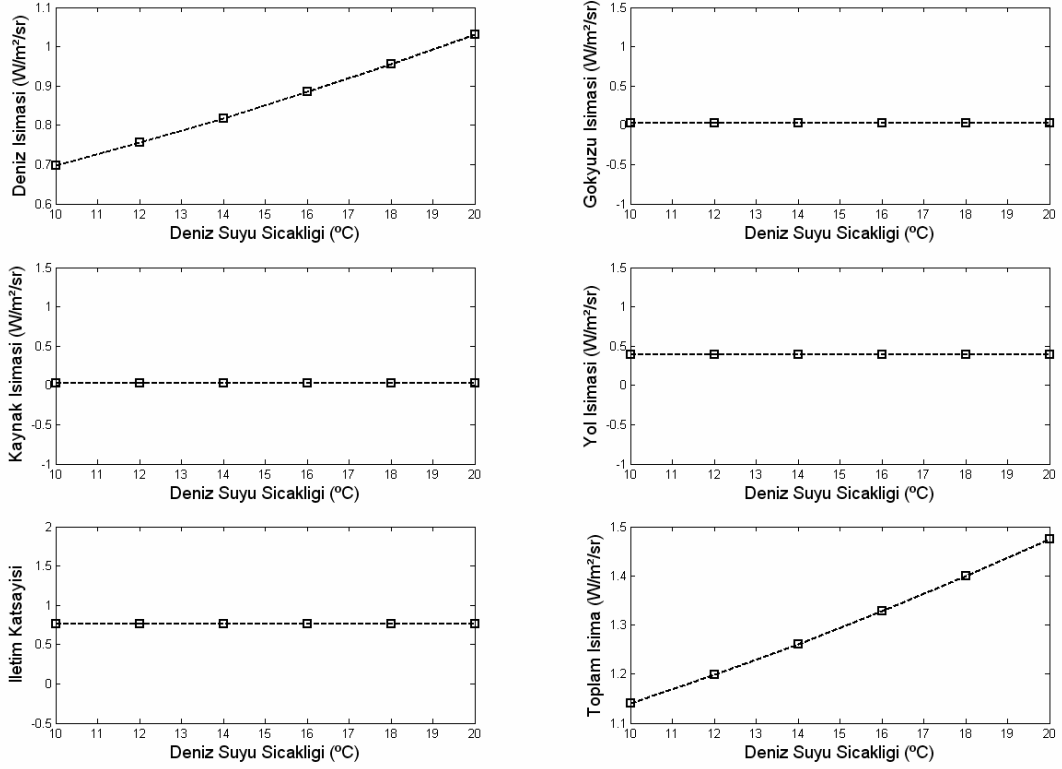
6.1.8. Deniz suyu sıcaklığı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri

Bu bölümde 1-3 μm , 3-5 μm , 8-12 μm bantlarında, deniz suyu sıcaklığındaki değişimin çıktılar üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.

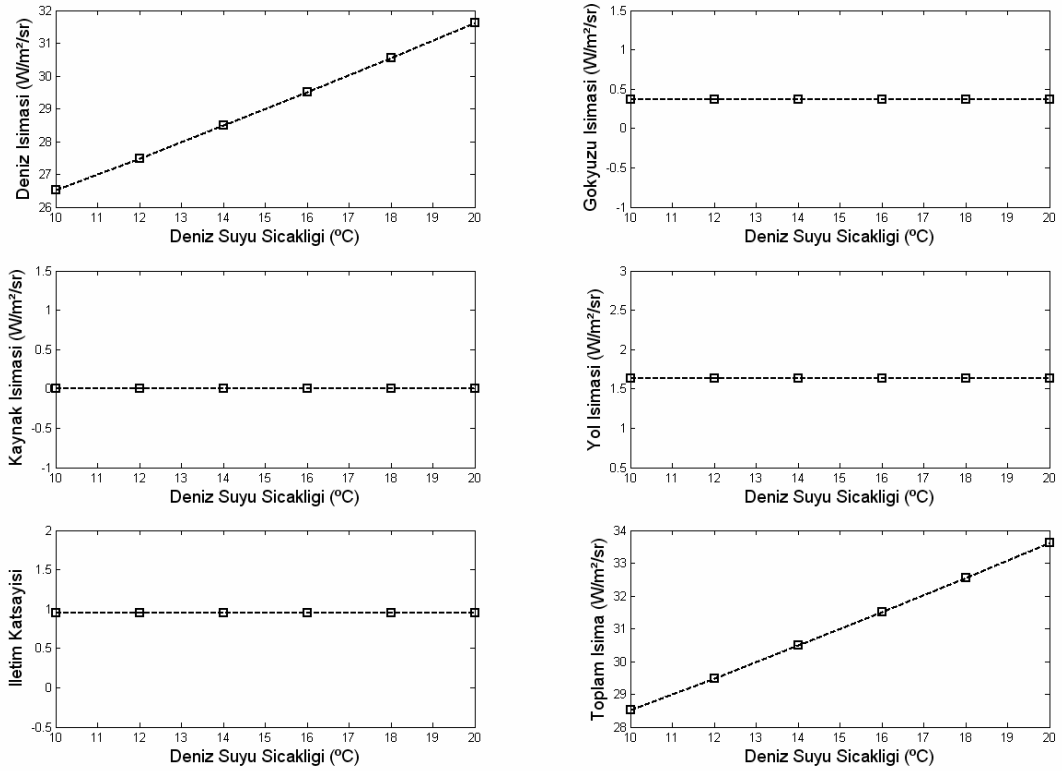
Program, gözlemci Akdeniz’de (36°K , 31°D), 21.06.2006, yerel saat ile saat 10:00’da, anlık ve ortalama rüzgar hızı 5 m/s, rüzgar yönü 180° bulutsuz ve açık havada, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış eğim açısı 45° , gözlemci bakış yönelim açısı 180° , deniz yüzeyi modeli 1, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken deniz suyu sıcaklığı 10°C ’den 20°C ’ye 2°C çözünürlükle artarken koşturuldu. Verilen senaryo şartları altında her üç dalgaboyu bandında da deniz suyu sıcaklığındaki değişim sadece termal deniz ışımını etkilemektedir. Deniz suyu sıcaklığının artmasıyla termal deniz ışıması her bantta artmaktadır. Diğer bileşenler ise sabit kalmaktadır. Bu nedenle her bantta deniz suyu sıcaklığının artmasıyla toplam ışıma artmaktadır. Deniz suyu sıcaklığı değişirken, toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışını gösteren benzetim çıktıları 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bandı için sırasıyla Şekil 6.24, Şekil 6.25 ve Şekil 6.26’da verilmektedir.



Şekil 6.24 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Deniz Suyu Sıcaklığı 10°C - 20°C



Şekil 6.25 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm, Deniz Suyu Sıcaklığı 10 °C-20 °C



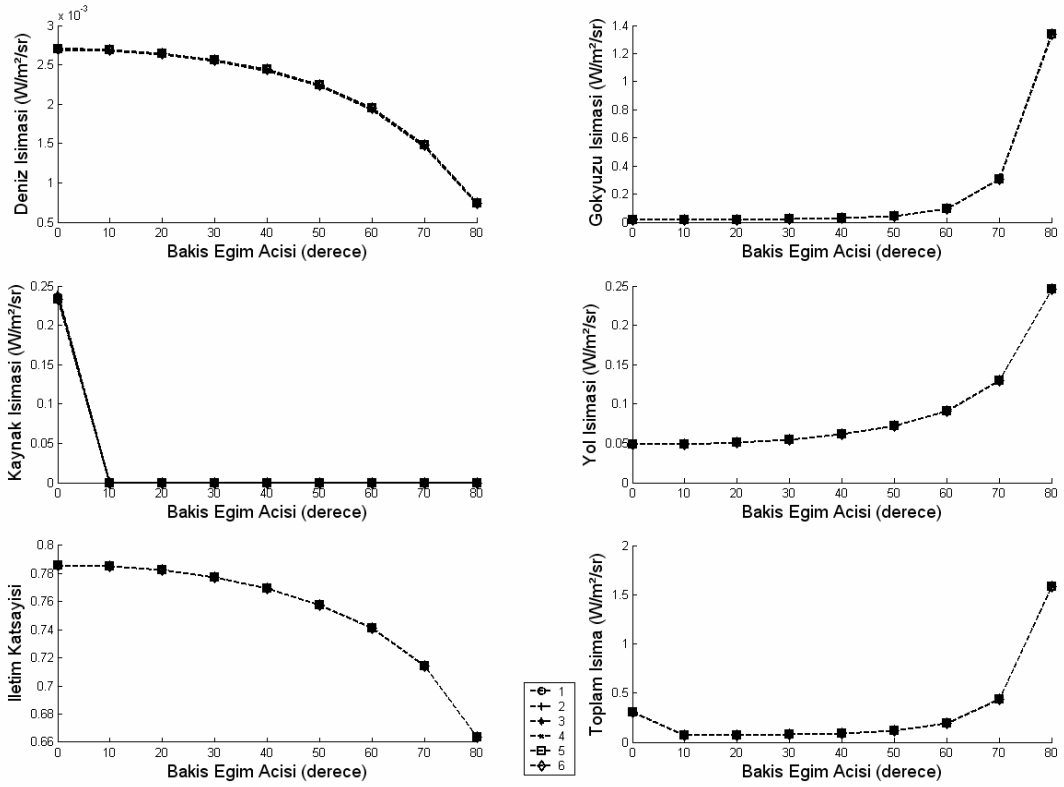
Şekil 6.26 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm, Deniz Suyu Sıcaklığı 10°C-20°C

6.1.9. Bakış eğim açısı ve tuzluluk değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri

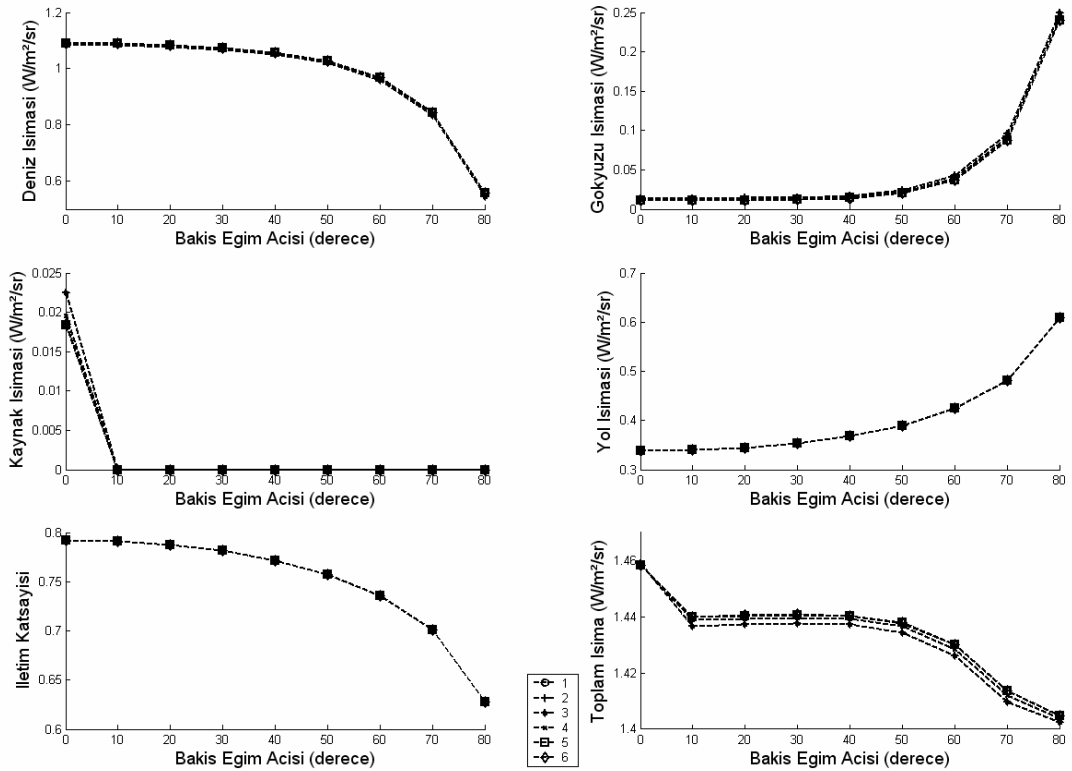
Program gözlemci Akdeniz'de (36°K , 31°D), 21.06.2006, yerel saat ile saat 10:00'da, rüzgar yönü 180° bulutsuz ve açık havada, deniz suyu sıcaklığı 20°C , gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış yönelim açısı 180° , deniz yüzeyi modeli Cox ve Munk temiz yüzey, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken 0 m/s, 3 m/s, 6 m/s 9m/s ve 12 m/s rüzgar hızları için gözlemci bakış eğim açısı 0° 'den 80° 'ye 10° çözünürlükle değişirken koşturuldu. Verilen senaryo şartları altında, yerel kordinatlarda gözlemcinin deniz yüzeyinde gördüğü noktaya gelen güneş başucu açısı 29° , yanca açısı 286° olarak hesaplanmaktadır.

Değişik tuzluluk özelliklerine sahip 6 farklı yerde yapılan ölçümlerle 2-20 μm aralığında 0.2 μm çözünürlükle kompleks kırılma indisi bileşenleri elde edilmiştir. Yazılımda bu değerleri içeren 6 tuzluluk modeli bulunmaktadır [6]. Seçilen model ile verilen dalgaboyu bandı için kompleks kırılma indisi bileşenleri kullanılarak yansıma katsayısı hesaplanmaktadır. Yansıma katsayısı dalganın geliş ve yansıma açılarına bağlıdır. Dalganın geliş ve yansıma açılarını etkileyen girdi parametreleri rüzgar hızı ve bakış eğim açısıdır. Bu girdi parametrelerinin değişimine karşılık tüm tuzluluk modelleri kullanılarak toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışlarını gösteren benzetim çıktıları verilmektedir. Tuzluluk modellerinin değişimiyle toplam ışıma ve bileşenleri kayda değer bir değişim göstermemektedir.

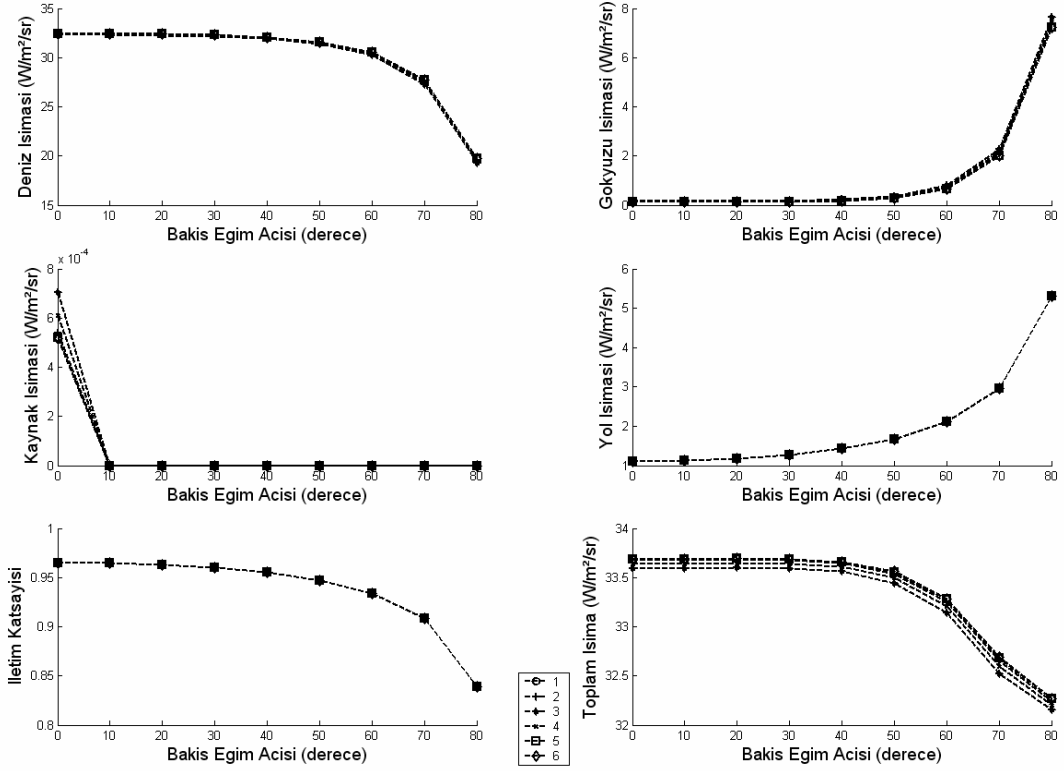
0 m/s rüzgar hızı durumunda tüm tuzluluk modelleri kullanılarak bakış eğim açısının değişimine karşılık çizdirilen toplam ışıma ve bileşenleri benzetim çıktıları 1-3 μm bandı için Şekil 6.27'de, 3-5 μm bandı için Şekil 6.28'de, 8-12 μm bandı için Şekil 6.29'da verilmektedir.



Şekil 6.27 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Rüzgar Hızı 0 m/s, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Tuzluluk Modelleri

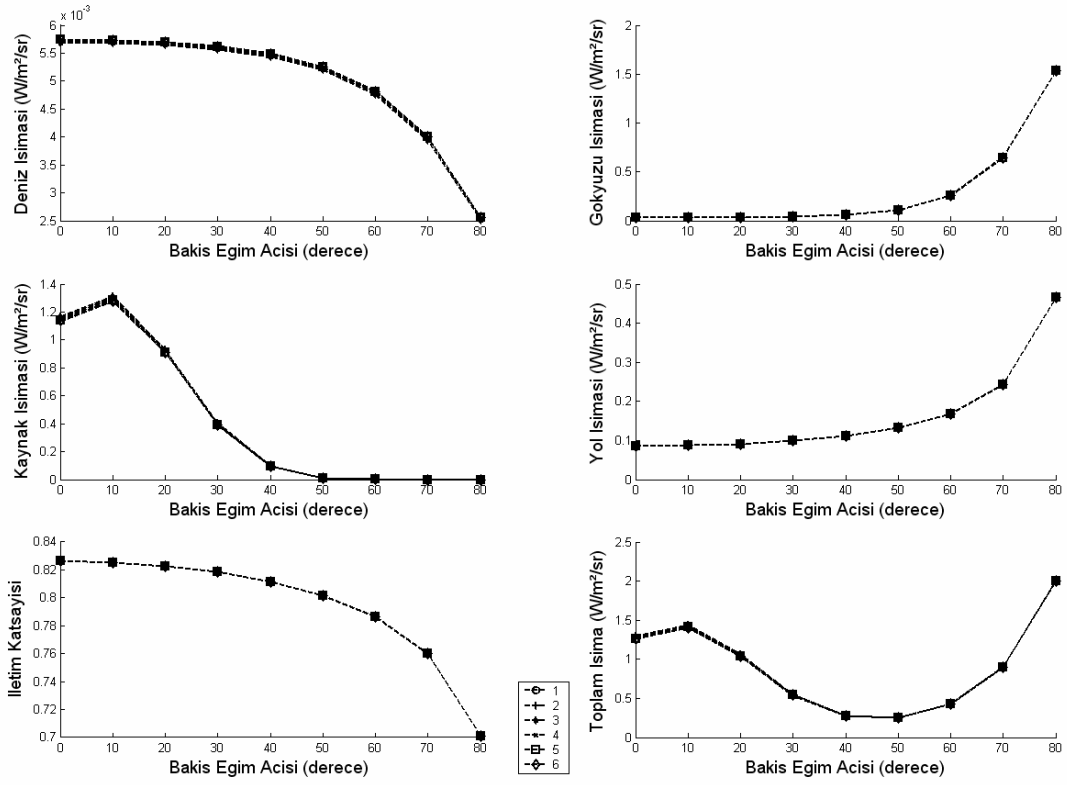


Şekil 6.28 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Rüzgar Hızı 0 m/s, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Tuzluluk Modelleri

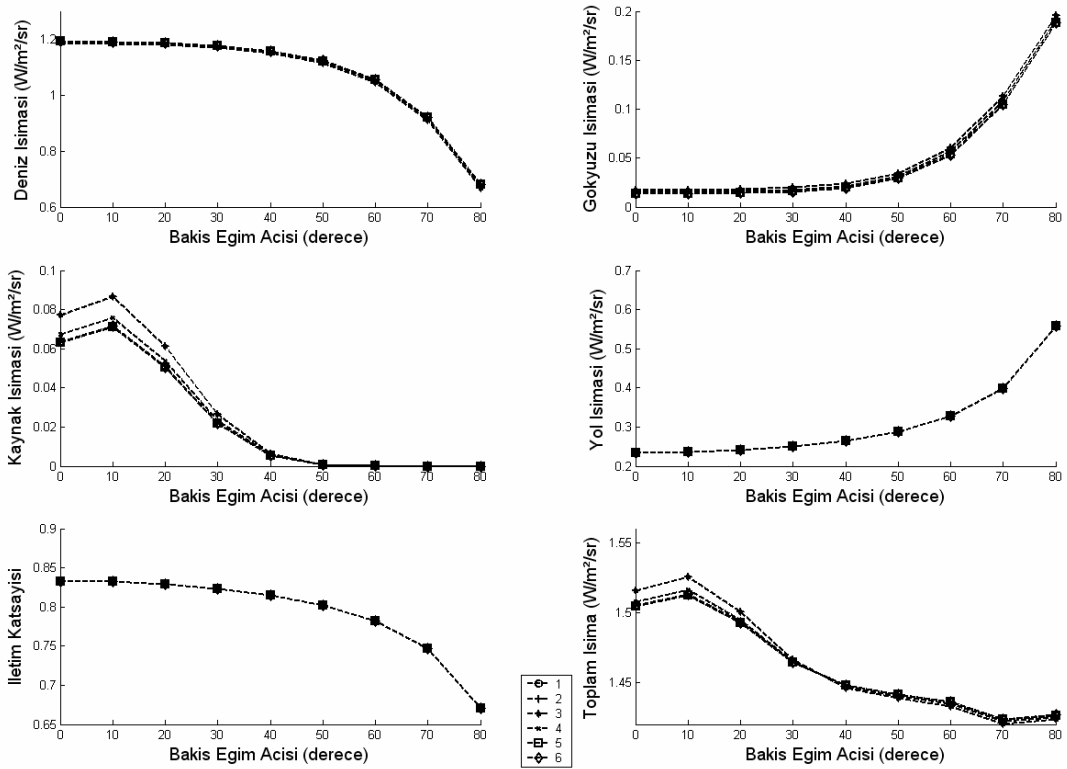


Şekil 6.29: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Rüzgar Hızı 0 m/s, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Tuzluluk Modelleri

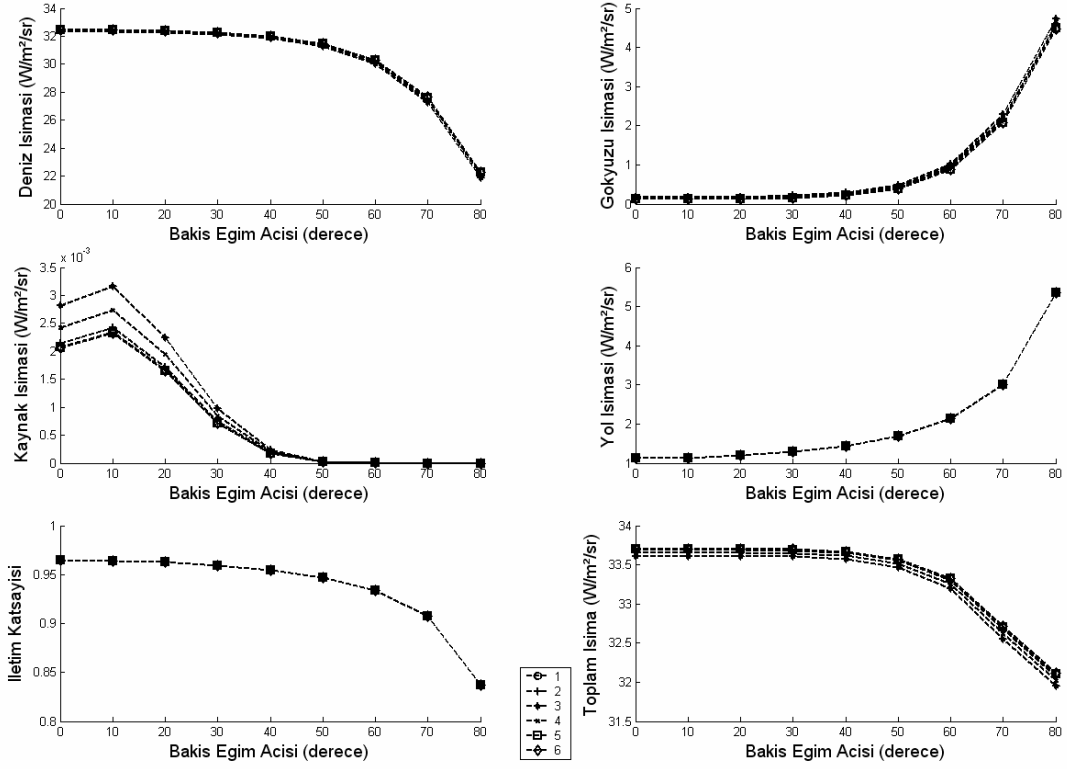
6 m/s rüzgar hızı durumunda tüm tuzluluk modelleri kullanılarak bakış eğim açısının değişimine karşılık çizdirilen toplam ışıma ve bileşenleri benzetim çıktıları 1-3 μm bandı için Şekil 6.30'da, 3-5 μm bandı için Şekil 6.31'de, 8-12 μm bandı için Şekil 6.32'de verilmektedir.



Şekil 6.30 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Rüzgar Hızı 6 m/s, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Tuzluluk Modelleri

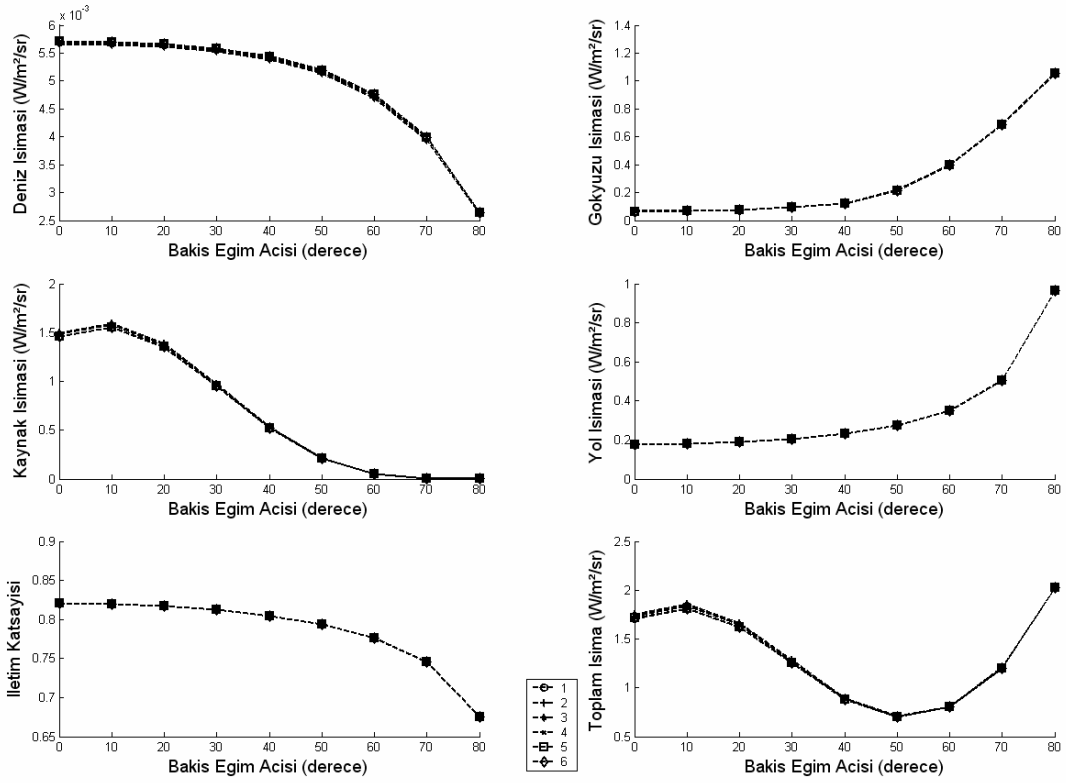


Şekil 6.31: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Rüzgar Hızı 6 m/s, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Tuzluluk Modelleri

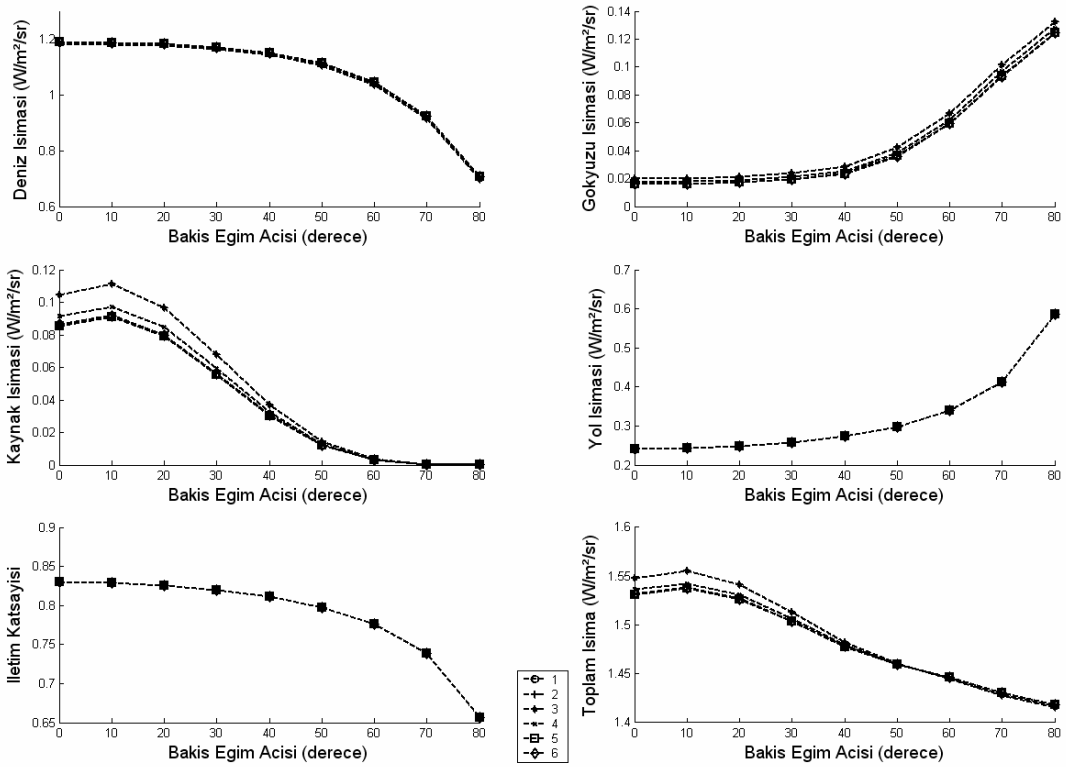


Şekil 6.32 : Toplam ısıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Rüzgar Hızı 6 m/s, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Tuzluluk Modelleri

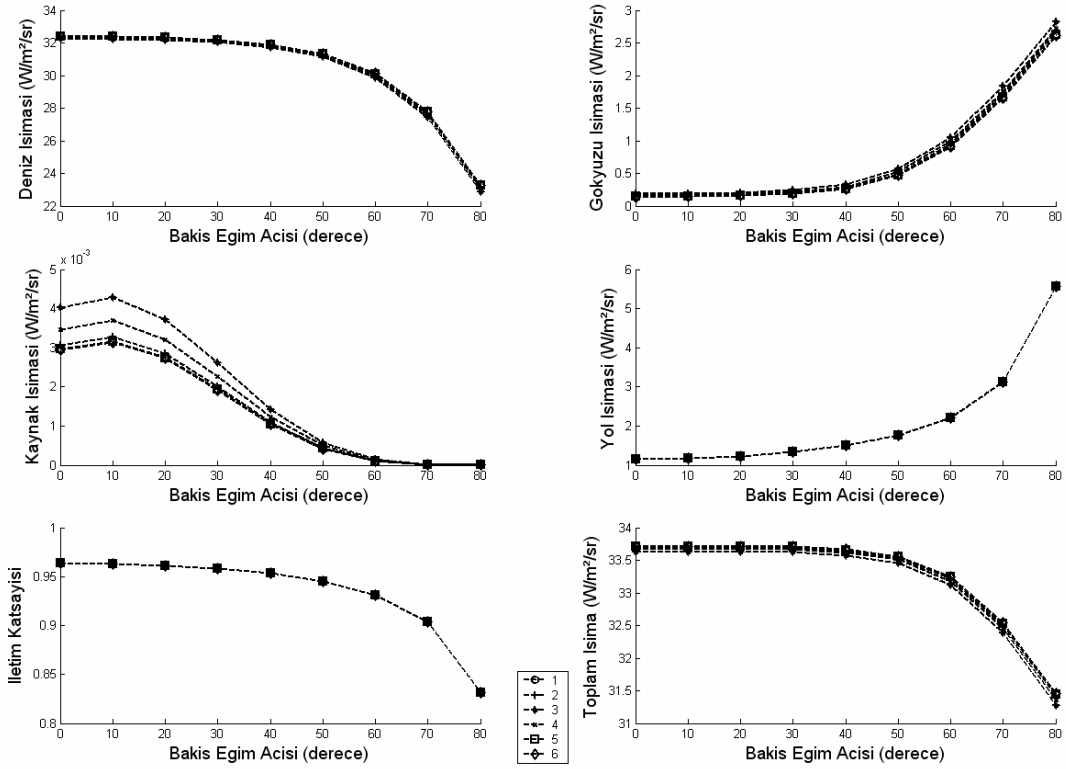
12 m/s rüzgar hızı durumunda tüm tuzluluk modelleri kullanılarak bakış eğim açısının değişimine karşılık çizdirilen toplam ısıma ve bileşenleri benzetim çıktıları 1-3 μm bandı için Şekil 6.33'te, 3-5 μm bandı için Şekil 6.34'te, 8-12 μm bandı için Şekil 6.35'te verilmektedir.



Şekil 6.33 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Rüzgar Hızı 12 m/s, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Tuzluluk Modelleri



Şekil 6.34 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Rüzgar Hızı 12 m/s, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Tuzluluk Modelleri



Şekil 6.35 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Rüzgar Hızı 12 m/s, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Tuzluluk Modelleri

6.1.10. Bulutluluk modeli ve bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri

Program, gözlemci Akdeniz’de (36°K, 31°D), 21.06.2006, yerel saat ile saat 10:00’da, rüzgar yönü 180°, rüzgar hızı 5m/s iken deniz suyu sıcaklığı 20 °C, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, deniz yüzeyi modeli Cox ve Munk temiz yüzey, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken gözlemci bakış eğim açısı 0°’den 80°’ye 10° çözünürlükle değişirken yazılımda bulunan tüm bulut modelleri için koşturuldu. Verilen senaryo şartları altında, yerel kordinatlarda gözlemcinin deniz yüzeyinde gördüğü noktaya gelen güneş başucu açısı 29°, yanca açısı 286° olarak hesaplanmaktadır. Yazılımda bulunan bulut modelleri Bulutsuz ve Yağmursuz, Kümüls Bulutlu (taban yüksekliği 0.66 km, tavan yüksekliği 2.7 km), Altostratus Bulutlu (taban yüksekliği 2.4 km, tavan yüksekliği 3.0 km), Stratus Bulutlu (taban yüksekliği 0.33 km, tavan yüksekliği 1.0 km), Stratus / Stratokümüls Bulutlu (taban yüksekliği 0.66 km, tavan yüksekliği 2 km) ve Nimbostratus Bulutlu (taban yüksekliği 0.16 km, tavan yüksekliği 0.66 km) modellerden oluşmaktadır.

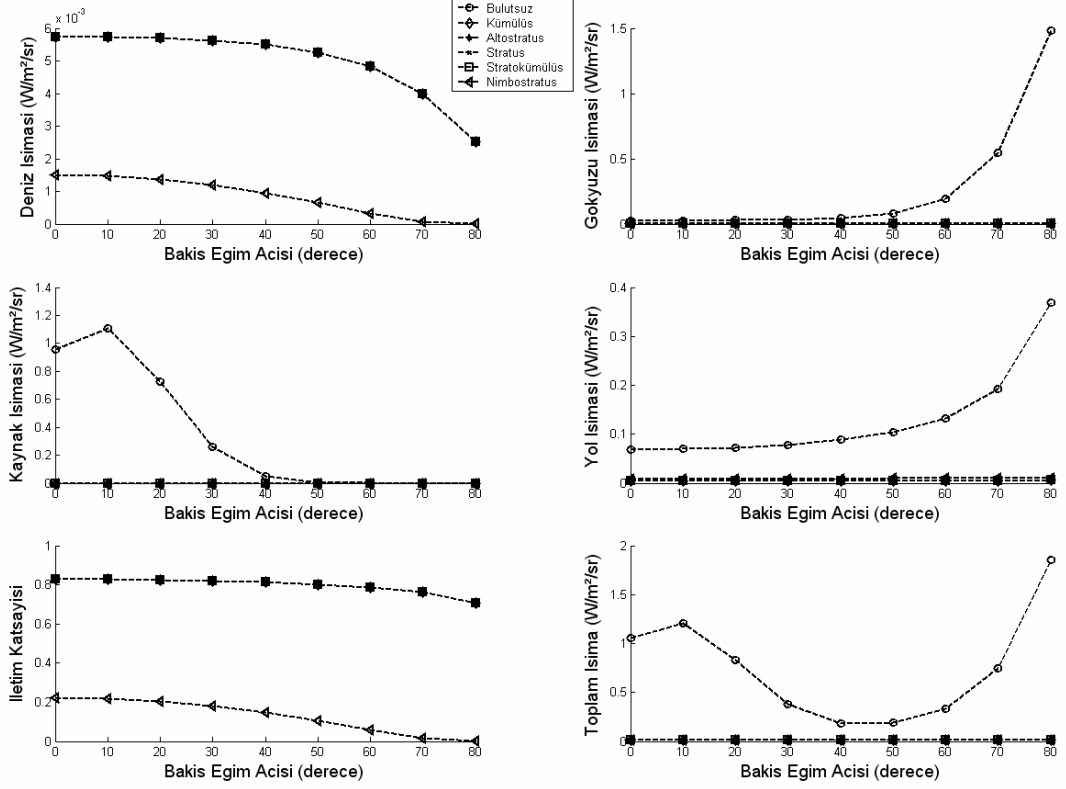
Nimbostratus bulutlu hava durumu dışında diğer yağmursuz hava koşulları iletim katsayısı ve termal deniz ışıması üzerinde bir etki yaratmamaktadır. 3-5 μm ile 8-12 μm bantlarında yol ışıması da benzer şekilde sadece Nimbostratus bulutlu hava durumunda farklı özellik göstermektedir. Yazılımda verilen bulut modelleri arasında en alçak olan bulutlar taban yüksekliği 160 m ile Nimbostratus bulutlarıdır. Bu senaryo kapsamında gözlemci 100 m'de bulunduğu ve Nimbostratus bulutları dışındaki bulutlar deniz seviyesinden ilk 100 m içinde etki göstermediklerinden, Nimbostratus dışındaki bulutların kullanılmasıyla hesaplanan yukarıda belirtilen bileşenlerin çıktılarında bulutsuza yakın değerler elde edilmektedir. Gözlemci konumuna göre çok daha yüksekte bulunan diğer bulutlar deniz yüzeyine gelen gökyüzü ve atmosfer ışımlarında etkili olmaktadır.

Bulutsuz hava durumunda iletim katsayısının ve deniz yüzeyine gelen ve dolayısıyla yansıyan güneş ışımasının maksimum olması beklenmektedir. Her üç dalgaboyu için bu beklenti sağlanmaktadır.

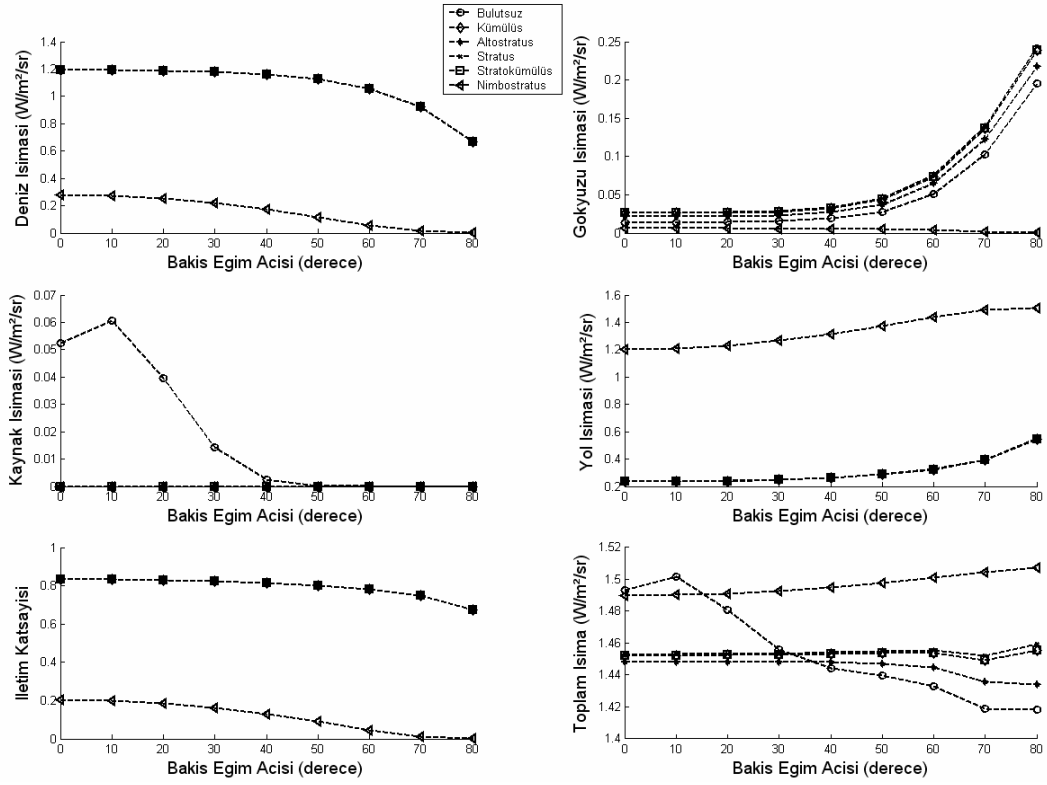
1-3 μm bandında güneş ışıması atmosferin parçacıklarının ya da denizin yaptığı ışımaya göre çok daha baskındır. Bu durum verilen grafiklerden de gözlenebilmektedir. Bu bantta atmosfer ışımlarını içeren gökyüzü ışıması ve yol ışıması bileşenlerini atmosferdeki parçacıklardan saçılan güneş ışıması oluşturmaktadır. Bu nedenle 1-3 μm 'de bulutlu havada daha fazla atmosfer parçacıkları bulunmasına ve bunların herbiri ışıma kaynağı olmasına rağmen bulutsuz havada daha az sayıda olan atmosfer parçacıklarından saçılan güneş ışıması çok daha yüksek ışıma değeri vermektedir. Böylece yansıyan atmosfer ışıması ve yol ışıması bulutsuz hava şartlarında bu bantta daha yüksek çıkmaktadır.

3-5 μm ve 8-12 μm bantlarında ise atmosfer parçacıklarının ve denizin yaptığı ışıma baskın hale gelmektedir. Güneş kaynaklı ışıma değerleri ise daha küçük olmaktadır. Senaryodaki gözlemci yüksekliği açısından etkili olan Nimbostratus bulutlu hava şartlarında, 3-5 μm ve 8-12 μm bantlarında, yol ışıması diğer bulut durumlarına göre daha yüksek değer vermektedir. Bu dalgaboyu bantlarında gelen gökyüzü ışıması bulutlu hava şartlarında yüksek olmakla birlikte Nimbostratus bulutlu hava için yansımaya katsayısı küçük olduğundan yansıyan gökyüzü ışıması Nimbostratus bulutlu havada diğerlerine göre daha küçük olmaktadır.

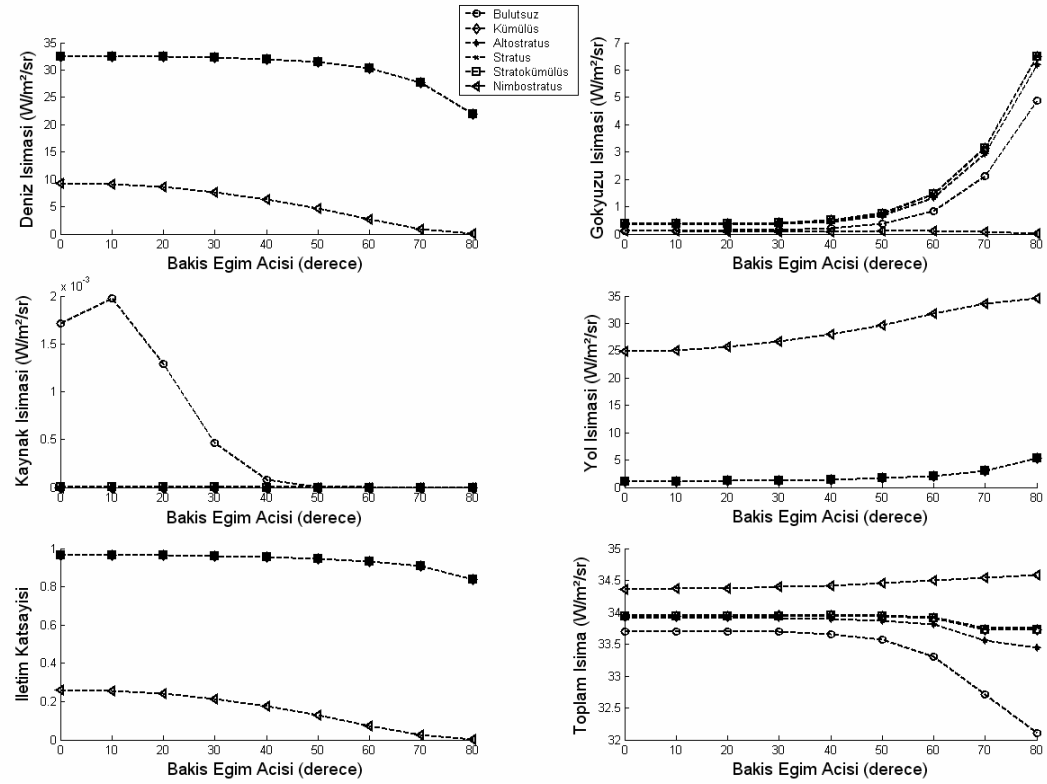
Bakış eğim açısı 0°'den 80°'ye değişirken, tüm bulut modellerine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri benzetim çıktıları 1-3 μm bandı için Şekil 6.36'da 3-5 μm bandı için Şekil 6.37'de 8-12 μm bandı için Şekil 6.38'de verilmektedir.



Şekil 6.36 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Bulut Modelleri



Şekil 6.37 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Bulut Modelleri



Şekil 6.38 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Bulut Modelleri

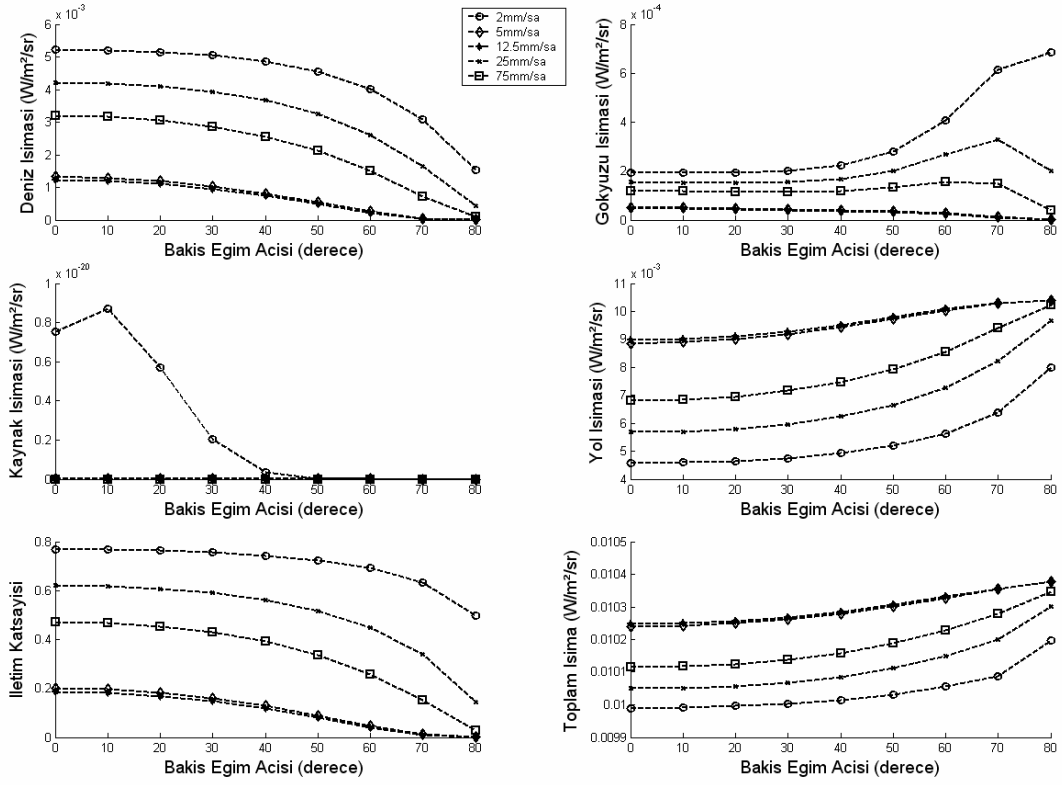
6.1.11. Yağmur modeli ve bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri

Program gözlemci Akdeniz'de (36°K, 31°D), 21.06.2006 tarihinde, yerel saat ile saat 10:00'da, rüzgar yönü 180°, rüzgar hızı 5m/s iken deniz suyu sıcaklığı 20 °C, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, deniz yüzeyi modeli Cox ve Munk temiz yüzey, dalgaboyu aralığı 1-3 µm, 3-5 µm ve 8-12 µm iken gözlemci bakış eğim açısı 0°'den 80°'ye 10° çözünürlükle değişirken yazılımda bulunan tüm yağmur modelleri için koşturuldu. Verilen senaryo şartları altında, yerel kordinatlarda gözlemcinin deniz yüzeyinde gördüğü noktaya gelen güneş başucu açısı 29°, yanca açısı 286° olarak hesaplanmaktadır.

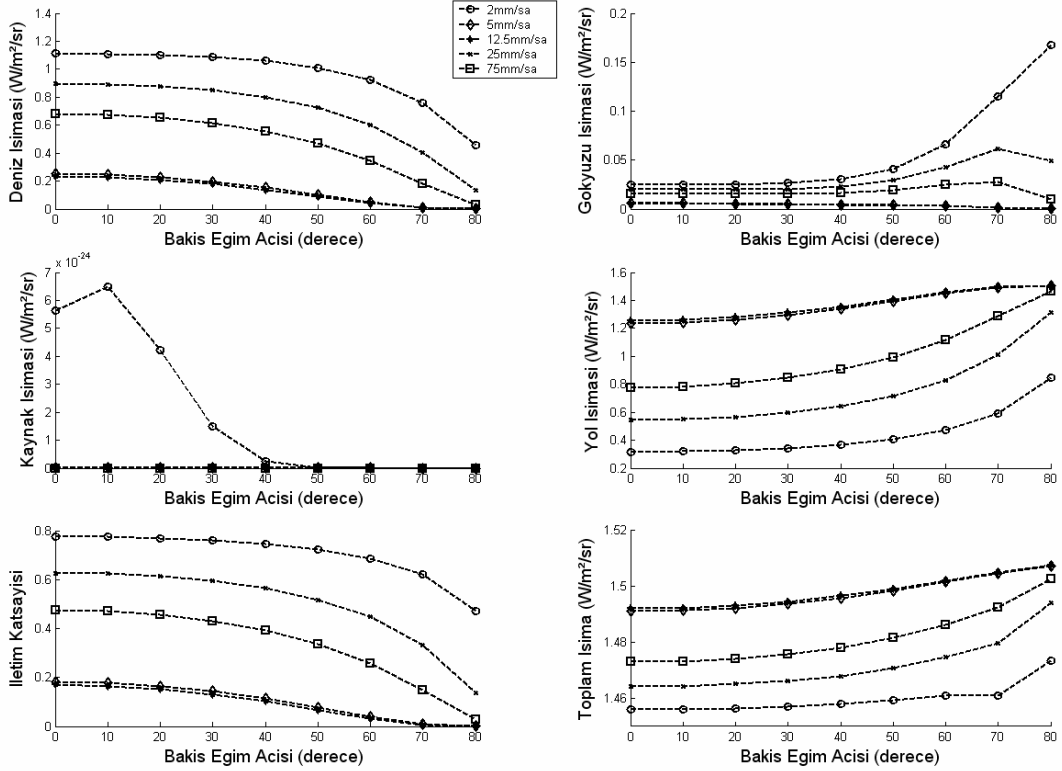
İletim katsayısı verilen senaryodaki gözlemci yüksekliği açısından en etkili olan Nimbostratus bulut şartlarında yağan 5 mm/sa ve 12 mm/sa yağmurlu senaryolarda en küçüktür. 2 mm/sa yağmurlu koşulda en yüksek değerine ulaşmakta ve 5 mm/sa ve 12 mm/sa dışındaki yağmur modelleri için yağmur oranının artmasıyla azalmaktadır.

1-3 µm bandında yağmurlu havada güneşin etkisi minimum olduğundan tüm bileşenler oldukça küçük değer vermektedir. Güneşin etkisinin ortadan kalktığı bu durumda her üç bant ortak yorumlanabilmektedir. Yol ışıması 5 mm/sa ve 12 mm/sa yağmurlu senaryolarda en yüksek, diğer durumlarda ise yağmur oranının azalmasıyla azalmaktadır. Yansıyan güneş ışımalarının değeri her üç bantta ve tüm yağmur durumlarında da sıfıra çok yakın olmakla birlikte en yüksek değerine en az yağmur durumu olan 2 mm/sa yağmurlu senaryolarda ulaşmaktadır. Termal deniz ışıması ve yansıyan gökyüzü ışıması bileşenleri yansıma katsayısıyla çarpılan bileşenler olduklarından davranış olarak yansıma katsayısıyla paralellik göstermektedirler.

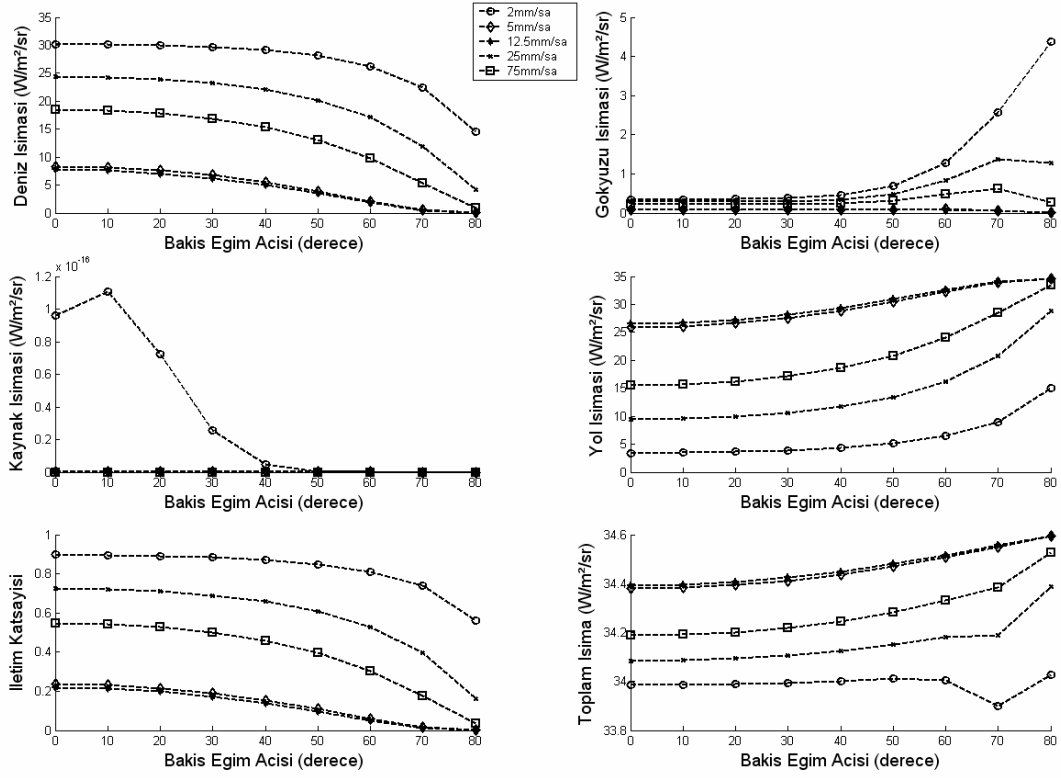
Elde edilen grafikler Şekil 6.39'da, Şekil 6.40'da ve Şekil 6.41'de verilmektedir. Yazılımda bulunan yağmur modelleri, 2.0 mm/sa yağış oranı ve Stratus Bulutları, 5.0 mm/sa yağış oranı ve Nimbostratus Bulutları, 12.5 mm/sa yağış oranı ve Nimbostratus Bulutları, 25.0 mm/sa yağış oranı ve Kümülüs Bulutları ve 75.0 mm/sa yağış oranı ve Kümülüs Bulutlarından oluşmaktadır.



Şekil 6.39: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Yağmur Modelleri



Şekil 6.40: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Yağmur Modelleri



Şekil 6.41: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Yağmur Modelleri

6.1.12. Mevsim ile saat ve bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ısıma ve bileşenleri

Program, gözlemci Akdeniz'de (36°K, 31°D), rüzgar yönü 180°, rüzgar hızı 5m/s iken, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, deniz yüzeyi modeli Cox ve Munk temiz yüzey, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken gözlemci bakış eğim açısı 0°, 30° ve 60° için bulutsuz ve 5 mm/sa bulutlu hava durumları için Çizelge 6.1'de verilen tarih ve saatlerde koşturuldu.

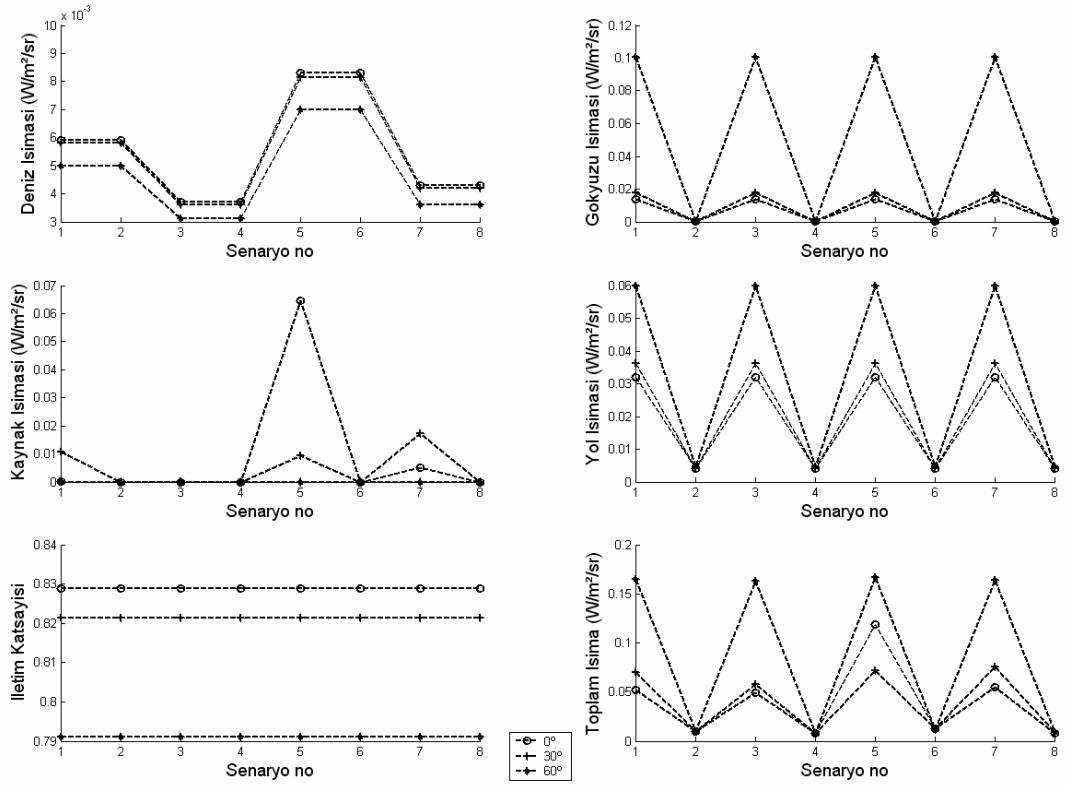
Çizelge 6.1 : Senaryo Koşulları

Senaryo No	Tarih	Saat	Deniz Suyu Sıcaklığı (°C)
1	15.10.2006	10:00	20.5
2	15.10.2006	22:00	20.5
3	15.01.2006	10:00	12.5
4	15.01.2006	22:00	12.5
5	15.07.2006	10:00	26.5
6	15.07.2006	22:00	26.5
7	15.04.2006	10:00	15
8	15.04.2006	22:00	15

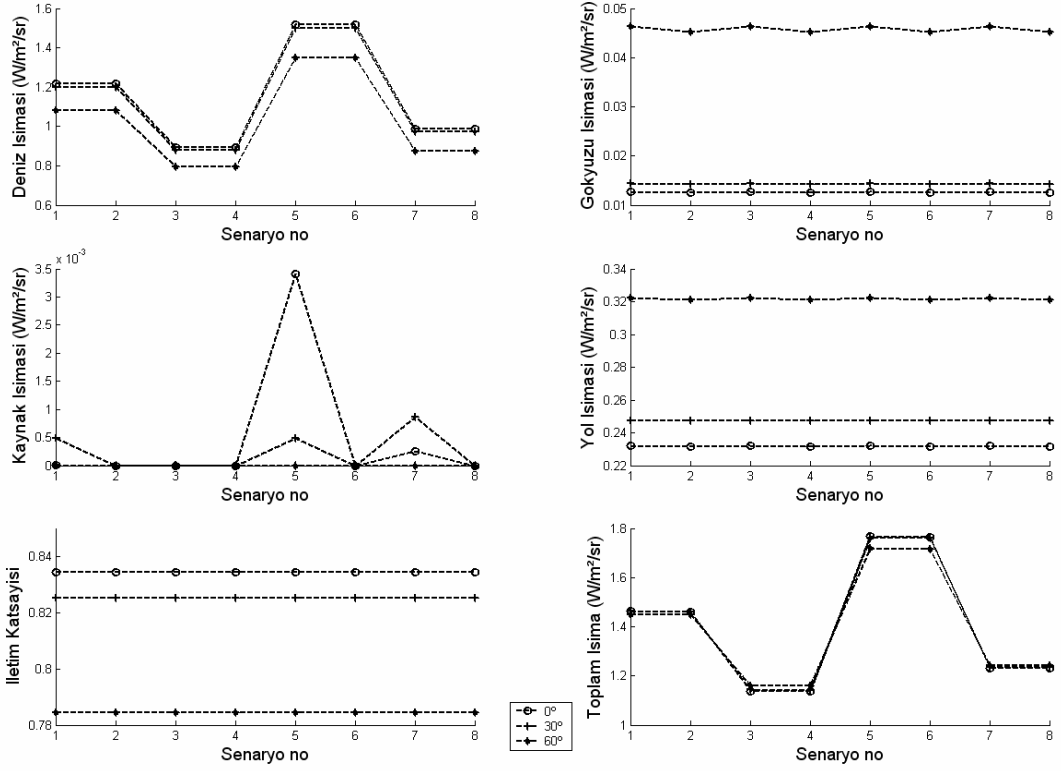
Orta enlem ilkbahar-yaz modeline göre bu bölgede yaz mevsiminde buharlaşmanın fazla olmasıyla hava daha nemli olduğu için iletim katsayısı tüm dalgaboyu bantlarında yaz senaryolarında daha küçüktür. Diğer mevsimlerde iletim katsayısı değişim göstermemektedir. Beklentilere paralel olarak, yansıyan kaynak ışıması gece saatinde kaynak ay olduğundan sıfıra yakın olmakta ve her üç bantta da en yüksek değerine yazın ulaşmakta ilkbaharda sonbahara göre daha fazla yansıyan güneş ışıması elde edilmektedir.

Gece güneşin etkisi ortadan kalktığı için en baskın güneş kaynaklı ışımlar elde edilen 1-3 μm bandında gece senaryolarında yol ışımları sıfıra çok yakın olmaktadır. Diğer bantlar için yazın atmosferdeki su buharı parçacıklarının sayısı daha fazla olduğundan yazın daha yüksek yol ışıması ve yansıyan gökyüzü ışıması elde edilmiştir. Tüm senaryolarda deniz suyu sıcaklığı eşit alındığından ve yazın iletim katsayısı daha küçük olduğundan yaz senaryolarında termal deniz ışıması daha küçük çıkmıştır. Elde edilen grafikler Şekil 6.42, Şekil 6.43 ve Şekil 6.44'te verilmektedir.

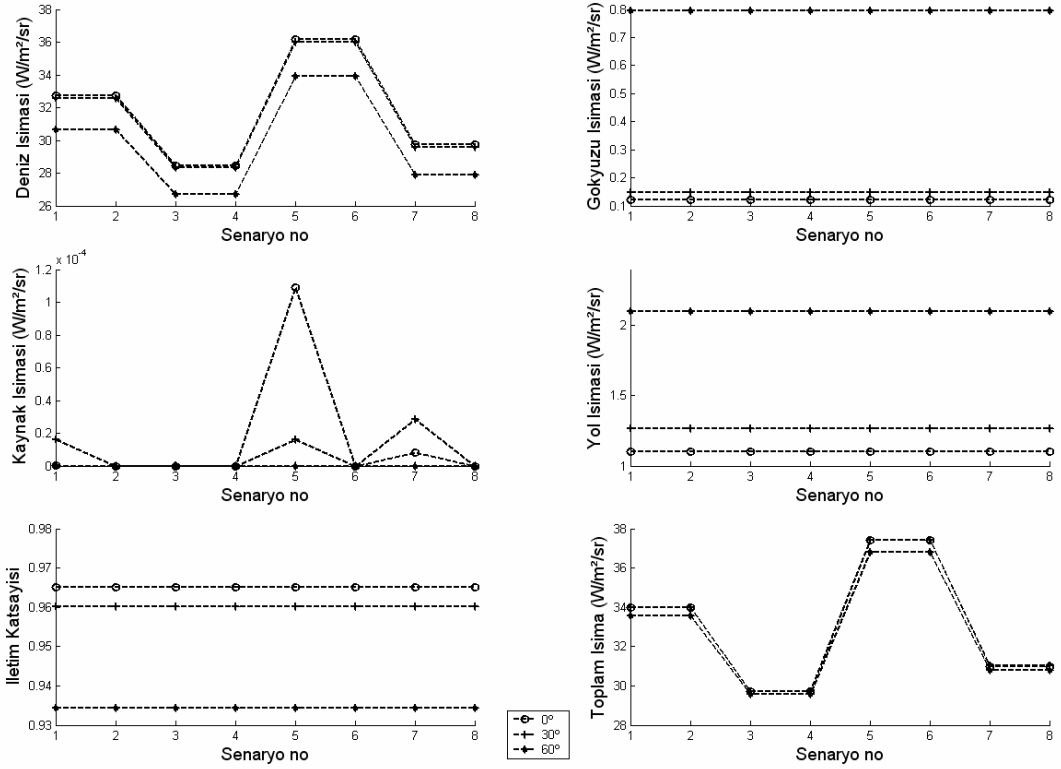
Yağışlı hava koşullarında elde edilen grafikler ise Şekil 6.45, Şekil 6.46 ve Şekil 6.47'de verilmektedir.



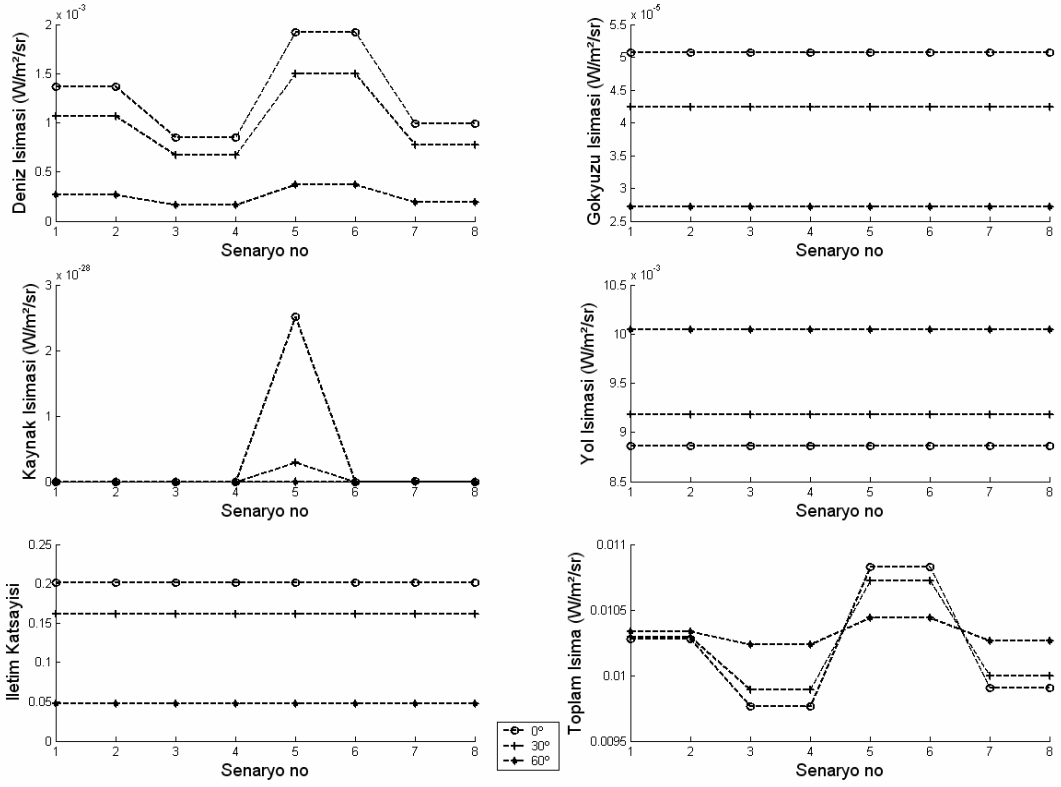
Şekil 6.42 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Açık Hava, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Mevsim ile Saat



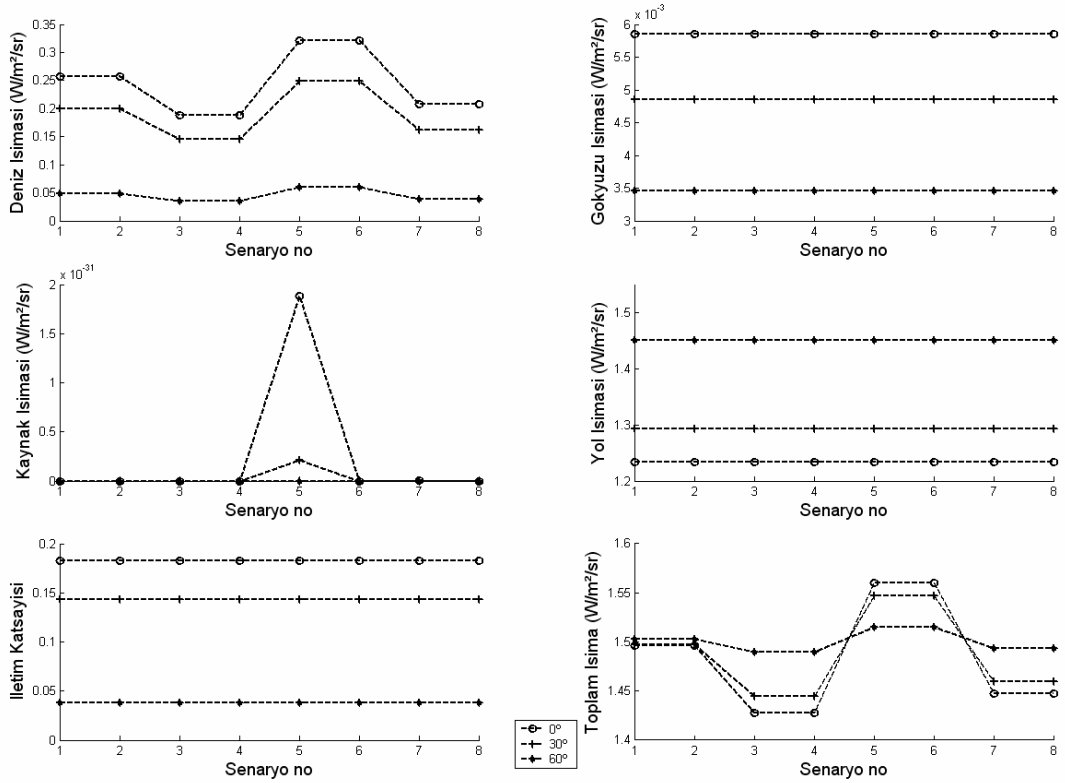
Şekil 6.43 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Açık Hava, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Mevsim ile Saat



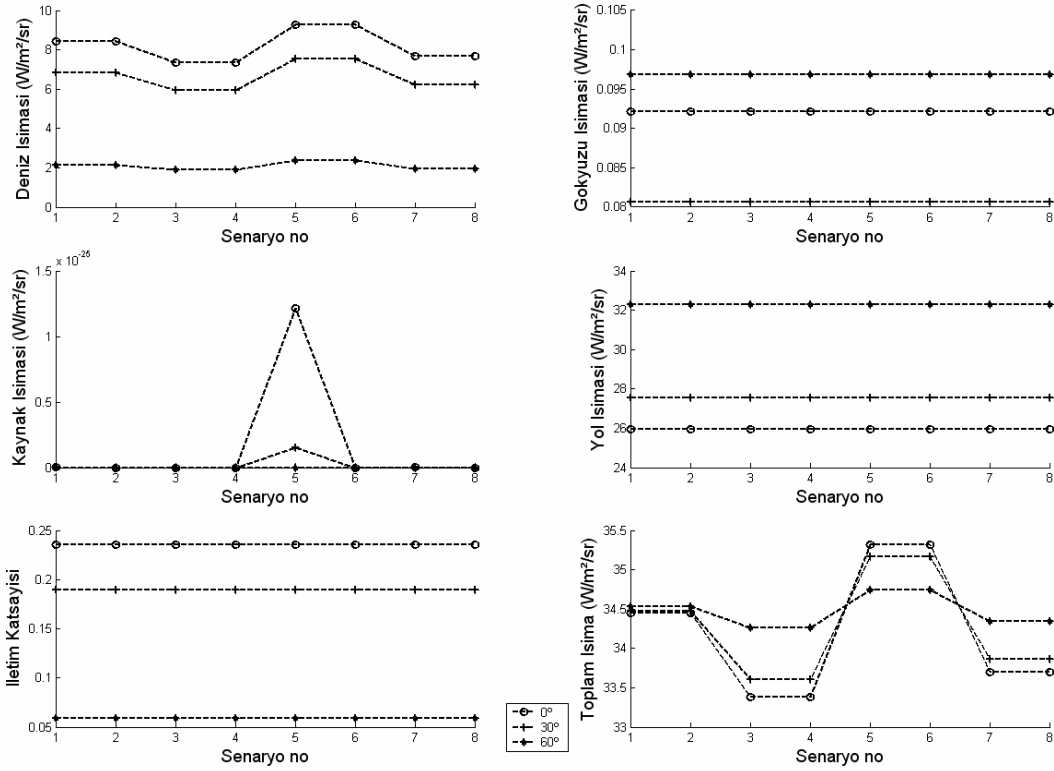
Şekil 6.44 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Açık Hava, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Mevsim ile Saat



Şekil 6.45 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Yağışlı Hava, Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Mevsim ile Saat



Şekil 6.46 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Yağışlı Hava, Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Mevsim ile Saat



Şekil 6.47 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Yağışlı Hava, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Mevsim ile Saat

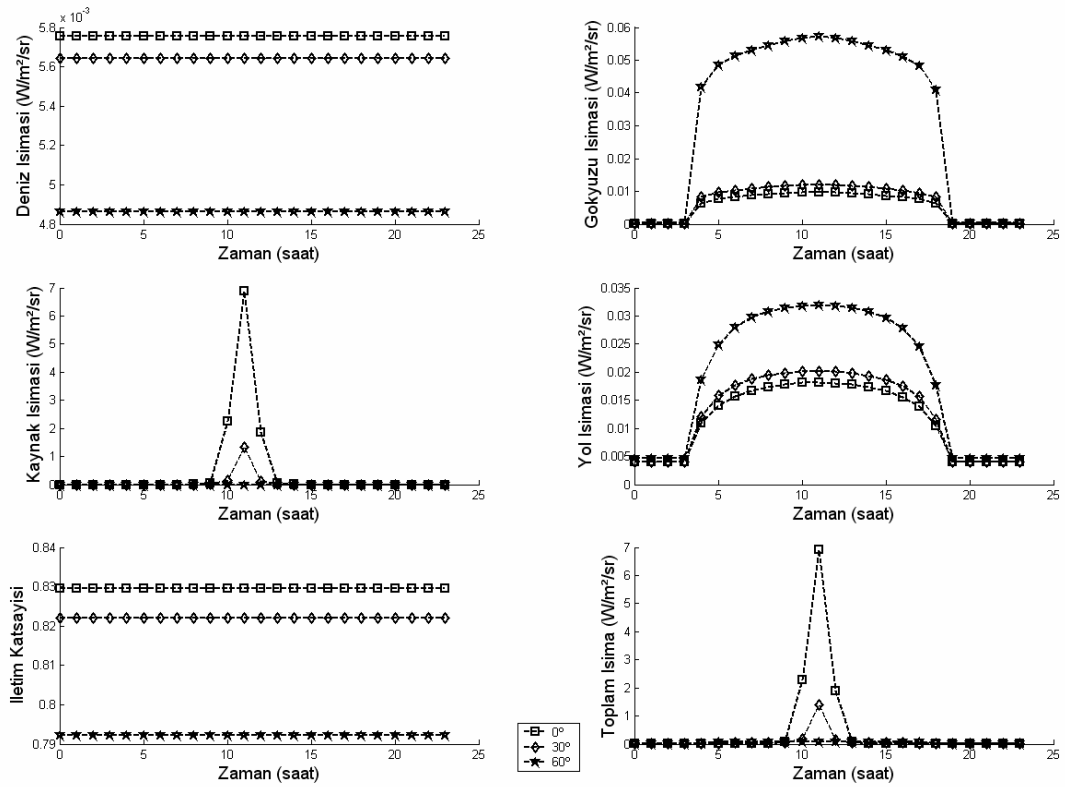
6.1.13. Saat ve bakış eğim açısı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri

Program gözlemci Akdeniz’de (36°K, 31°D), 21.06.2006, rüzgar yönü 180° bulutsuz ve açık havada, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, deniz yüzeyi modeli Cox ve Munk temiz yüzey, rüzgar hızı 1 m/s, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken gözlemci bakış eğim açısı 0°, 30° ve 60° için yerel saat 0’dan 23’e 1 saat çözünürlükle değiştirilerek oluşturuldu.

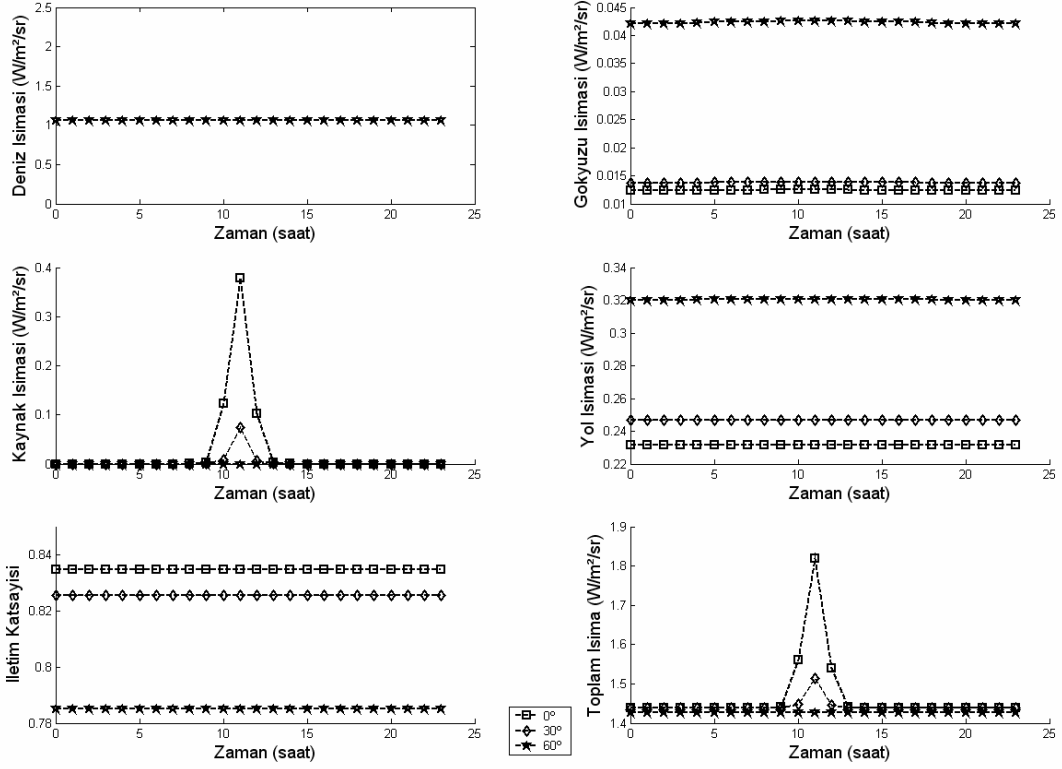
Gündüz öğlen saatlerinde, güneşin en tepede olduğu saatlerde yansıyan kaynak ışıması tüm bantlarda artış göstermektedir. Bu artış toplam ışımayı en fazla 1-3 μm bandında etkilemektedir. Rüzgar hızının 1m/s olduğu durumda en yüksek yansıyan güneş ışıması 0° bakış eğim açısıyla elde edilmektedir. Bakış eğim açısının artması ile yansıyan güneş ışıması azalış göstermektedir. Yansıyan gökyüzü ışıması ile yol ışıması 1-3 μm bandında saat değişiminden etkilenmektedir. Gündüz saatlerinde yol ışıması ve yansıyan gökyüzü ışıması daha fazla olmaktadır, çünkü bu bantta atmosferdeki ışımalarda parçacıkların sıcaklıkları

değil, saçılan güneş ışıması etkindir. Diğer bantlarda yansıyan kaynak ışıması dışındaki bileşenler saat değişiminden fazla etkilenmemektedir. Bakış eğim açısının artması ile 1-3 μm bandında yol ışıması ve yansıyan gökyüzü ışıması artmaktadır.

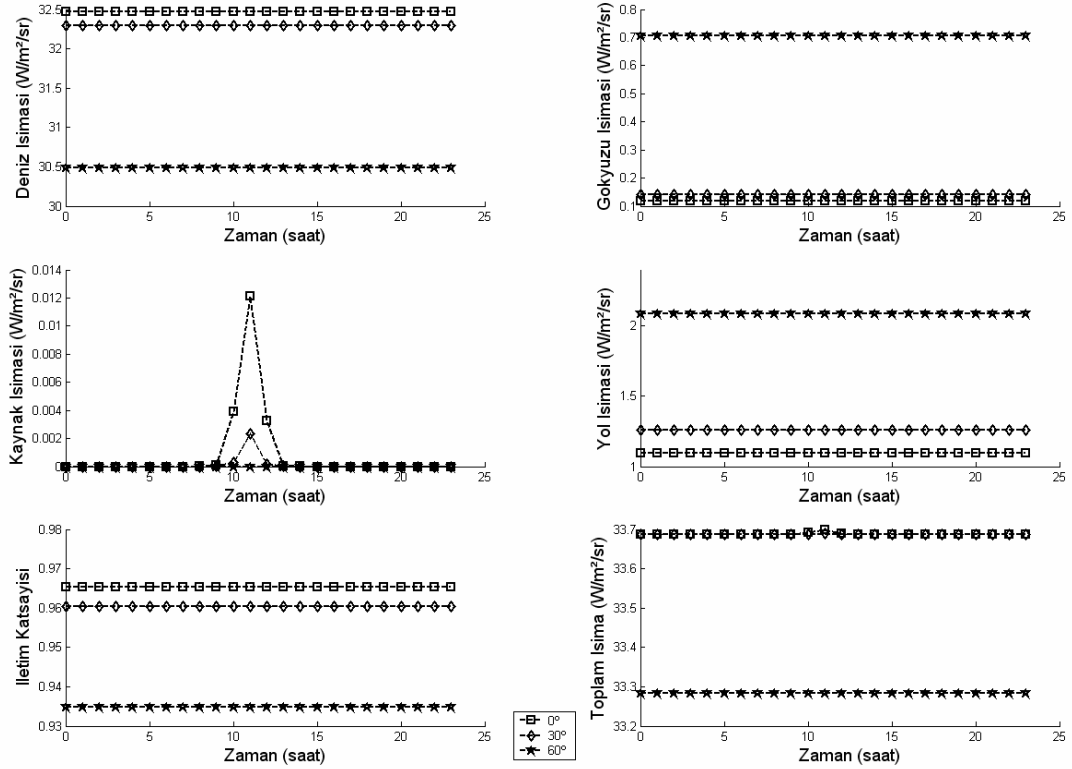
Gün içinde saat değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenlerinin değişimi 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bandında sırası ile Şekil 6.48, Şekil 6.49 ve Şekil 6.50'de verilmektedir.



Şekil 6.48: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Saat



Şekil 6.49: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Saat

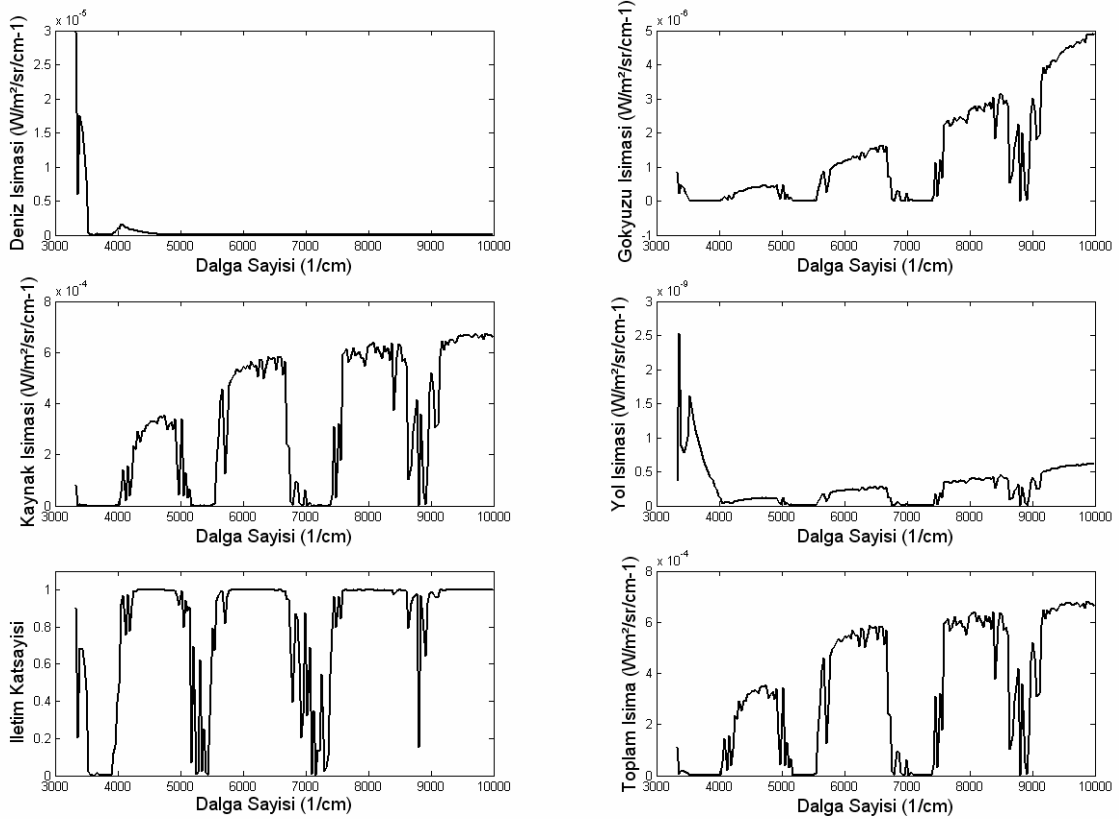


Şekil 6.50: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Saat

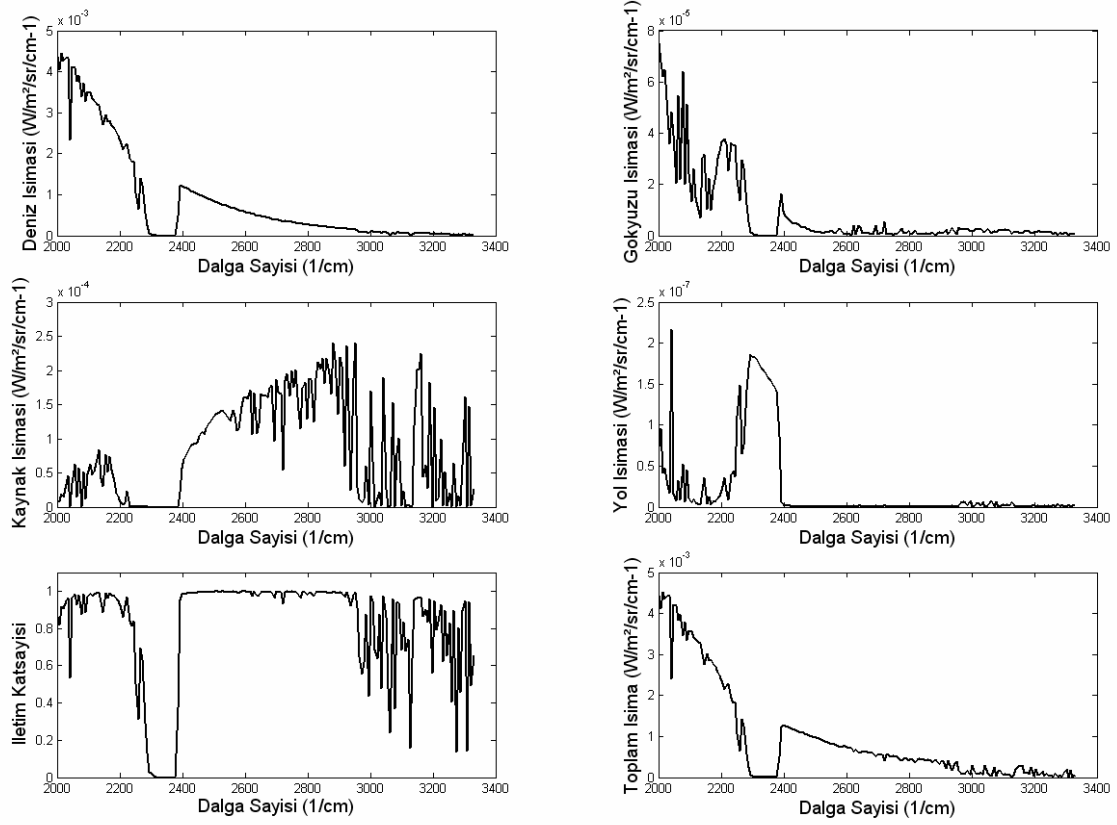
6.1.14. Spektral toplam ışıma ve bileşenleri

Program gözlemci Akdeniz'de (36°K, 31°D), 21.06.2006, yerel saat 11, rüzgar yönü 180° bulutsuz ve açık havada, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış eğim açısı 0°, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, deniz yüzeyi modeli Cox ve Munk temiz yüzey, rüzgar hızı 1 m/s, dalgaboyu çözünürlüğü 0.01 μm , dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken koşturuldu. Toplam ışıma ve bileşenleri dalgasayısına karşılık spektral olarak elde edildi. Elde edilen çıktılar Şekil 6.51, Şekil 6.52 ve Şekil 6.53'te verilmektedir.

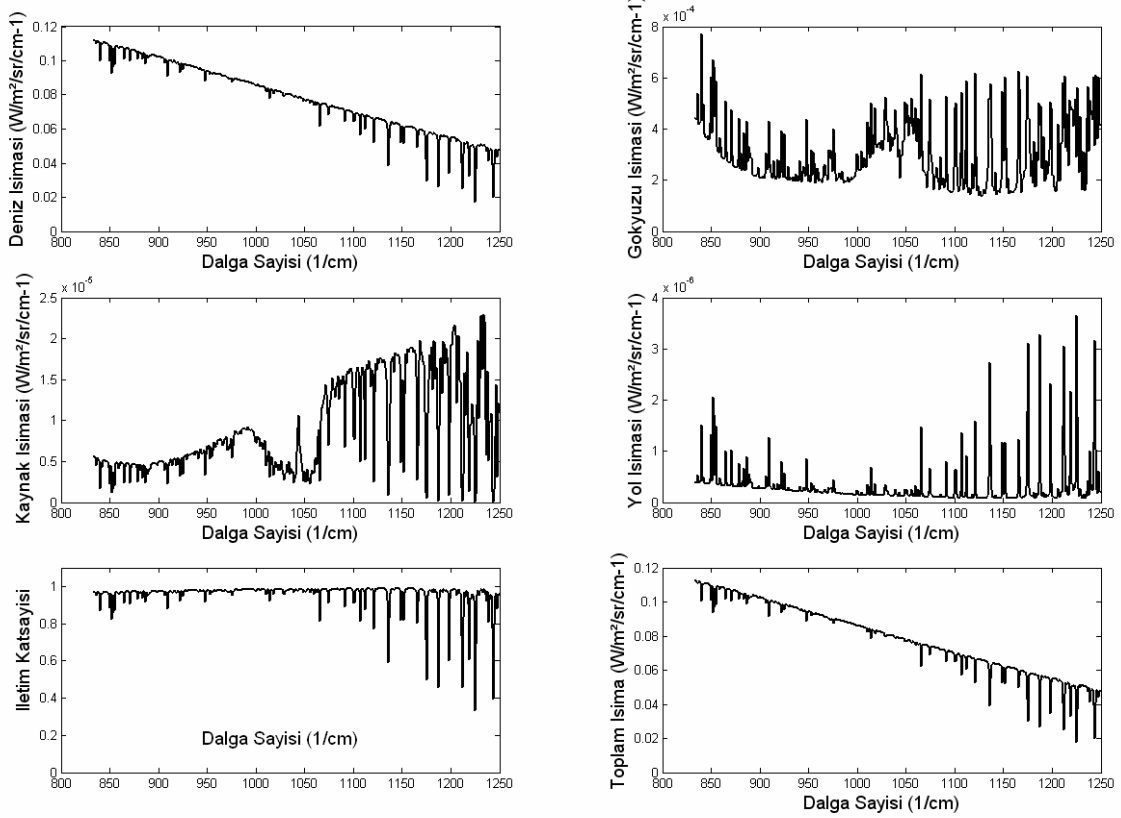
1-3 μm ve 3-5 μm bantlarında iletim katsayısı bileşeninde pencereler görülmektedir. İletim katsayısındaki bu pencereler ölçüm sonuçlarına dayanılarak elde edilen Şekil 2.5 ile uyumludur. 8-12 μm bandında ise pencereler gözlenmemektedir. Spektral olarak elde edilen toplam ışmanın 1-3 μm bandında 10^{-4} , 3-5 μm bandında 10^{-3} ve 8-12 μm bandında 10^{-1} 'in katları boyutunda olduğu görülmektedir. Spektral çıktılarda da 1-3 μm bandında kaynak ışmasının, 8-12 μm bandında deniz ışmasının baskın olduğu gözlenmektedir.



Şekil 6.51: Spektral Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm



Şekil 6.52: Spektral Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm



Şekil 6.53: Spektral Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm

6.2. Deniz Yüzeyi Modellerinin Çıktılar Üzerindeki Etkileri

Bu bölümde deniz yüzeyi modeli seçiminin çıktılar üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.

6.2.1. Rüzgar hızı değişimine karşılık toplam ısıma ve bileşenleri üzerinde deniz yüzeyi modellerinin etkileri

Bu bölümde 1-3 μm , 3-5 μm , 8-12 μm bantlarında, rüzgar hızının 2 m/s'den 20 m/s'ye 2m/s'lik adımlarla artmasının ve deniz yüzeyi modeli seçiminin çıktılar üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.

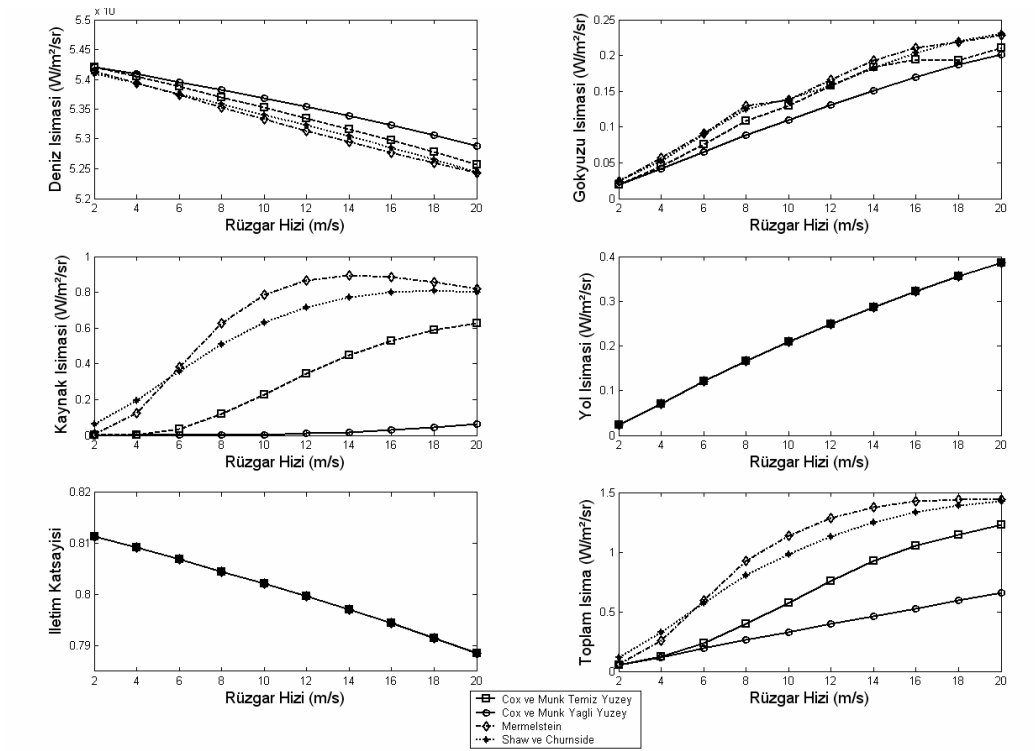
Program, gözlemci Akdeniz'de (36°K, 31°D), 21.06.2006 tarihinde, yerel saat ile saat 10:00'da, bulutsuz ve açık havada, rüzgar yönü 180°, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, gözlemci bakış eğim açısı 45°, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken her bir deniz yüzeyi modeli için, 24 saatlik ortalama ve anlık rüzgar hızı 2 m/s'den 20 m/s'ye 2m/s'lik adımlarla artarken yazılım koşturuldu. Verilen senaryo şartları altında, yerel kordinatlarda gözlemcinin deniz yüzeyinde gördüğü noktaya gelen güneş başucu açısı 29°, yanca açısı 286° olarak hesaplanmaktadır.

Verilen senaryo şartları altında her üç dalgaboyu bandı ve dört deniz yüzeyi modeli için elde edilen çıktıları bakıldığında termal deniz ışıması ve atmosferik iletim katsayısında azalış, yansıyan güneş ışıması, yansıyan atmosfer ışıması ve yol ışımasında artış gözlenmektedir. 1-3 μm bandında baskın olan yansıyan gökyüzü ışıması ve yol ışıması bileşenlerinin etkisiyle rüzgar hızının artmasıyla toplam ısıma artmaktadır. 3-5 μm bandında toplam ışımayı oluşturan bileşenlerden termal deniz ışıması daha baskındır. Rüzgar hızının artmasıyla yol ışıması ve yansıyan güneş ışımasındaki artışın, termal deniz ışımasındaki azalıştan fazla olması sebebiyle bu bantta rüzgar hızının artmasıyla toplam ısıma artmaktadır. 8-12 μm bandında termal deniz ışıması ve yol ışıması baskın olduğundan toplam deniz ışımasındaki değişim çok az olmaktadır. Rüzgar hızı değişimine karşılık yansıyan ısıma bileşenlerinde en büyük değişim Mermelstein modeliyle görülmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur çünkü Mermelstein modeli eğim varyanslarının karekökleri ile rüzgar hızının karesi arasında bir bağıntı vermekte,

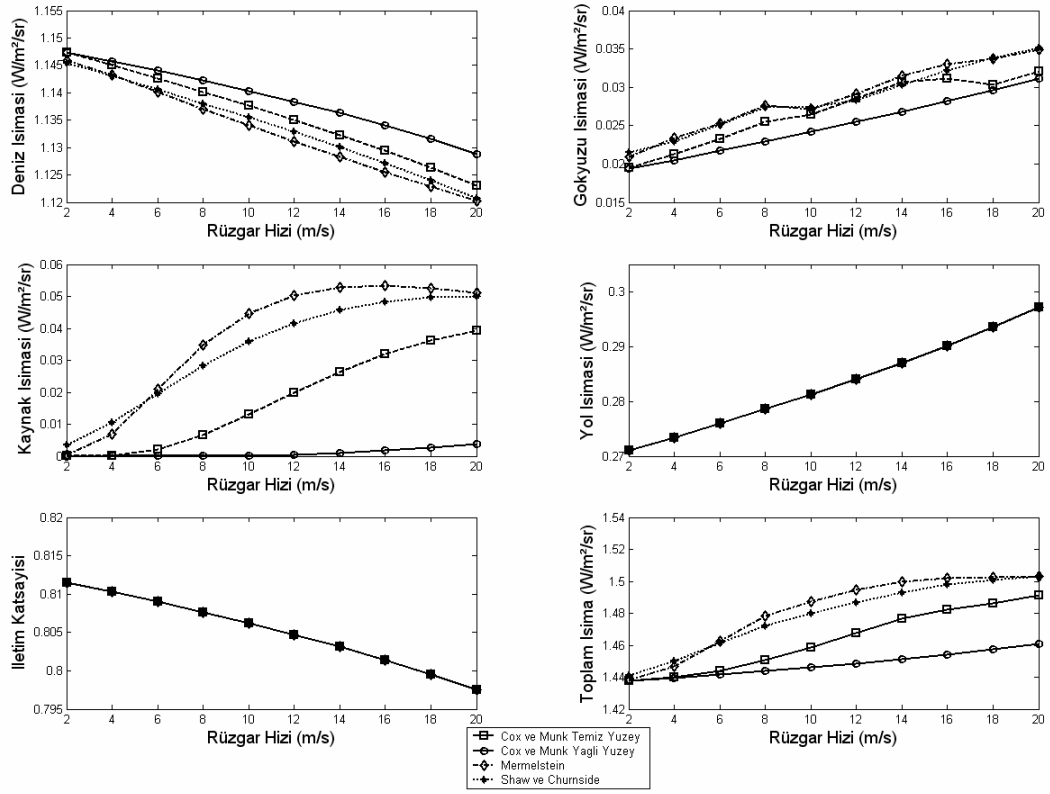
diğer modeller ise eğimlerin varyansları ile rüzgar hızı arasında birinci dereceden bir ilişki kurmaktadır.

Deniz yüzeyi modelindeki farklılık en çok etkiyi beklendiği üzere tam bir yansıma olayı olan yansıyan güneş ışıması üzerinde yaratmaktadır. Deniz yüzeyi modelindeki farklılık atmosferik iletim katsayısı ve yol ışıması değişimini etkilememektedir çünkü bu bileşenler deniz yüzeyinden yansımaya uğramamaktadır.

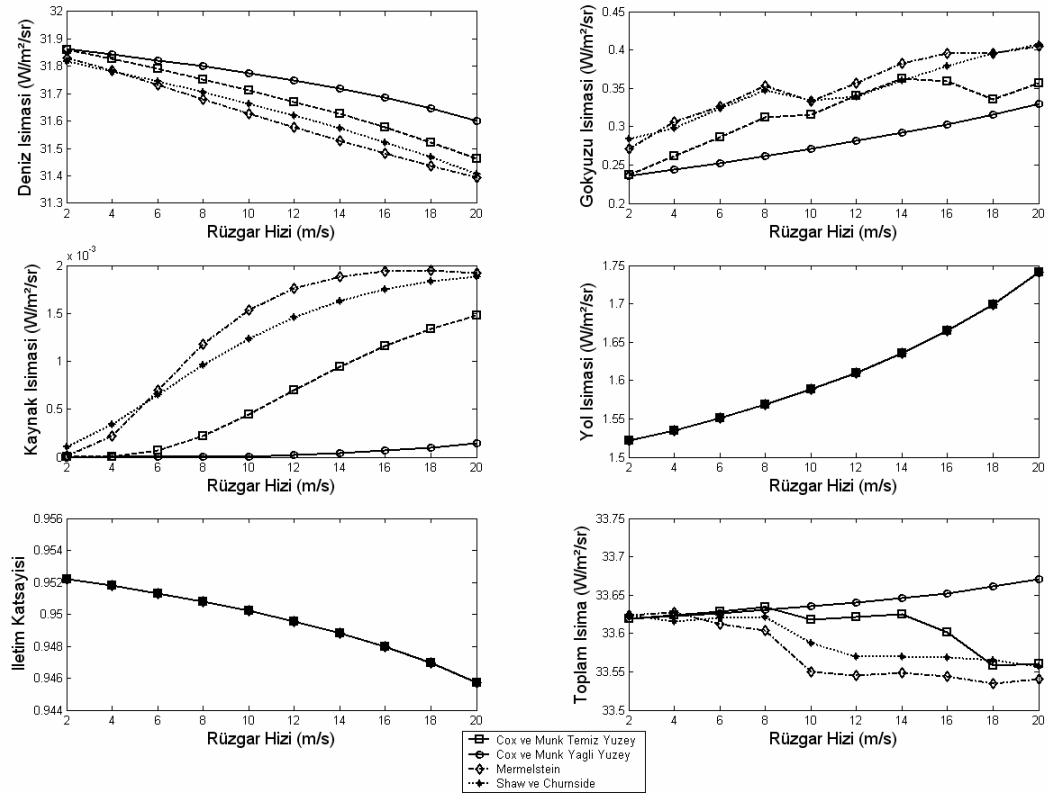
Rüzgar hızı 2 m/s'den 20 m/s'ye değişirken, tüm deniz yüzeyi modelleri için 1-3 μm bandında toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışını gösteren grafikler Şekil 6.54'te, 3-5 μm bandındaki grafikler Şekil 6.55'te ve 8-12 μm bandındaki grafikler Şekil 6.56'da verilmektedir.



Şekil 6.54 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Rüzgar Hızı 2 m/s-20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



Şekil 6.55 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Rüzgar Hızı 2 m/s-20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



Şekil 6.56 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm Rüzgar Hızı 2 m/s-20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri

6.2.2. Bakış eğim açısı ve rüzgar hızı değişimine karşılık toplam ışıma ve bileşenleri üzerinde deniz yüzeyi modellerinin etkileri

Bu bölümde 1 m/s, 4 m/s, 7.5 m/s, 10 m/s, 15 m/s ve 20 m/s rüzgar hızları için, herbir deniz yüzeyi modeli kullanılarak bakış eğim açısı 0°'den 80°'ye değişirken toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışlarını gösteren grafikler sunulmuştur. Güneşin geliş açısının değişimler üzerindeki etkisini kaldırmak için güneşin geliş başucu ve yanca açıları 0° olarak ayarlanmıştır.

Program, gözlemci Akdeniz'de (36°K, 31°D), güneşin geliş başucu ve yanca açıları 0°, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, rüzgar yönü 180° bulutsuz ve açık havada, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, dalgaboyu aralığı 1-3 µm, 3-5 µm ve 8-12 µm iken, anlık ve ortalama rüzgar hızı 1 m/s, 4 m/s, 7.5 m/s, 10 m/s, 15 m/s ve 20 m/s için, gözlemci bakış eğim açısı 0°'den 80°'ye 10° çözünürlükle değişirken herbir deniz yüzeyi modeli ile koşturulmuştur.

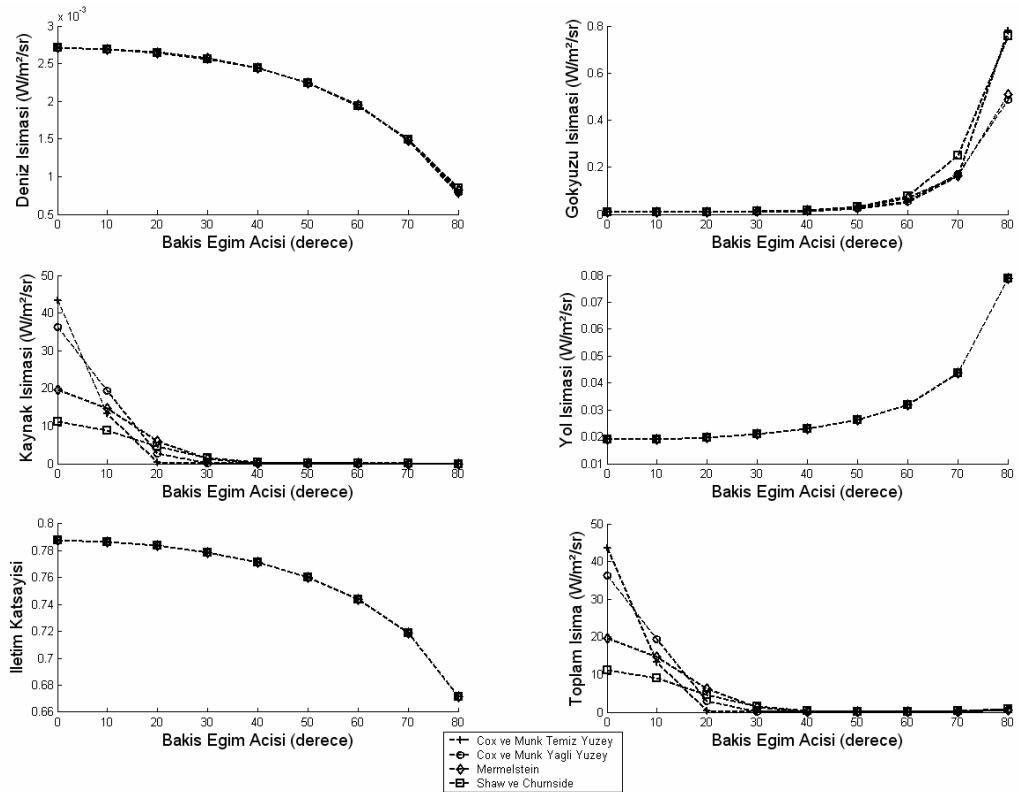
Toplam ışımayı oluşturan bileşenlerden atmosferik iletim katsayısı ve yol ışıması deniz yüzeyi modeli seçimine bağlı değildir, çünkü deniz yüzeyinden yansımaya uğramazlar. Bu durum grafiklerde gözlenmektedir. Deniz yüzeyinden yansıyan bileşenler arasında deniz yüzeyi modeli değişiminden en az etkilenen bileşen termal deniz ışımasıdır. Bu beklenen bir durumdur, çünkü denizin kendi sıcaklığından dolayı yayılan ışıma her yönde eşit olarak dağılmaktadır ve termal deniz ışımasının, gözlemciye ne oranda ulaşacağını belirleyen deniz yüzeyi eğimlerine bağlılığı diğer bileşenlere göre çok daha azdır. Yansıyan gökyüzü ışıması, bakış eğim açısı yaklaşık 60°'ye gelene kadar deniz yüzeyi modeli seçiminden etkilenmemekte, 60°'den sonra ise bakış eğim açısı ve rüzgar hızının artmasıyla etkilenmektedir.

Deniz yüzeyi modeli seçimin en çok etkilediği bileşen beklendiği gibi yansıyan güneş ışımasıdır, çünkü belli bir açıyla gelen güneş ışımasının gözlemci bakış eğim açısı doğrultusunda ne oranda yansıtacağı tamamen deniz yüzeyi parçacıklarının eğimlerine bağlıdır. Dolayısıyla bu eğimlerin değişimlerini ifade eden deniz yüzeyi model seçimi yansıyan güneş ışıması çıktılarını doğrudan etkilemektedir. Bu durum verilen grafiklerde de gözlenmektedir. Her üç dalgaboyu bandı için elde edilen çıktılarına bakıldığında rüzgar hızının artmasıyla Mermelstein

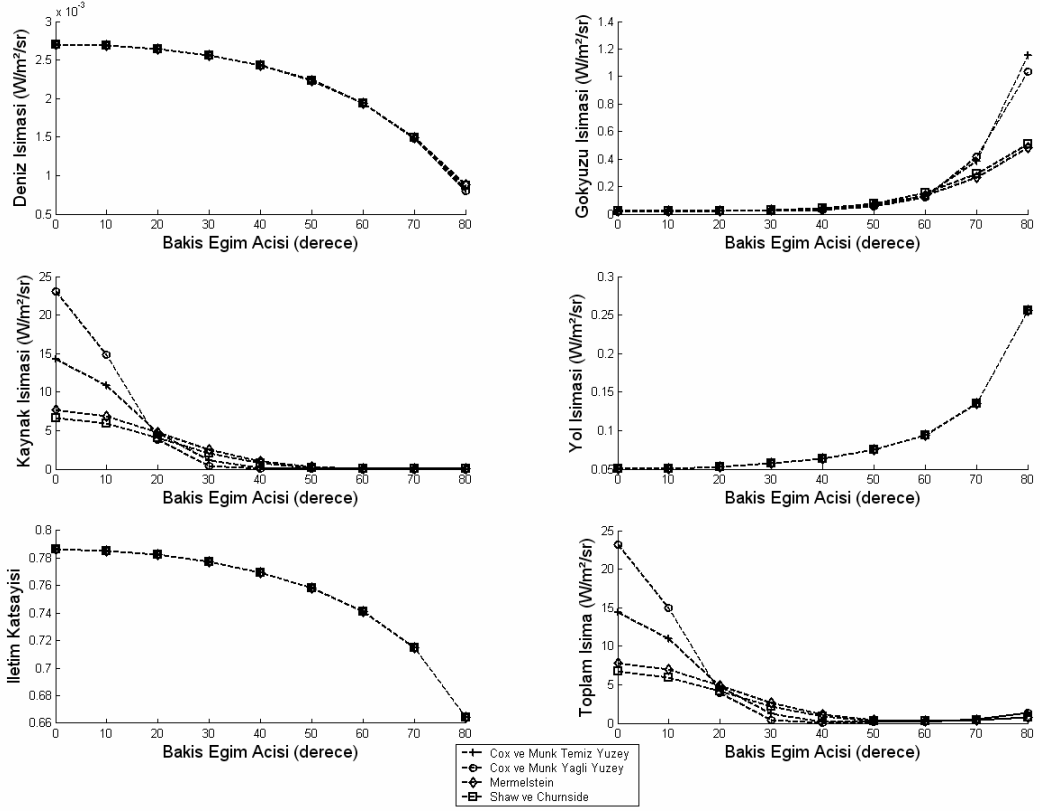
ve Shaw-Churnside modelleriyle elde edilen çıktıların birbirlerine yaklaştıkları gözlenmektedir. Her üç dalgaboyu bandında da 1 m/s rüzgar hızı dışındaki rüzgar hızları için güneşin geliş açısı doğrultusundaki yani 0°'deki bakış eğim açısında en yüksek yansıyan güneş ışıması değeri Cox ve Munk'un yağ tabakalı deniz yüzeyi modeli ile elde edilmiştir. Buradan çıkarılabilecek sonuç, yağ tabakalı deniz yüzeyinin gelen ışımayı daha az saçıyor olmasıdır. 1 m/s rüzgar hızında ise yansıyan güneş ışıması en yüksek değerine Cox ve Munk'un temiz deniz yüzeyi modeli ile ulaşmaktadır.

Deniz yüzeyi modeli seçimine toplam ışımanın davranışını genellemek uygun olmayacaktır. Herbir dalgaboyu ve rüzgar hızı için bileşenlerinin katkılarını değerlendirerek ayrı ayrı yorumlamak gerekmektedir.

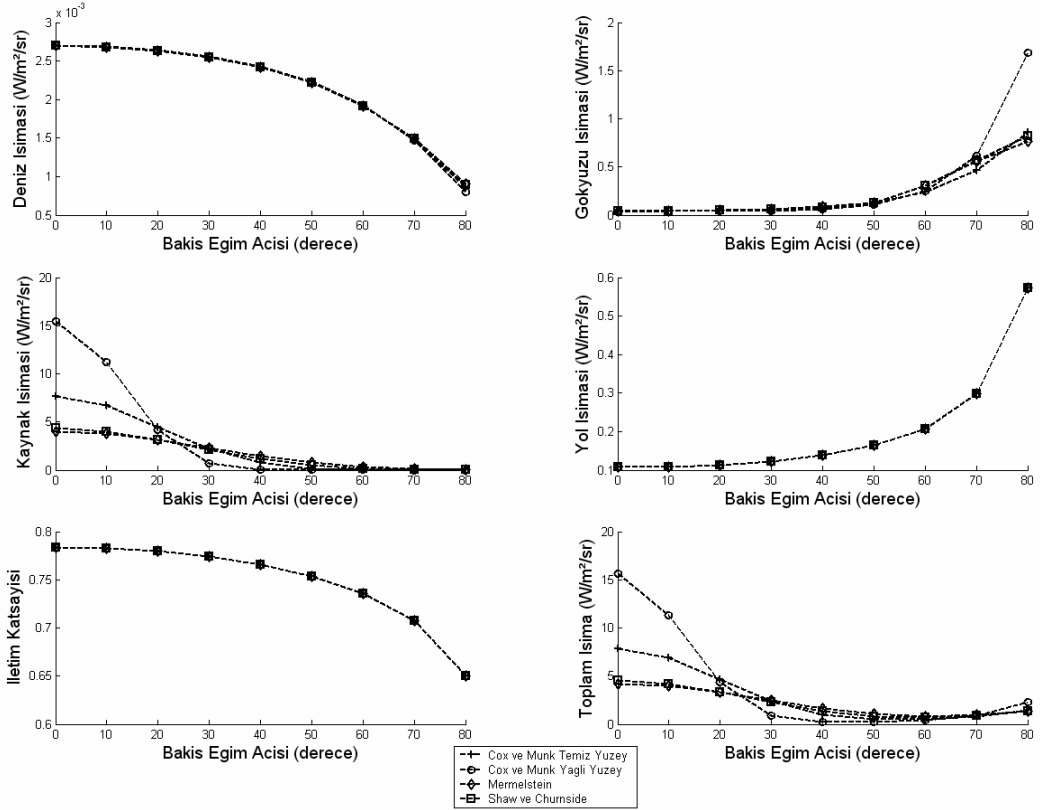
Bakış eğim açısı 0°'den 80°'ye değişirken, tüm istatistiksel deniz yüzeyi modelleri kullanılarak 1 m/s, 4 m/s, 7.5 m/s, 10 m/s, 15 m/s ve 20 m/s rüzgar hızları için 1-3 μ m bandında toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışını gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.57, Şekil 6.58, Şekil 6.59, Şekil 6.60, Şekil 6.61 ve Şekil 6.62'de verilmektedir.



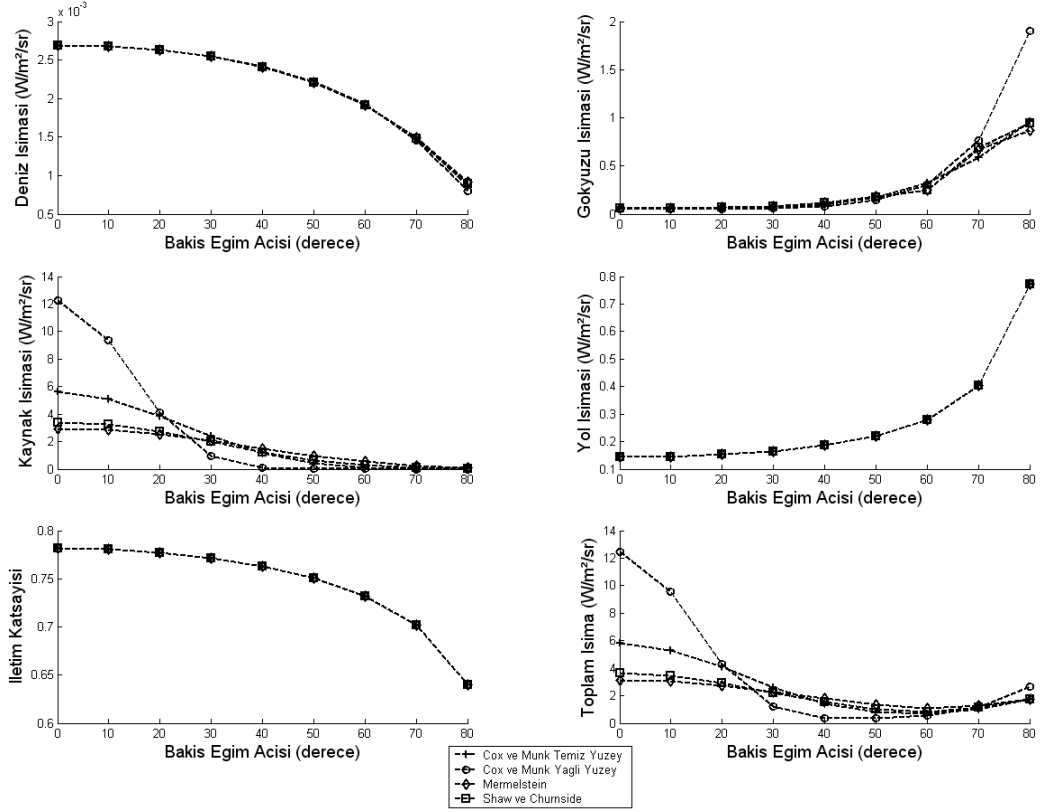
Şekil 6.57 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μ m, Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 1 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



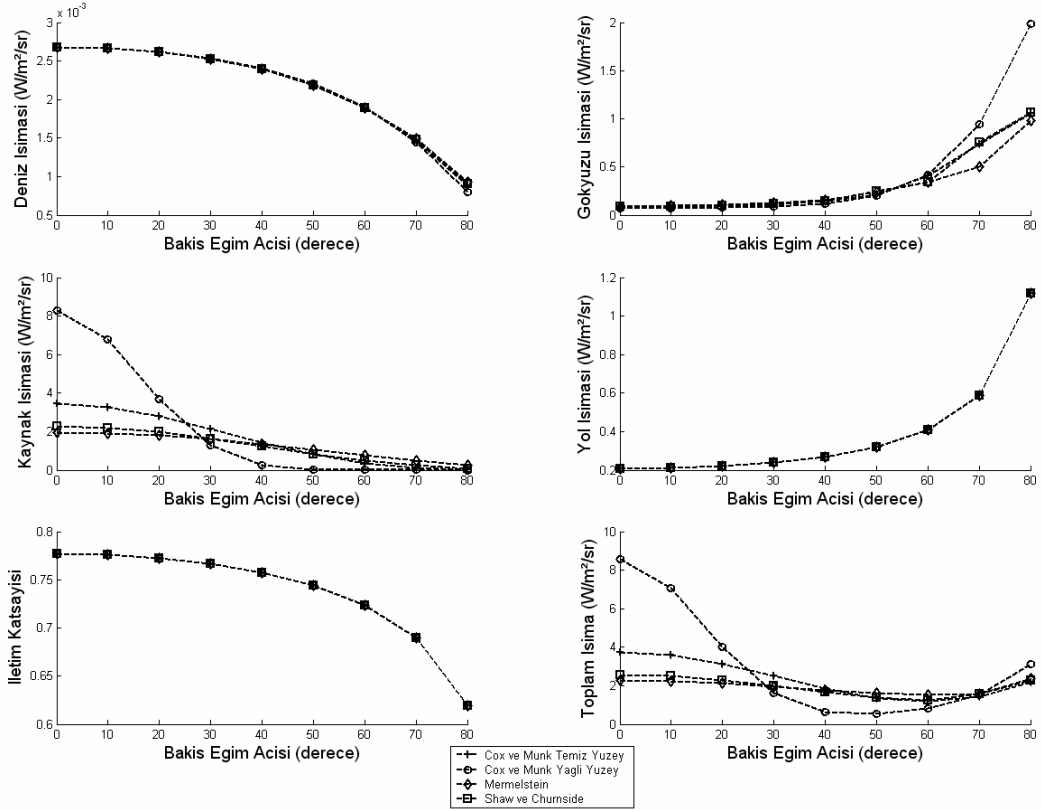
Şekil 6.58 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Rüzgar Hızı 4 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



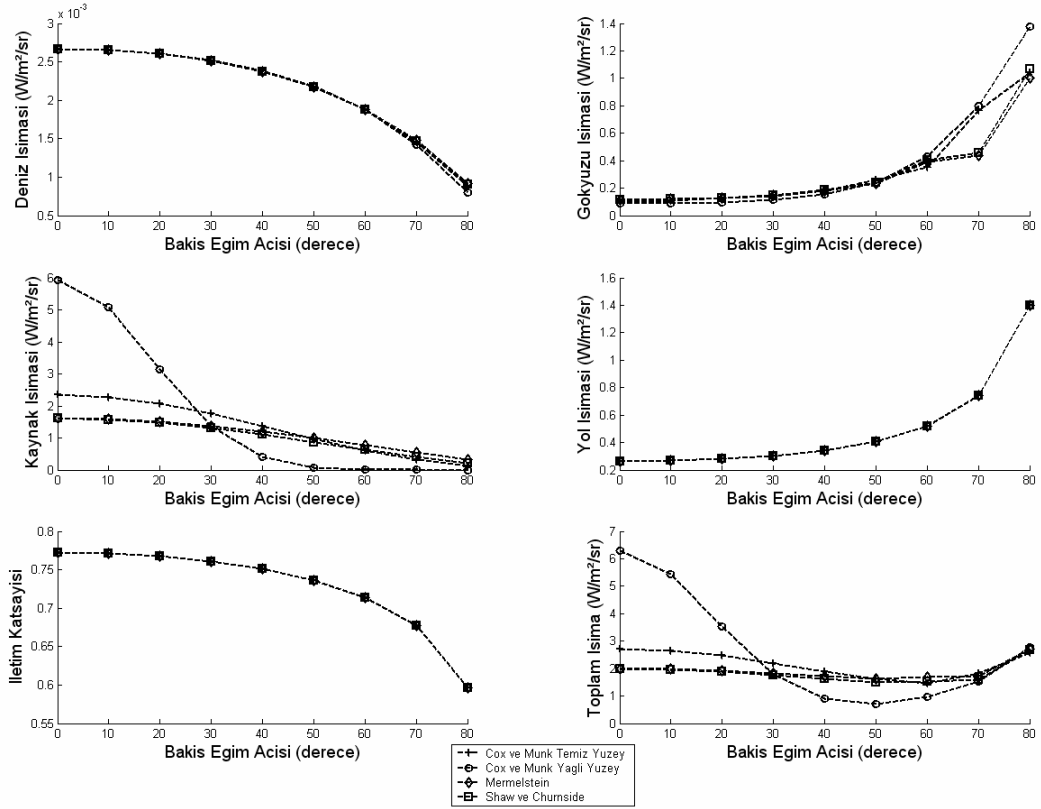
Şekil 6.59 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0° - 80° , Rüzgar Hızı 7.5 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



Şekil 6.60 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 10 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri

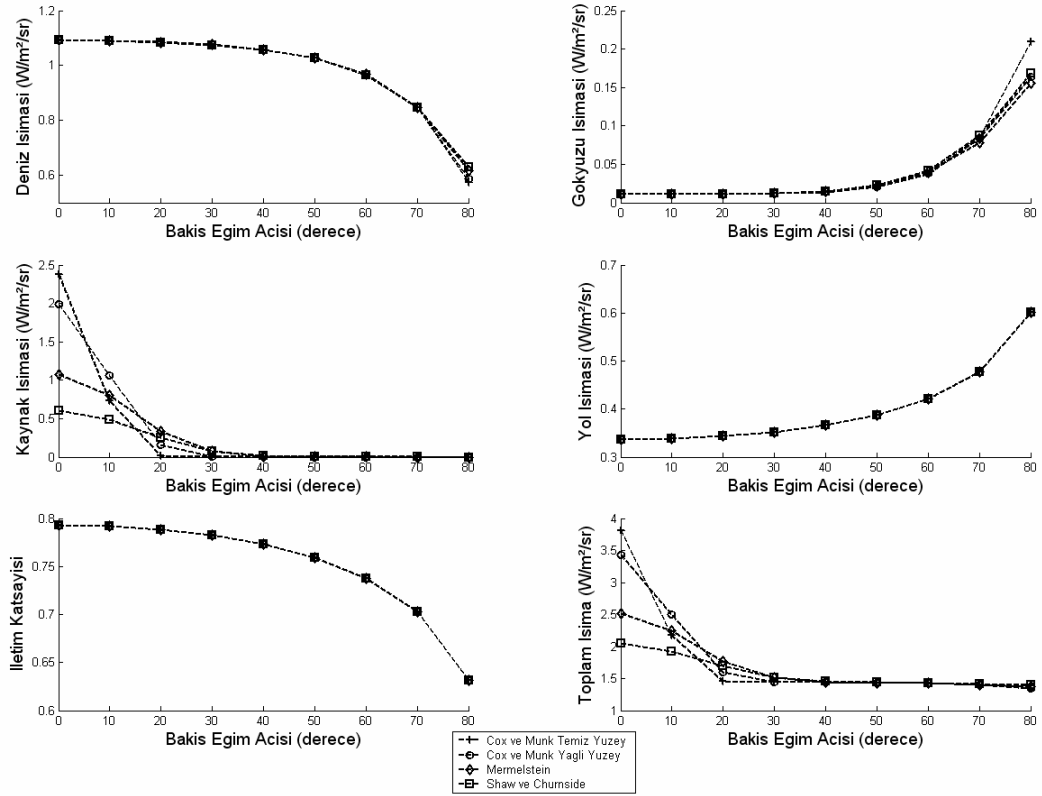


Şekil 6.61 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 15 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri

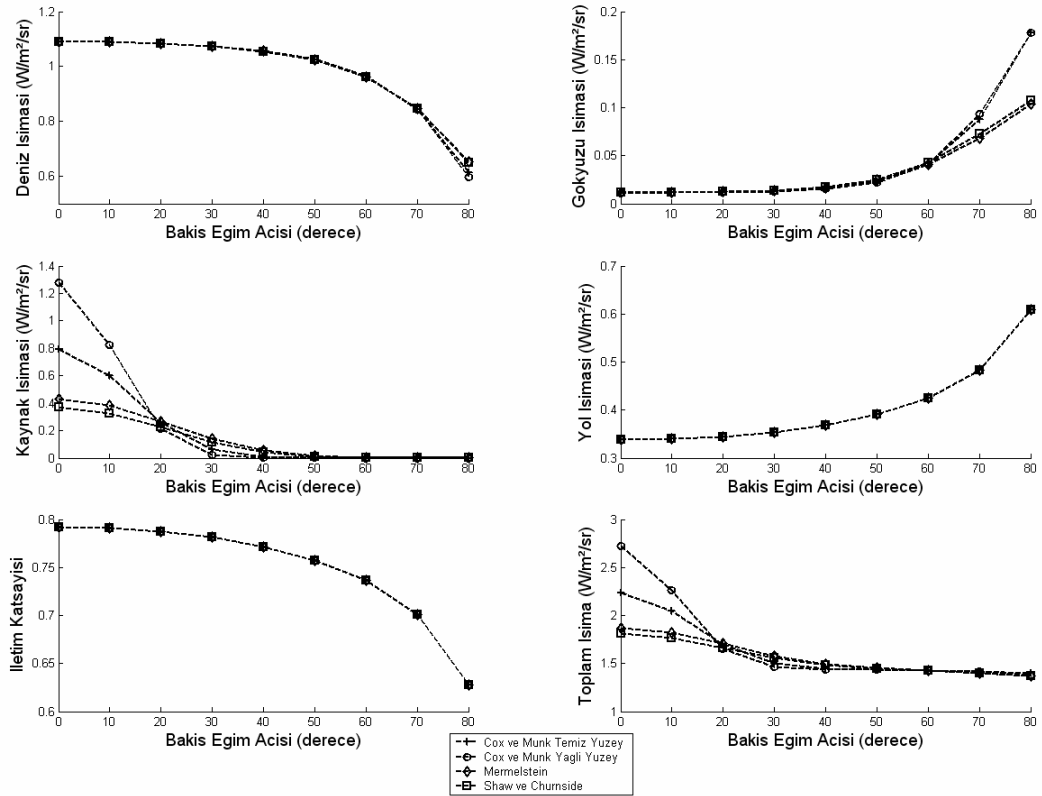


Şekil 6.62 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri

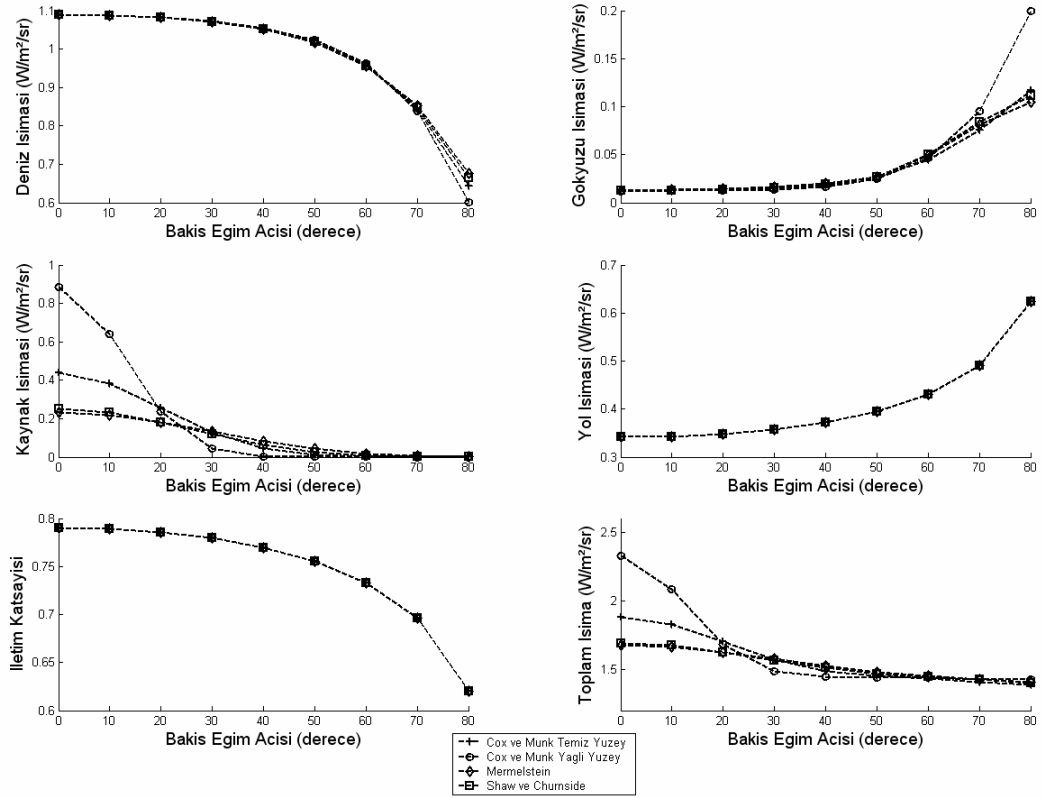
Bakış eğim açısı 0°'den 80°'ye değişirken, tüm istatistiksel deniz yüzeyi modelleri kullanılarak 1 m/s, 4 m/s, 7.5 m/s, 10 m/s, 15 m/s ve 20 m/s rüzgar hızları için 3-5 μm bandında toplam ısıma ve bileşenlerinin davranışını gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.63, Şekil 6.64, Şekil 6.65, Şekil 6.66, Şekil 6.67 ve Şekil 6.68'de verilmektedir.



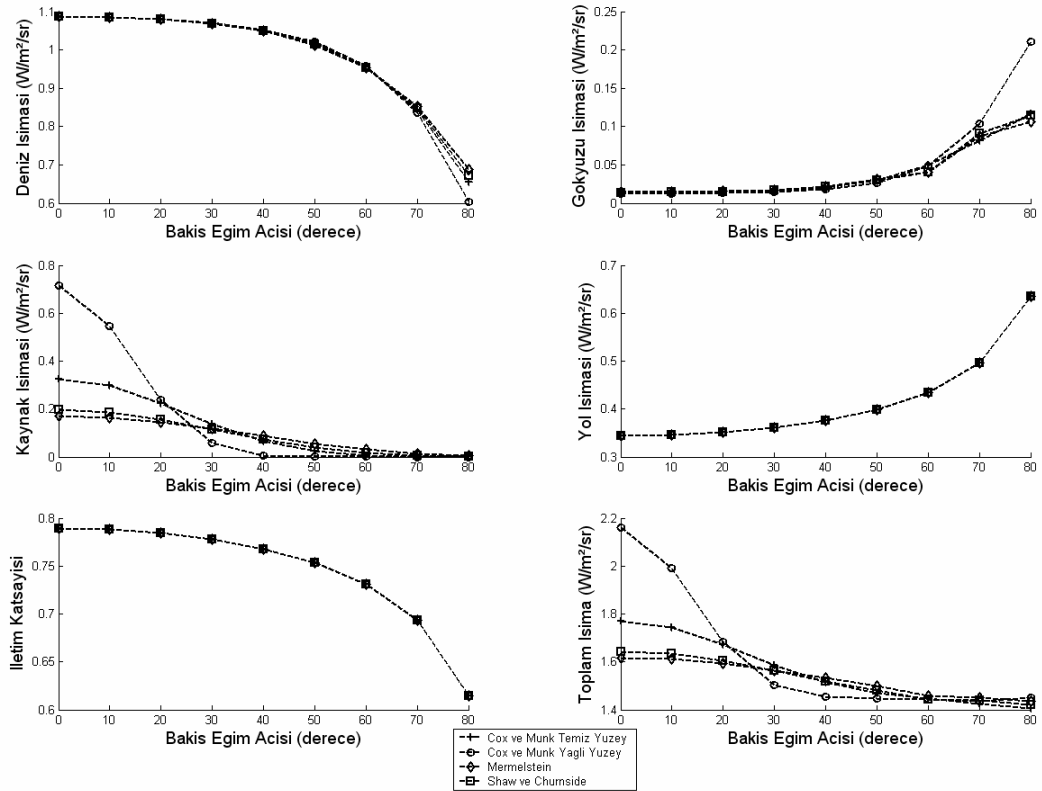
Şekil 6.63 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 1 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



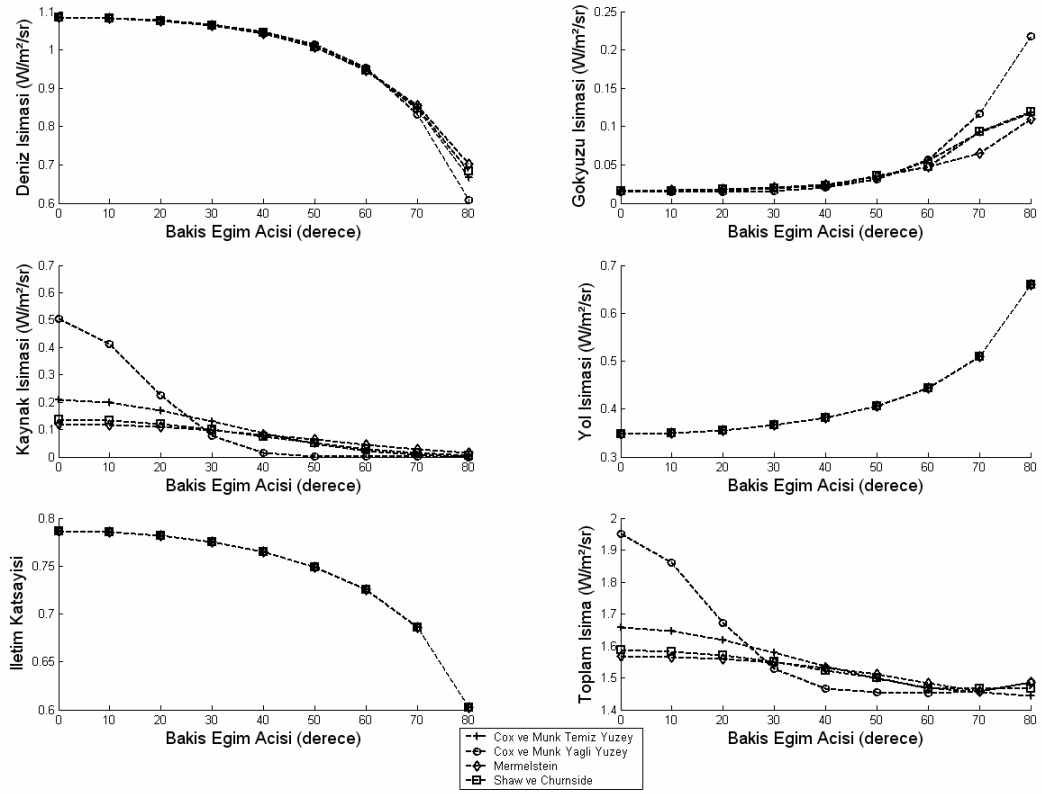
Şekil 6.64 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 4 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



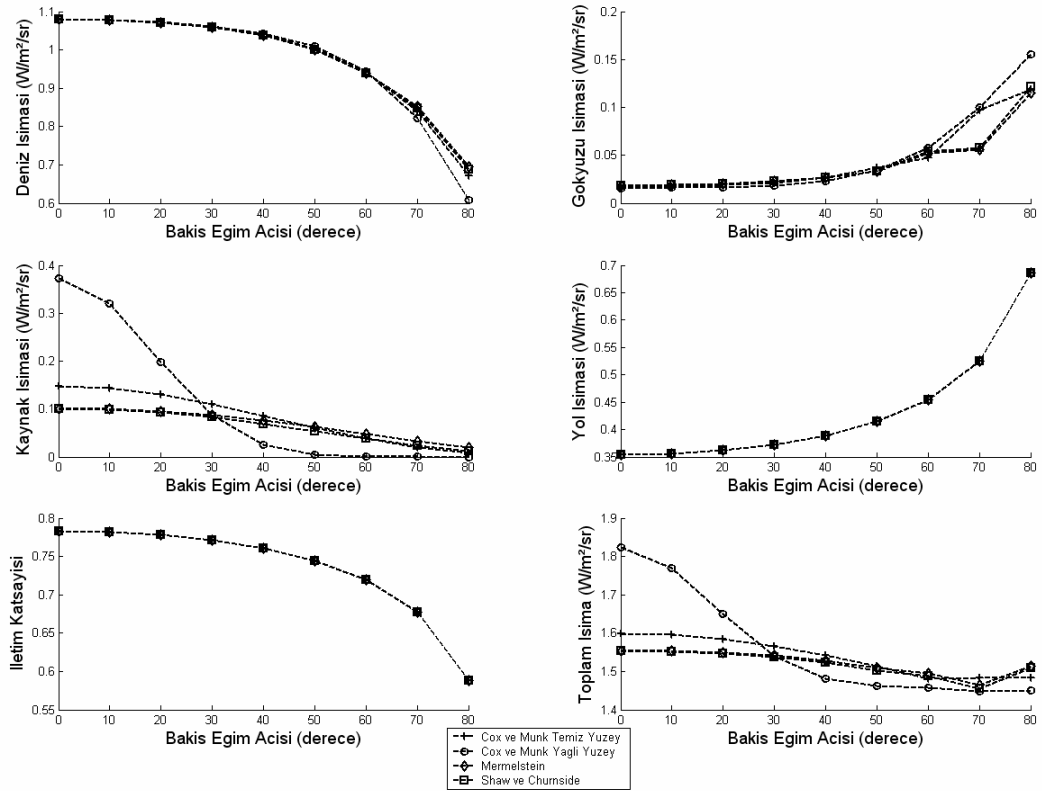
Şekil 6.65 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 7.5 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



Şekil 6.66 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 10 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri

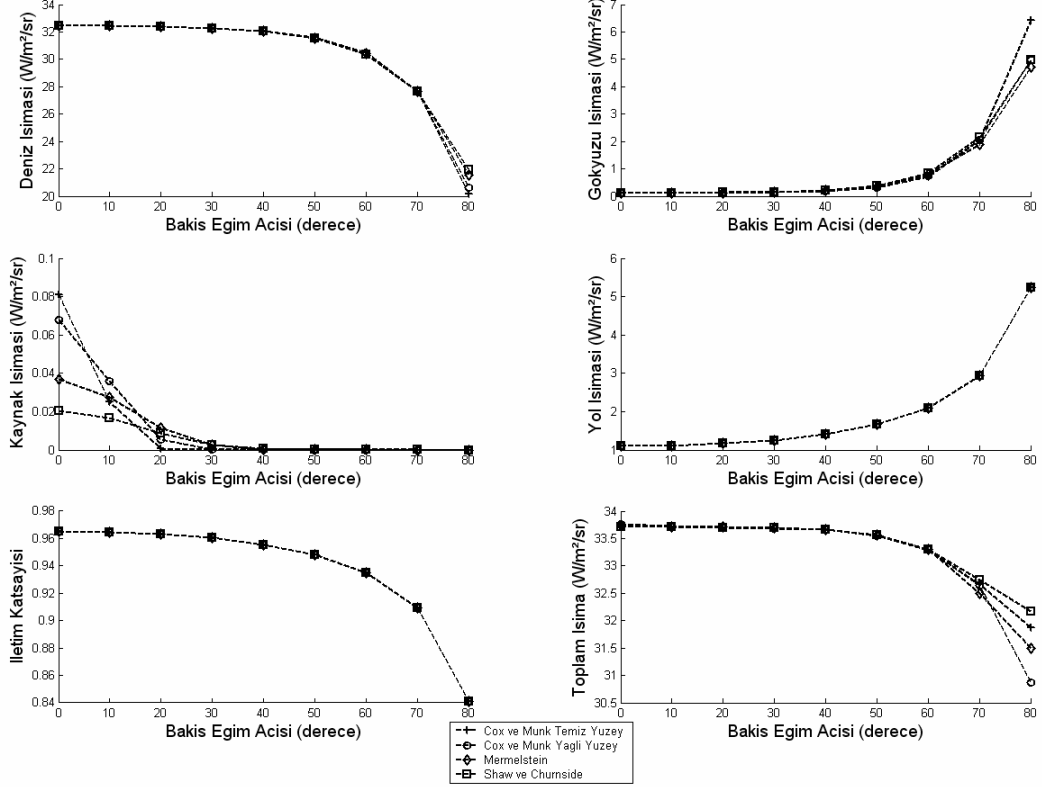


Şekil 6.67 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 15 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri

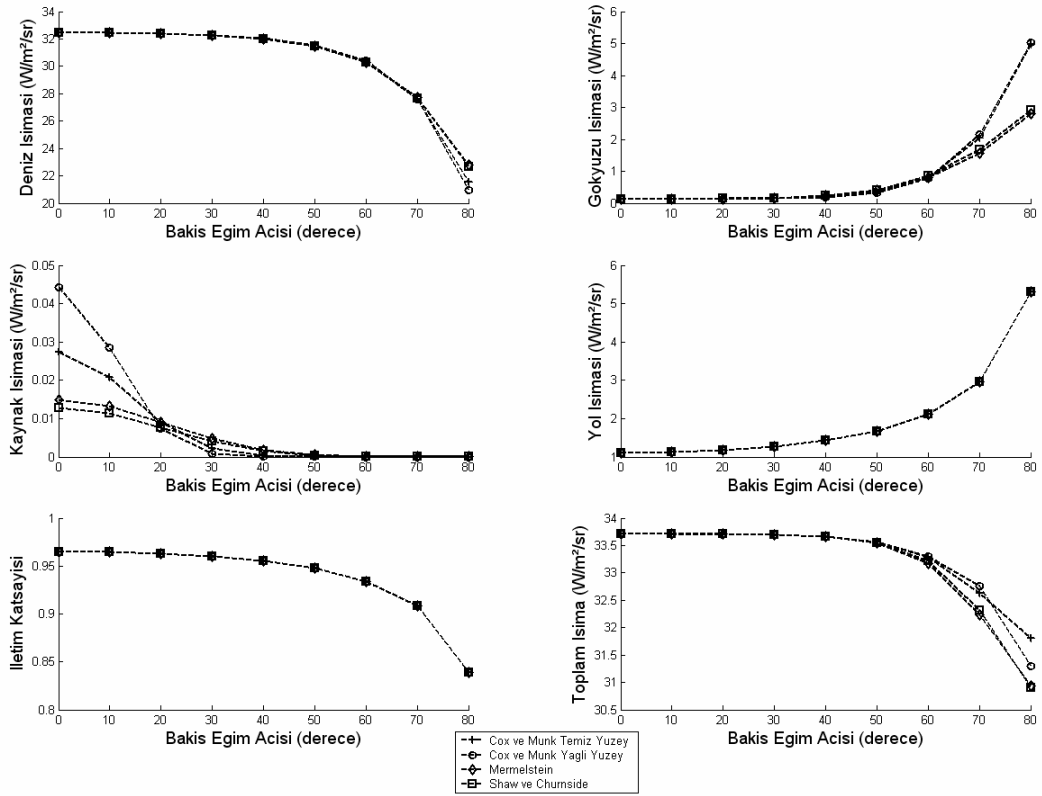


Şekil 6.68 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri

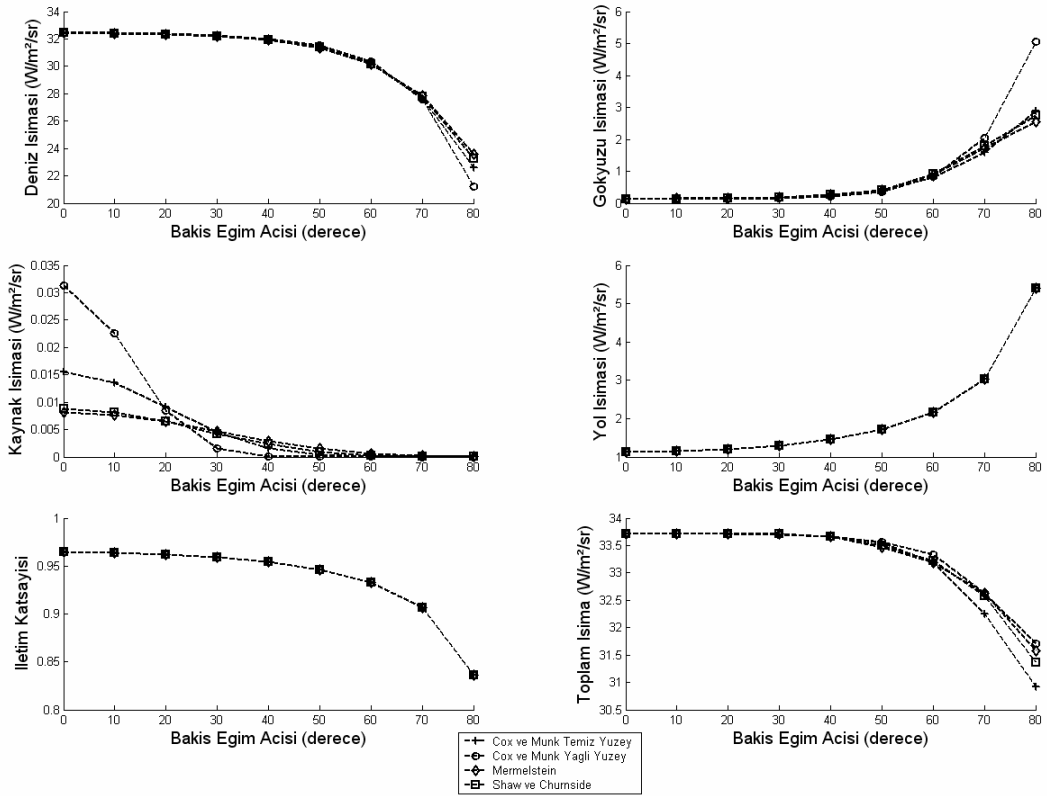
Bakış eğim açısı 0°'den 80°'ye değişirken, tüm istatistiksel deniz yüzeyi modelleri kullanılarak 1 m/s, 4 m/s, 7.5 m/s, 10 m/s, 15 m/s ve 20 m/s rüzgar hızları için 8-12 μm bandında toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışını gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.69, Şekil 6.70, Şekil 6.71, Şekil 6.72, Şekil 6.73 ve Şekil 6.74'te verilmektedir.



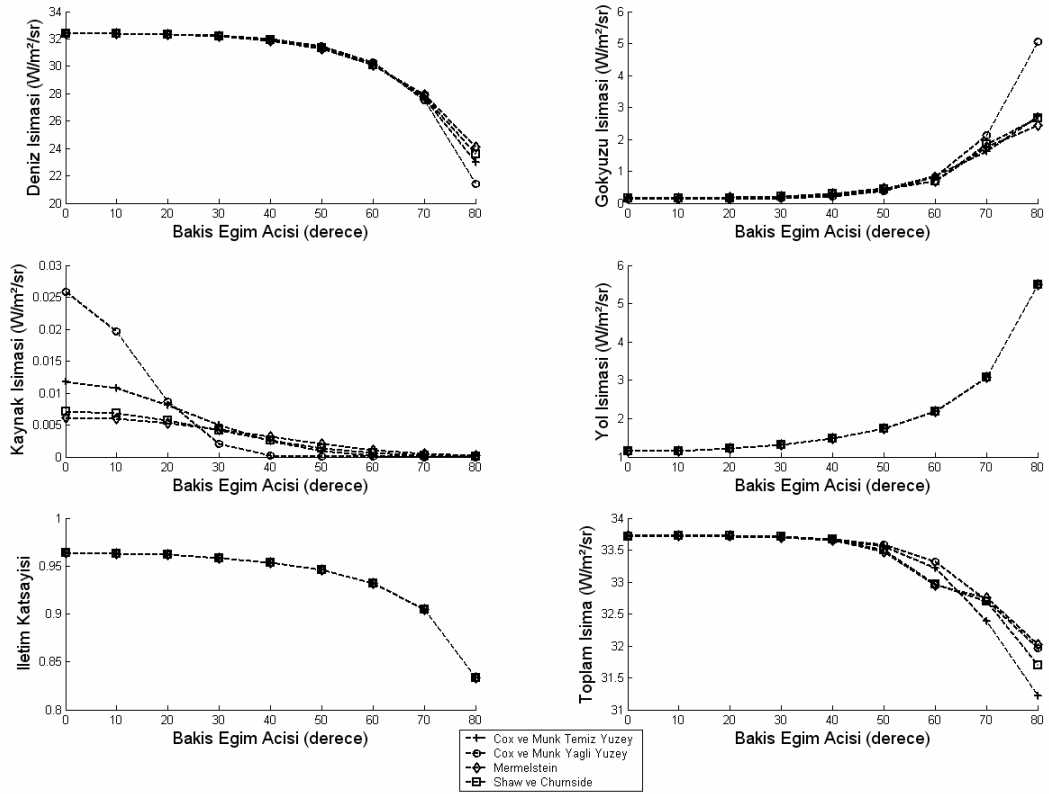
Şekil 6.69 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 1 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



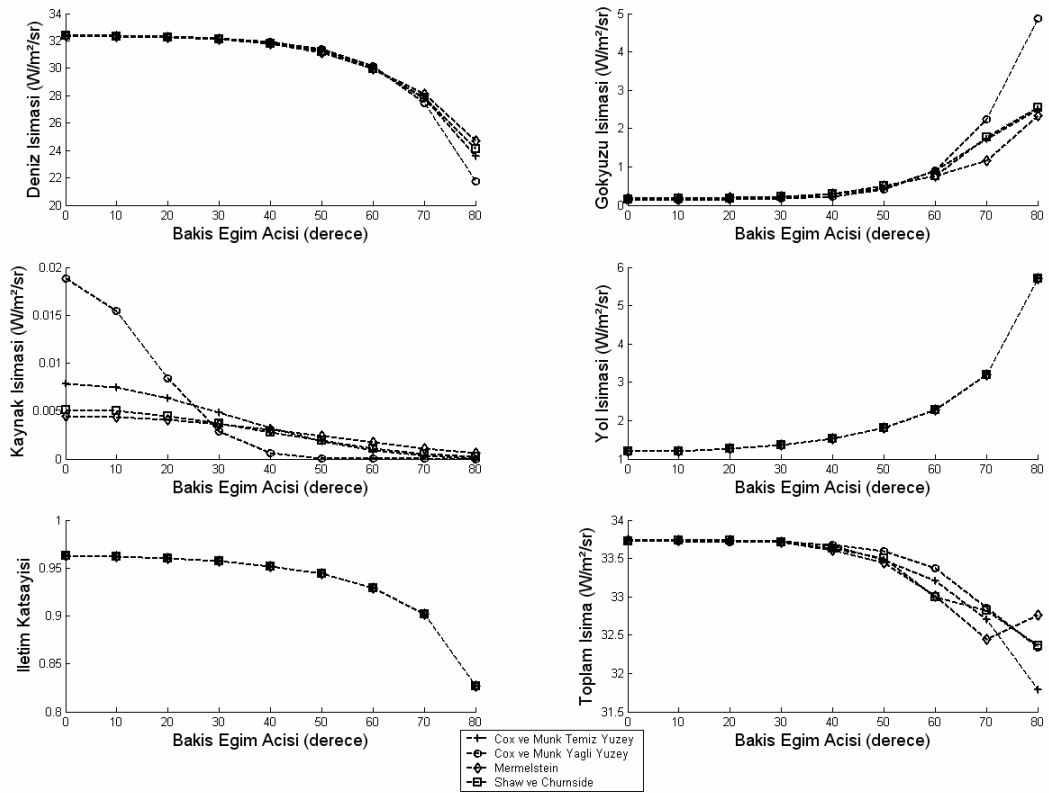
Şekil 6.70 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 4 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



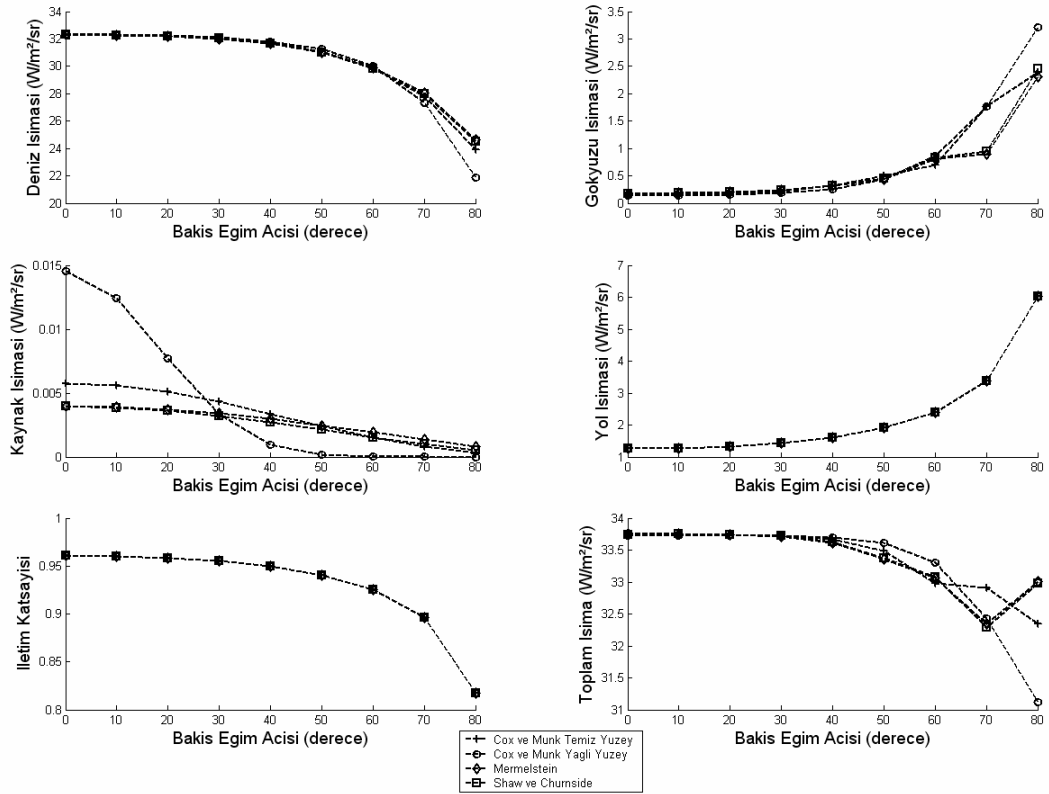
Şekil 6.71 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 7.5 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



Şekil 6.72 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 10 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



Şekil 6.73 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 15 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri



Şekil 6.74: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Bakış Eğim Açısı 0°-80°, Rüzgar Hızı 20 m/s, Deniz Yüzeyi Modelleri

6.2.3. Rüzgar hızı ve yönü değişimine karşılık toplam ısıma ve bileşenleri üzerinde deniz yüzeyi modellerinin etkileri

Bu bölümde herbir deniz yüzeyi modeli ve 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 14 m/s rüzgar hızları için, rüzgar yönü 0°'den 360°'ye değişirken, toplam ısıma ve bileşenlerinin davranışlarını gösteren grafikler sunulmuştur. Güneşin geliş açısının değişimler üzerindeki etkisini kaldırmak için güneşin geliş başucu ve yanca açıları 0° olarak ayarlanmıştır. Deniz yüzeyi modellerinin rüzgar yönüne de bağlı olması nedeniyle modellerin karşılaştırılması açısından bu grafikler önemlidir.

Program, gözlemci Akdeniz'de (36°K, 31°D), güneşin geliş başucu ve yanca açıları 0°, deniz suyu sıcaklığı 20 °C, bulutsuz ve açık havada, gözlemci yüksekliği 100 m, gözlemci bakış eğim açısı 45°, gözlemci bakış yönelim açısı 180°, dalgaboyu aralığı 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm iken, anlık ve ortalama rüzgar hızı 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 14 m/s için, rüzgar yönü 0°'den 360°'ye 45° çözünürlükle değişirken koşturulmuştur.

Verilen senaryo şartları altında rüzgar yönü 0° iken dalgalar gözlemciye yaklaşan, 180° iken dalgalar gözlemciden uzaklaşan, 90° ve 270° iken dalgalar gözlemciye dik şekilde hareket etmektedir.

Yol ısıması ve atmosferik iletim katsayısı, rüzgar hızının sabit olduğu durumda, rüzgar yönü 0° 'den 360° 'ye değişirken sabit kalmaktadır. Bu beklenen bir durumdur çünkü bu bileşenlerin hesaplanmasında deniz yüzeyi modeli kullanılmamaktadır.

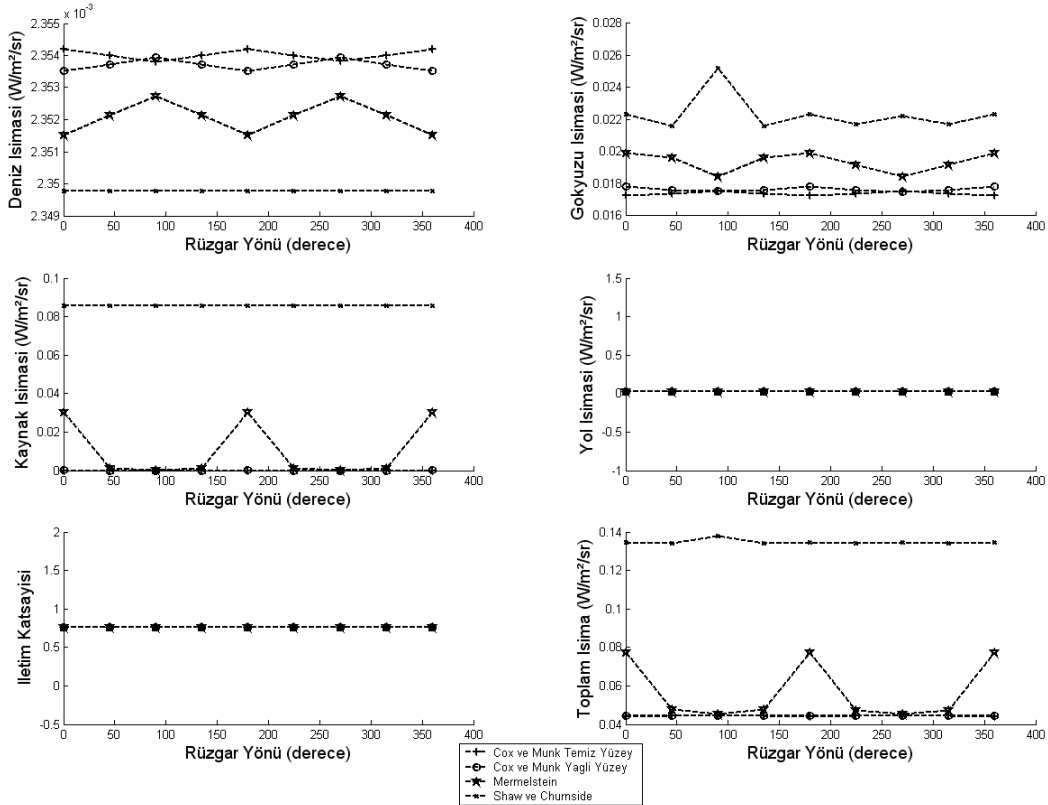
Deniz yüzeyi modeli değişiminden etkilenen bileşenlerden termal deniz ısıması ve yansıyan güneş ısıması bileşenlerine bakıldığında, modellerin rüzgar yönündeki değişime karşı davranışları görülmektedir. Deniz yüzeyi modellerinin etkisini en iyi bu bileşenlerin göstermesinin sebebi gelen güneş ısıması ve denizin kendi sıcaklığından kaynaklanan denizin hemen üzerindeki termal deniz ısımasının rüzgar yönüne bağlı olmaması ve gözlemciye ne oranda ulaşacaklarının da deniz yüzeyi modeline göre gözlemci yönünde ne oranda yansıtılacaklarına bağlı olmasıdır. Shaw ve Churnside modelinde rüzgar yönündeki ve rüzgara dik yöndeki dalga eğim varyanslarını veren eşitlikler aynı olduğundan bu model rüzgar yönüne göre bağımlılık göstermemektedir. Shaw ve Churnside deniz yüzeyi modeli kullanılarak elde edilen grafiklerde rüzgar yönüne göre değişimin olmadığı görülmektedir. Diğer deniz yüzeyi modelleri de rüzgar yönündeki ve rüzgara dik yöndeki dalga eğim varyansları ile ifade edilmektedir. Bu nedenle Cox ve Munk ile Mermelstein modelleri kullanıldığında yansıyan güneş ısıması ve termal deniz ısıması benzetim çıktıları periyodik ve simetrik çıkmaktadır. Yansıyan güneş ısıması ve termal deniz ısıması, dalgaların hareket yönünün gözlemci bakış doğrultusuna paralel olduğu açılarda yani verilen senaryoda 0° , 180° ve 360° olduğunda ortak bir değer almaktadır. Aynı şekilde dalgaların hareket yönünün gözlemci bakış doğrultusuna dik olduğu açılarda yani verilen senaryoda 90° ve 270° olduğunda ve dalgaların hareket yönünü ile gözlemci bakış doğrultusu arasında 45° olduğu açılarda da yani verilen senaryoda 45° , 135° , 225° ve 315° olduğunda da ortak değerler elde edilmektedir.

Rüzgar yönü değiştiğinde deniz yüzeyi modellerinin yansıyan gökyüzü ısıması üzerindeki etkisini bir genelleme yaparak değerlendirmek uygun değildir. Bunun nedeni deniz üzerine her yönden ve her açıyla gelen gökyüzü ısımasının deniz

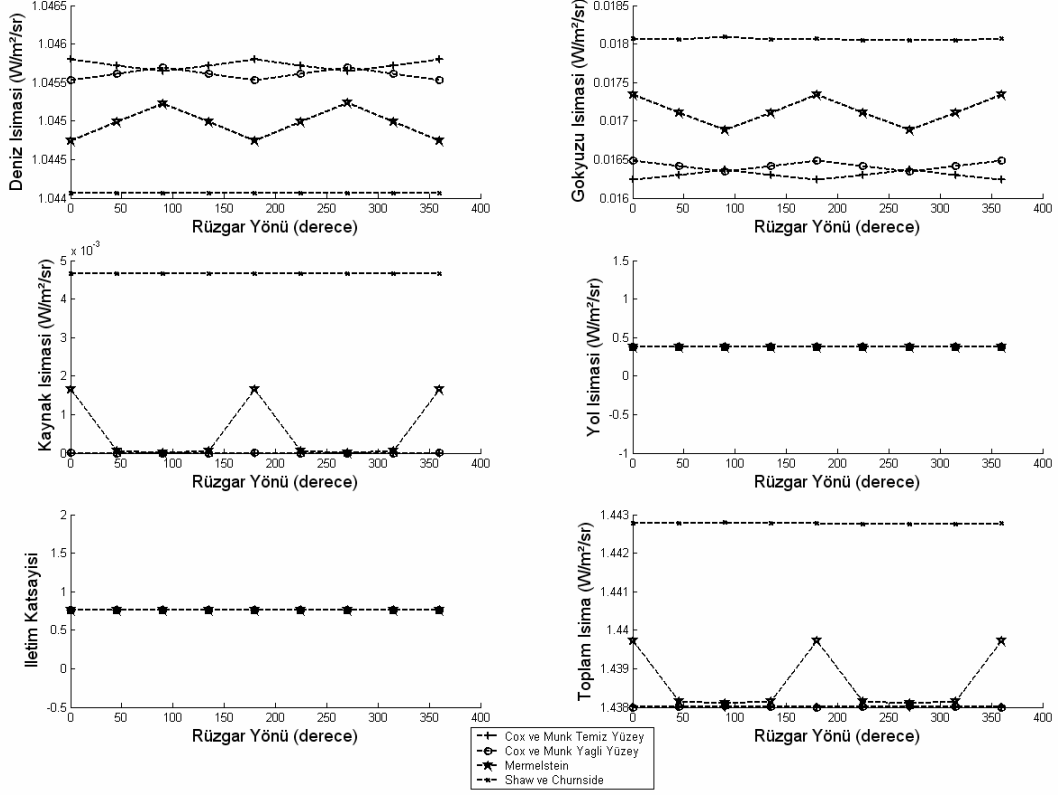
yüzeyi parçacıklarının eğimleri dolayısıyla gözlemci yönünde yansıtılacak olan miktarının rüzgar yönüne bağlı olmasıdır. Yani bir anlamda deniz yüzeyine gelen gökyüzü ışıması rüzgar yönüne bağlıdır.

Rüzgar hızının artmasıyla yağlı deniz yüzeyi için Cox ve Munk modelinin rüzgar yönüne bağımlılığı azalmaktadır.

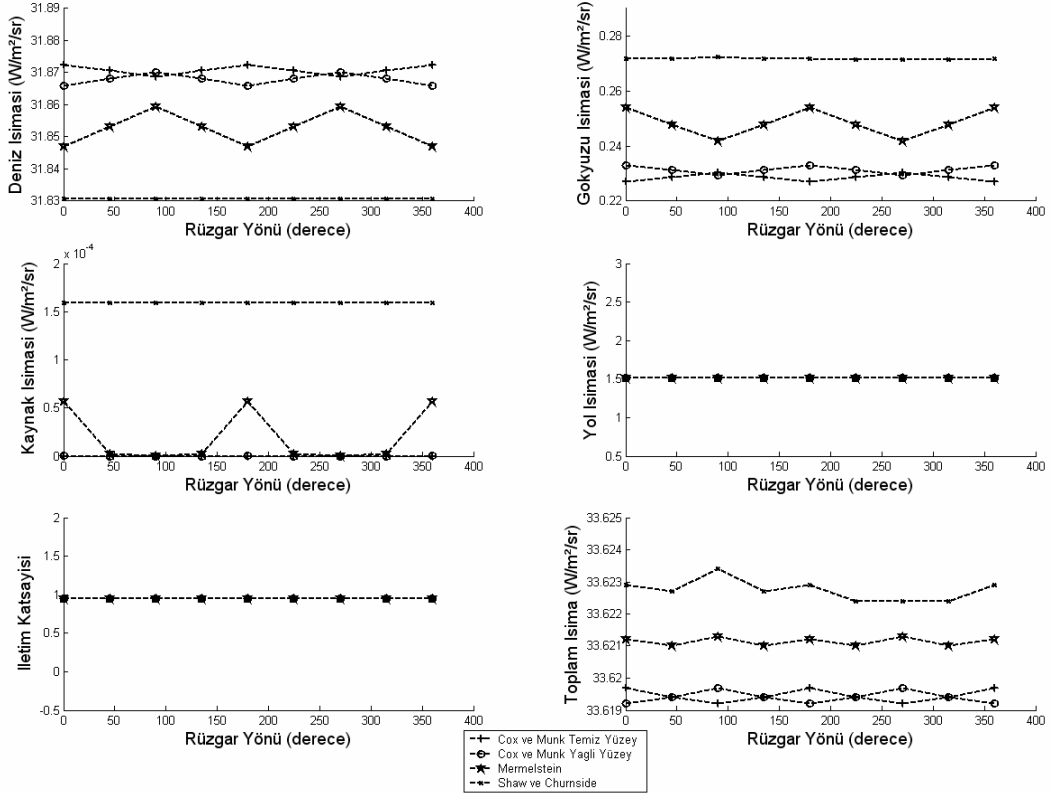
Güneş tepedeyken, rüzgar yönü 0°'den 360°'ye değişirken, rüzgar hızı 1 m/s iken Cox ve Munk temiz ve yağlı, Mermelstein ile Shaw ve Churnside deniz yüzeyi modelleri için 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bantlarında toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışını gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.75, Şekil 6.76 ve Şekil 6.77'de verilmektedir.



Şekil 6.75 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 1 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri

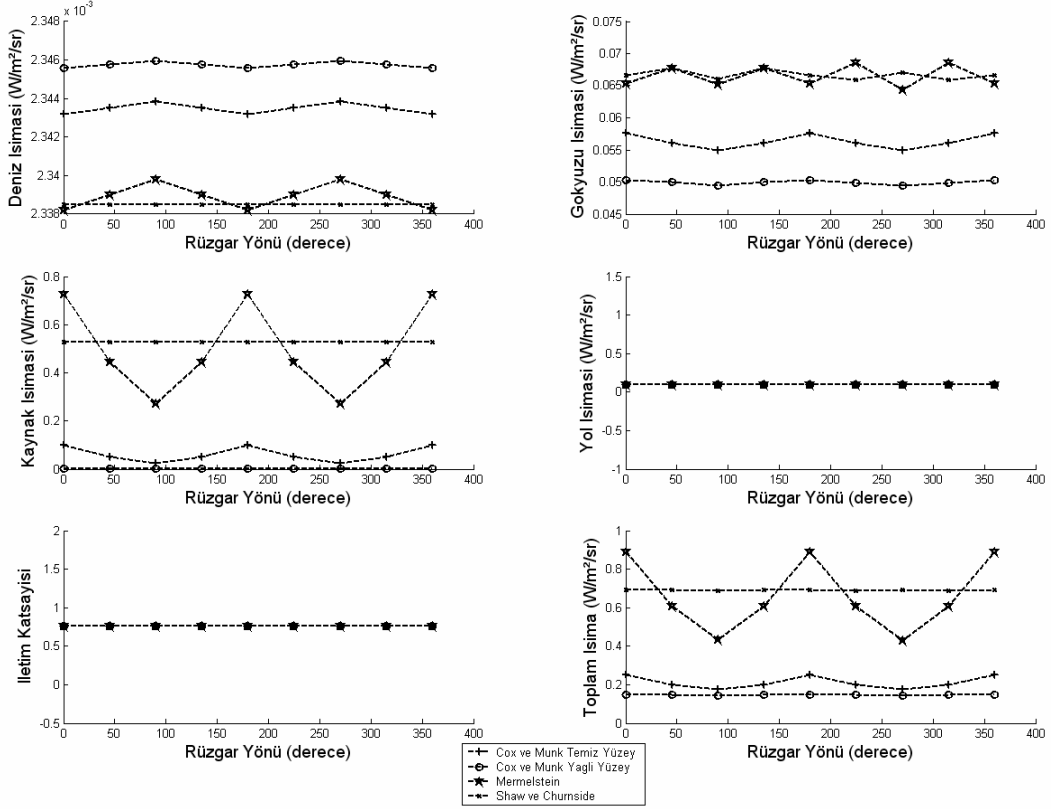


Şekil 6.76 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 1 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri

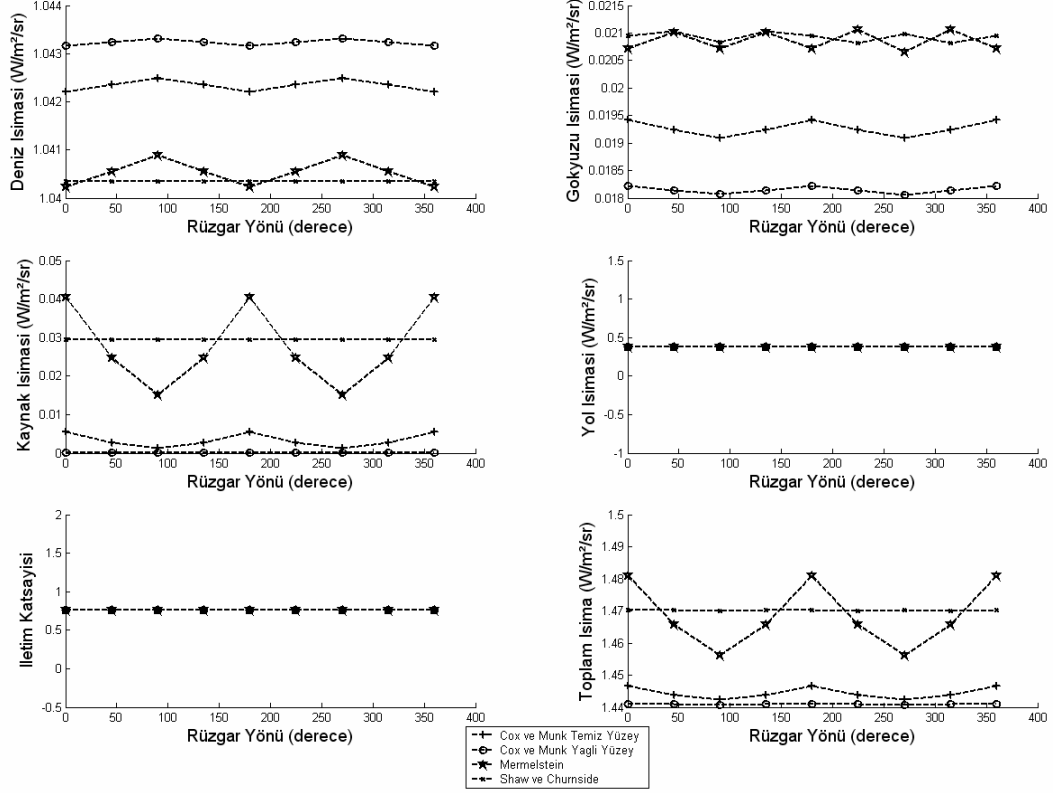


Şekil 6.77 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 1 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri

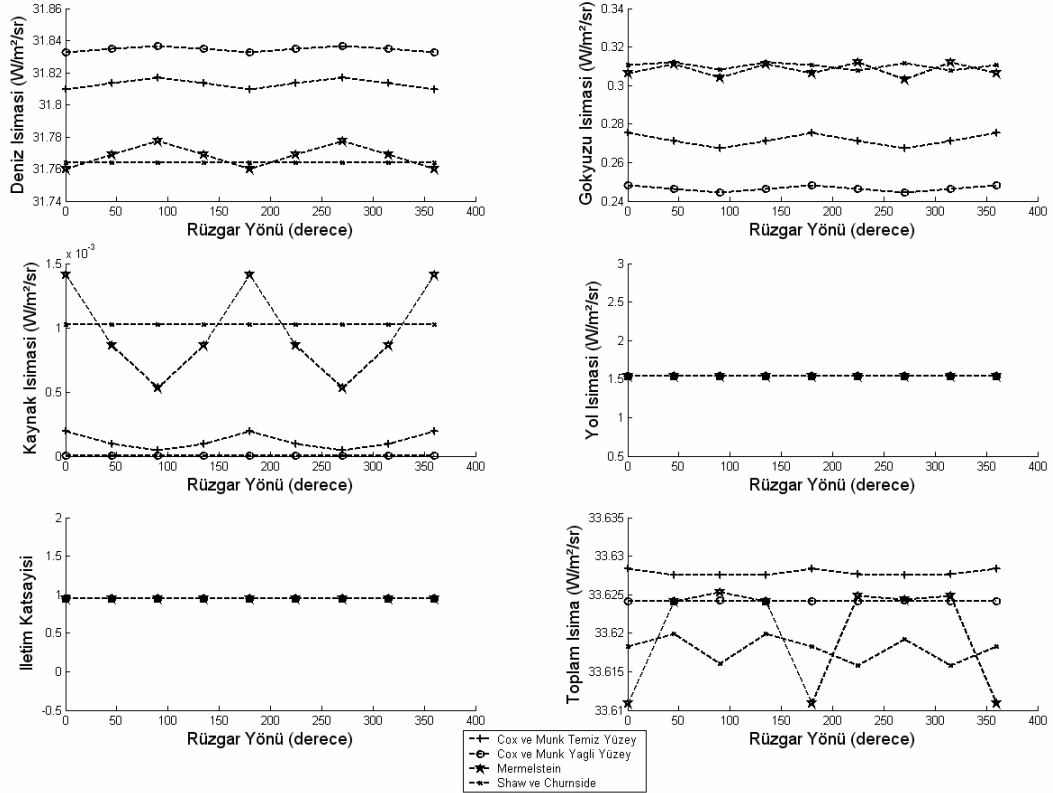
Güneş tepedeyken, rüzgar yönü 0°'den 360°'ye değişirken, rüzgar hızı 5 m/s iken Cox ve Munk temiz ve yağlı, Mermelstein ile Shaw ve Churnside deniz yüzeyi modelleri için 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bantlarında toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışını gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.78, Şekil 6.79 ve Şekil 6.80'de verilmektedir.



Şekil 6.78 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 5 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri.

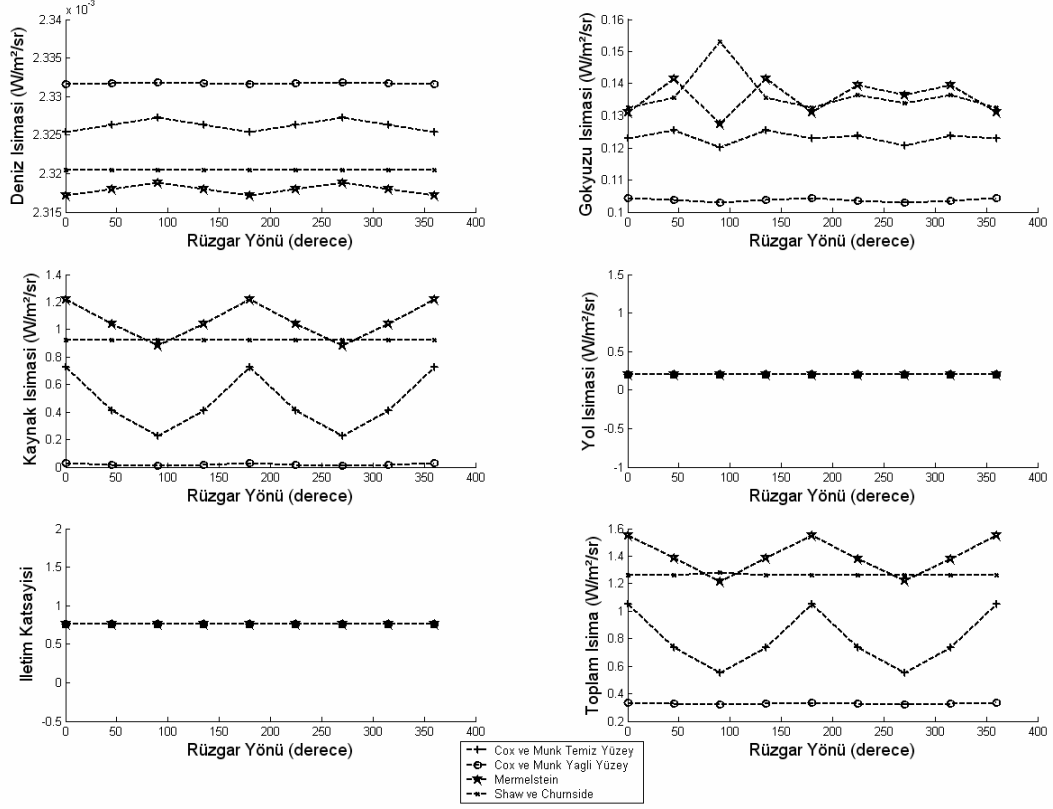


Şekil 6.79 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 5 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri

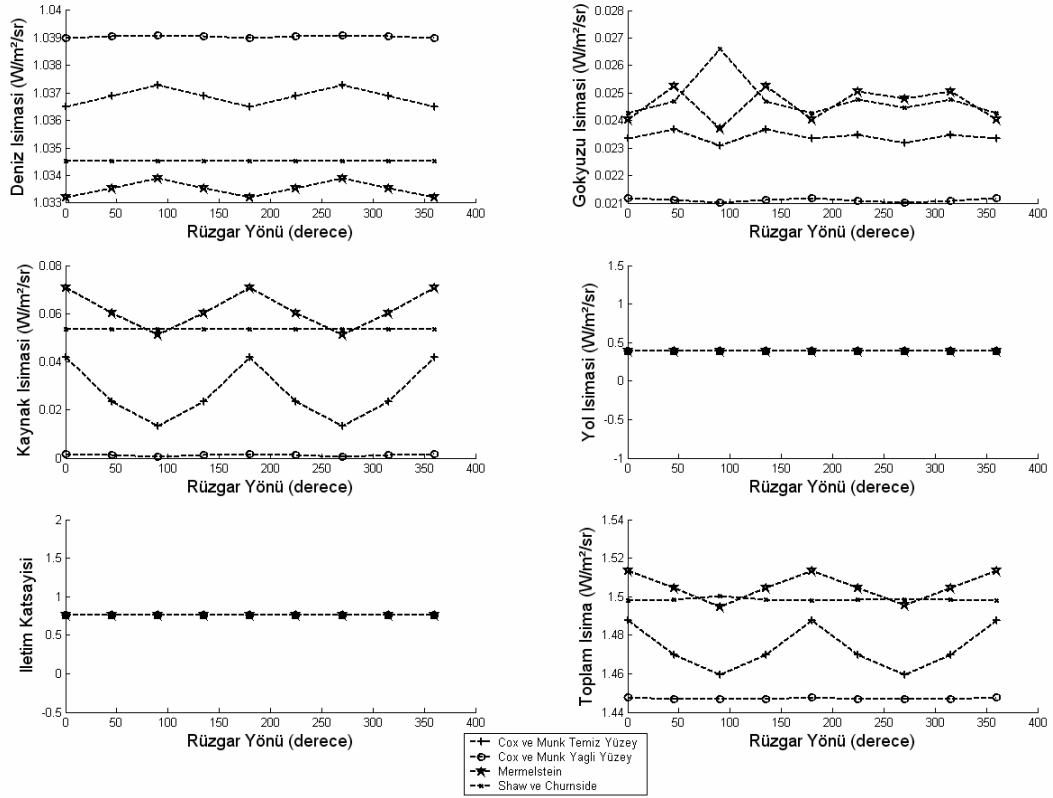


Şekil 6.80 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 5 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri

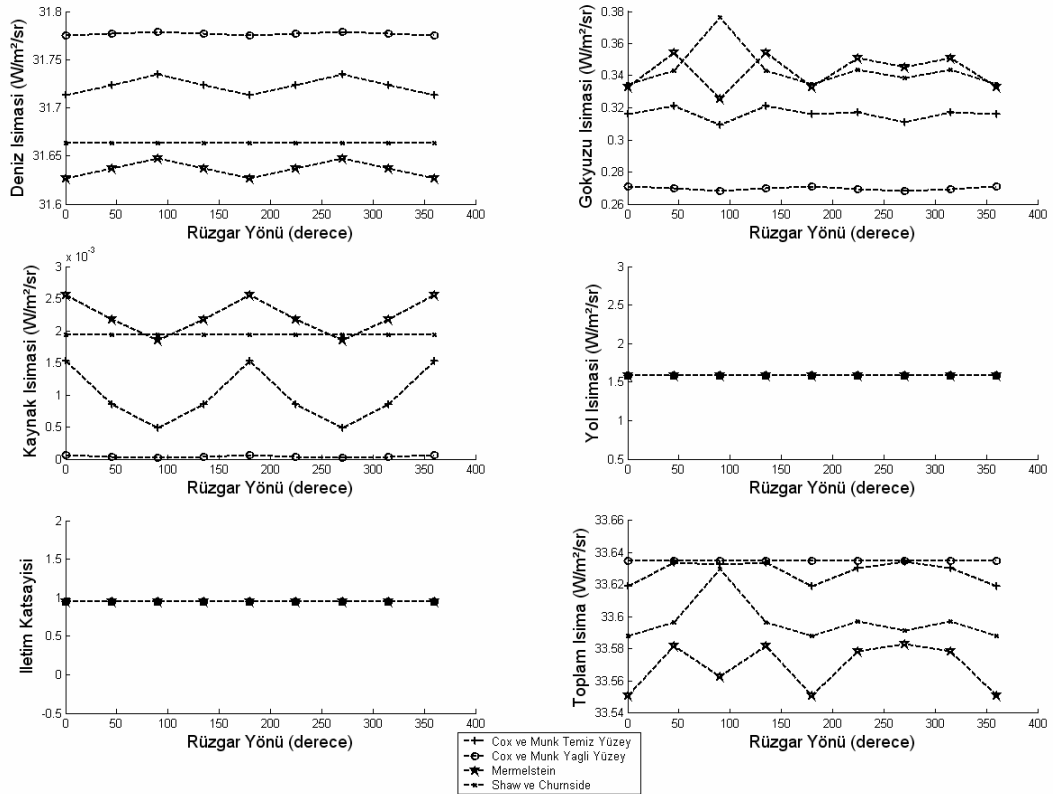
Güneş tepedeyken, rüzgar yönü 0°'den 360°'ye değişirken, rüzgar hızı 10 m/s iken Cox ve Munk temiz ve yağlı, Mermelstein ile Shaw ve Churnside deniz yüzeyi modelleri için 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bantlarında toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışını gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.81, Şekil 6.82 ve Şekil 6.83'te verilmektedir.



Şekil 6.81 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 10 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri

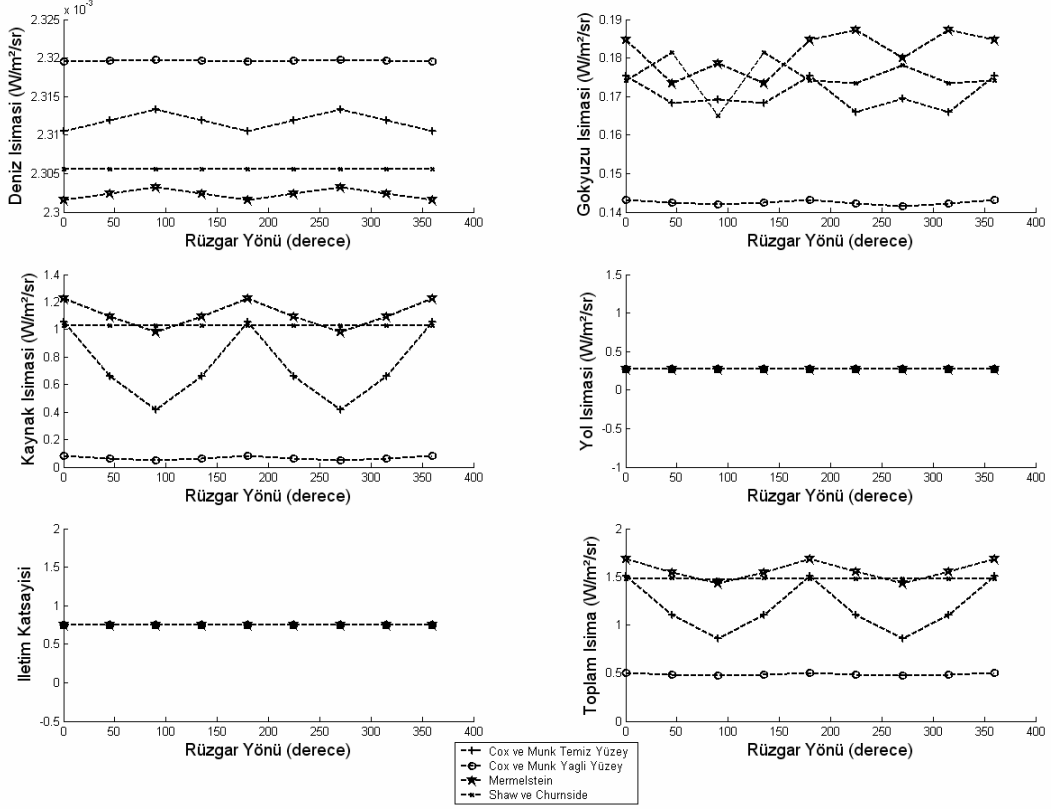


Şekil 6.82 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 10 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri

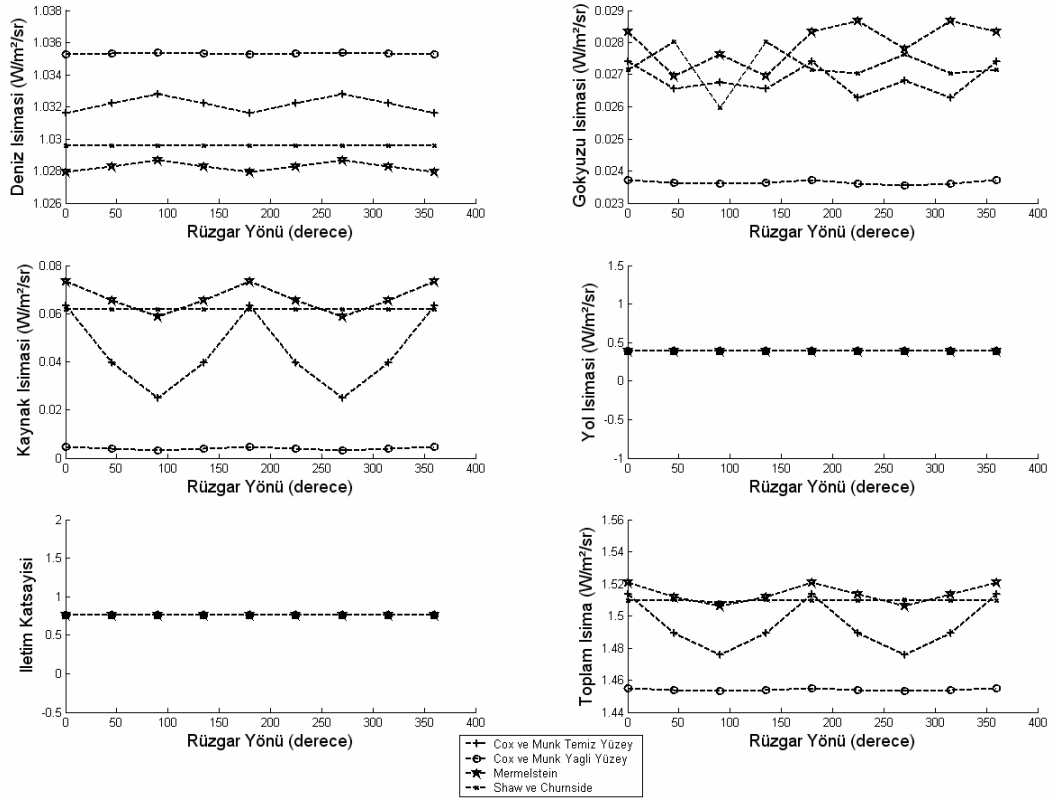


Şekil 6.83 : Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 10 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri

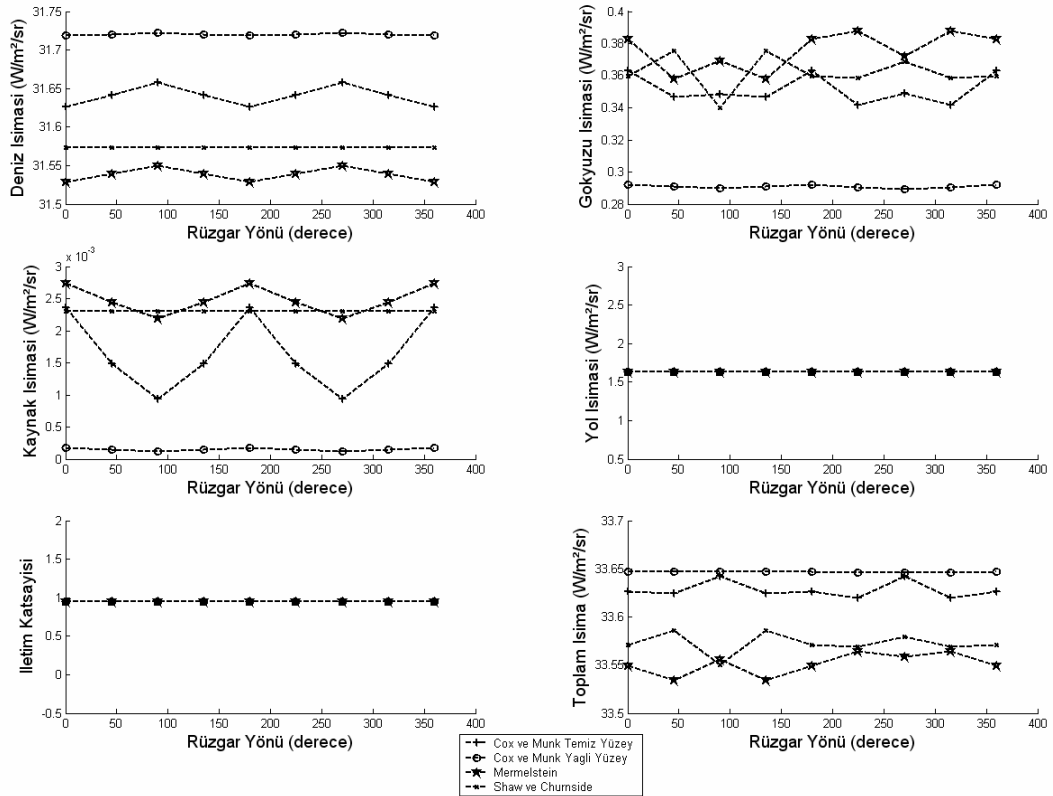
Güneş tepedeyken, rüzgar yönü 0°'den 360°'ye değişirken, rüzgar hızı 14 m/s iken Cox ve Munk temiz ve yağlı, Mermelstein ile Shaw ve Churnside deniz yüzeyi modelleri için 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm bantlarında toplam ışıma ve bileşenlerinin davranışını gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.84, Şekil 6.85 ve Şekil 6.86'da verilmektedir.



Şekil 6.84: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 1-3 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 14 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri



Şekil 6.85: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 3-5 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 14 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri



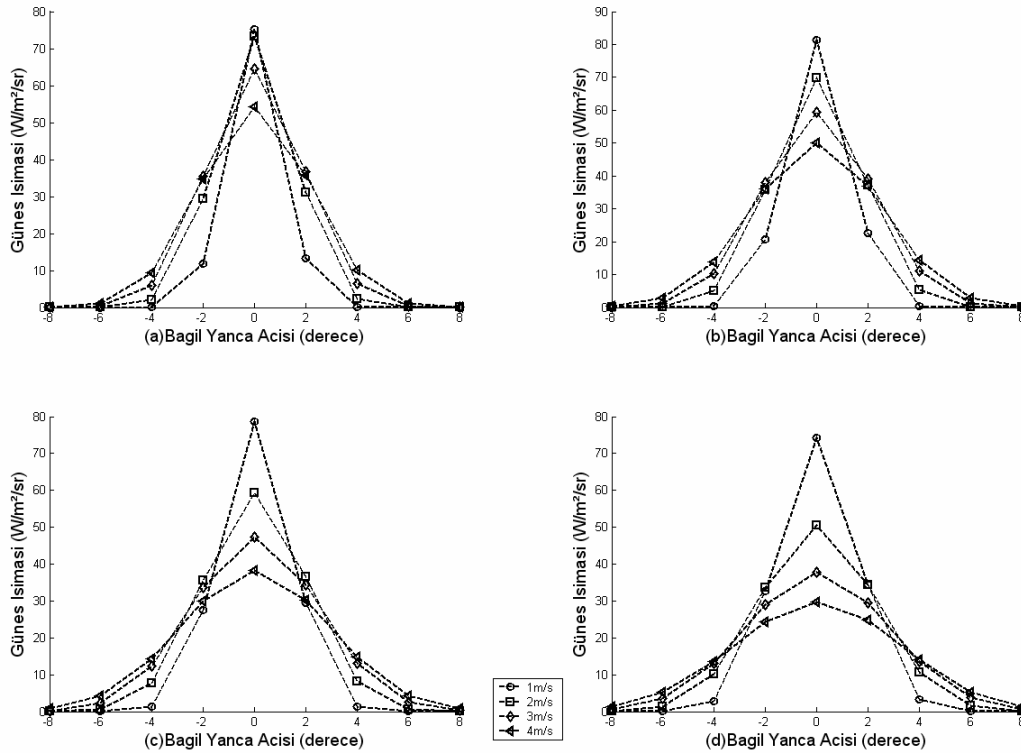
Şekil 6.86: Toplam Işıma ve Bileşenleri, 8-12 μm , Güneş tepede, Rüzgar Yönü 0°-360, Rüzgar Hızı 14 m/s iken Deniz Yüzeyi Modelleri

6.3. Güneş Pırlıtsı Yolu Analizleri

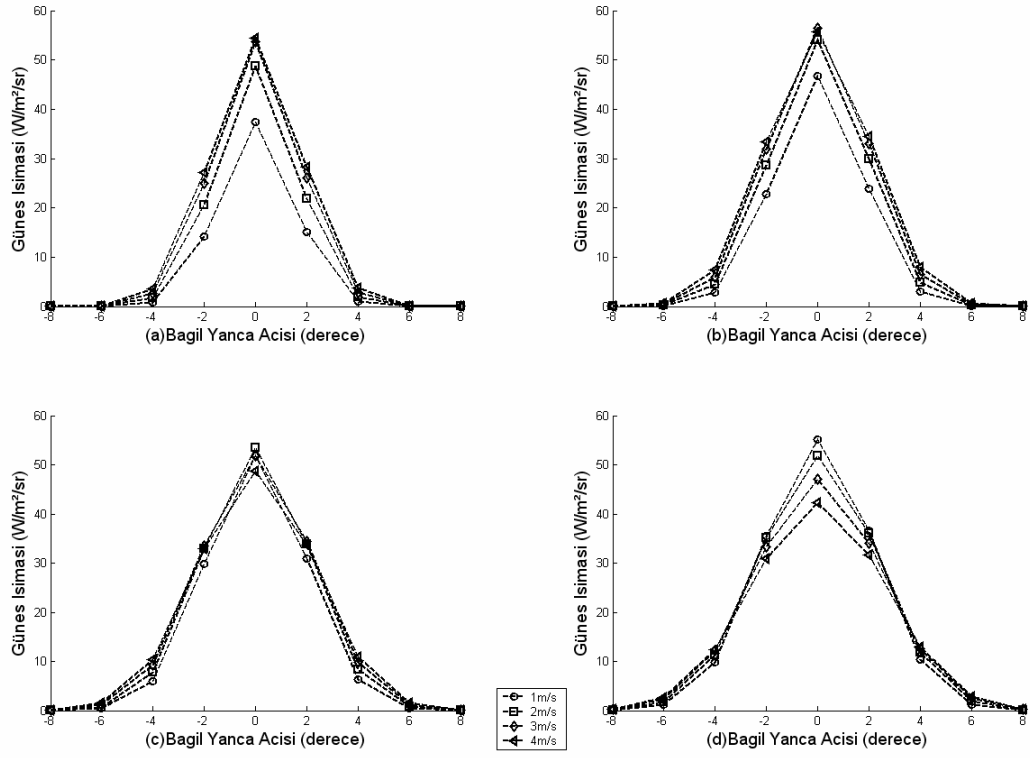
Bu bölümde deniz yüzeyi modelleri kullanılarak rüzgar hızı 1m/s, 2m/s, 3m/s, 4m/s ve bakış eğim açıları 80°, 83°, 86°, 89° iken, 100 m yükseklikten bakan gözlemcinin 3-5 μm bandında göreceği güneş pırlıtsı yolunun şiddeti ve genişliğini veren grafikler sunulmaktadır. Grafiklerde bağıl yanca açısı, güneşin deniz yüzeyine geliş yanca açısına göre gözlemcinin bakış yanca açısıdır.

Güneş pırlıtsı yolunun özelliklerinin incelendiği çalışmalarda [16] rüzgar hızının artması, bakış eğim açısının azalması ve ışıma şiddetinin zayıflaması ile pırlıtsı yolunun genişlediği belirtilmektedir. Bu tez kapsamında yapılan analizler sonucunda tüm bakış eğim açıları, rüzgar hızları ve deniz yüzeyi modelleri için elde edilen grafiklerde güneş pırlıtsı yolunun belirtilen özellikleri sağlanmaktadır.

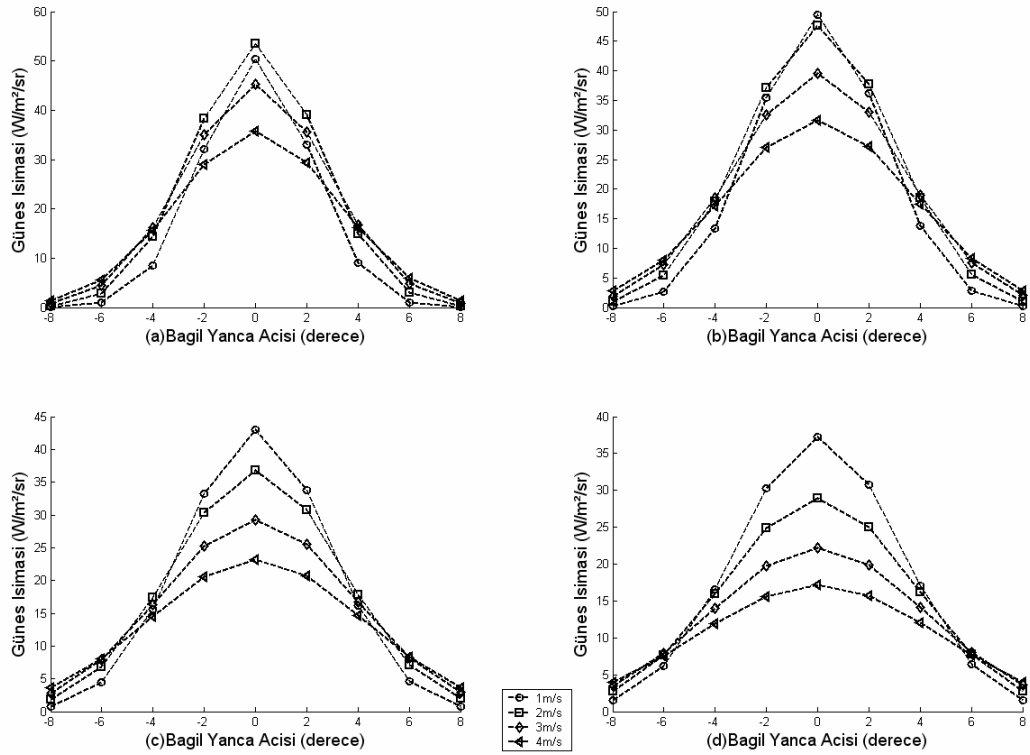
Rüzgar hızı değişimine karşılık, sırasıyla Cox ve Munk temiz deniz yüzeyi modeli, Cox ve Munk yağlı yüzey modeli, Mermelstein modeli ve Shaw – Churnside modeli ile 89°, 86°, 83°, 80° bakış eğim açıları için elde edilen grafikler Şekil 6.87, Şekil 6.88, Şekil 6.89, ve Şekil 6.90'da verilmektedir.



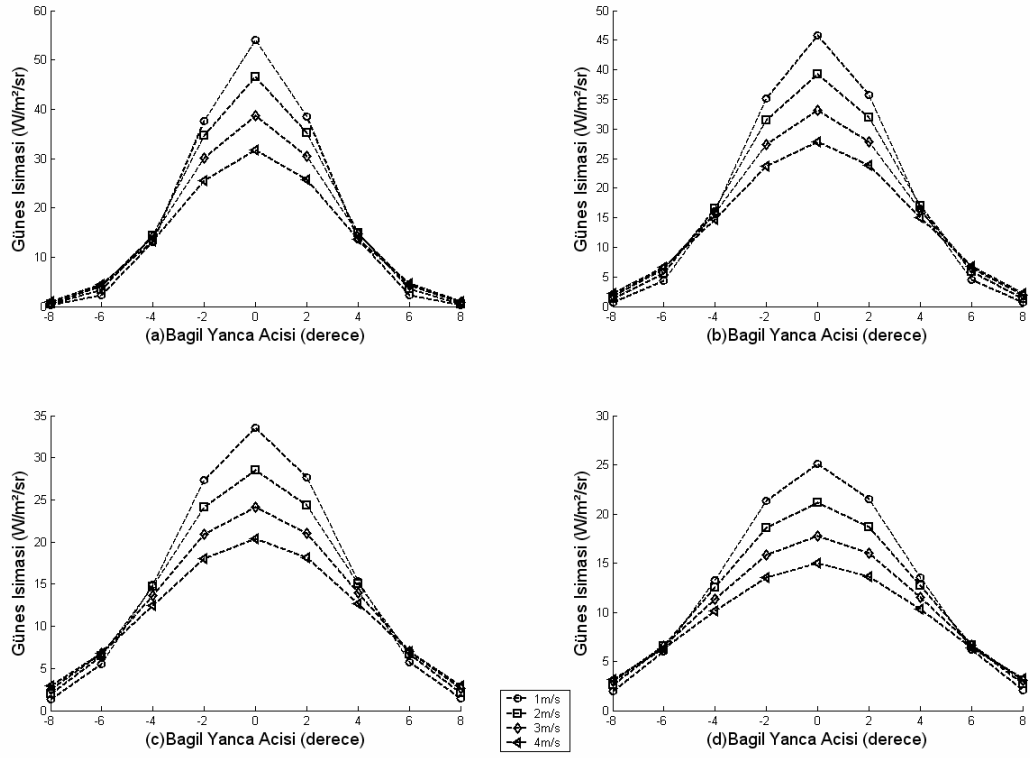
Şekil 6.87: Güneş Işıması, Cox ve Munk Temiz, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°



Şekil 6.88: Güneş Işımısı, Cox ve Munk Yağlı, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°

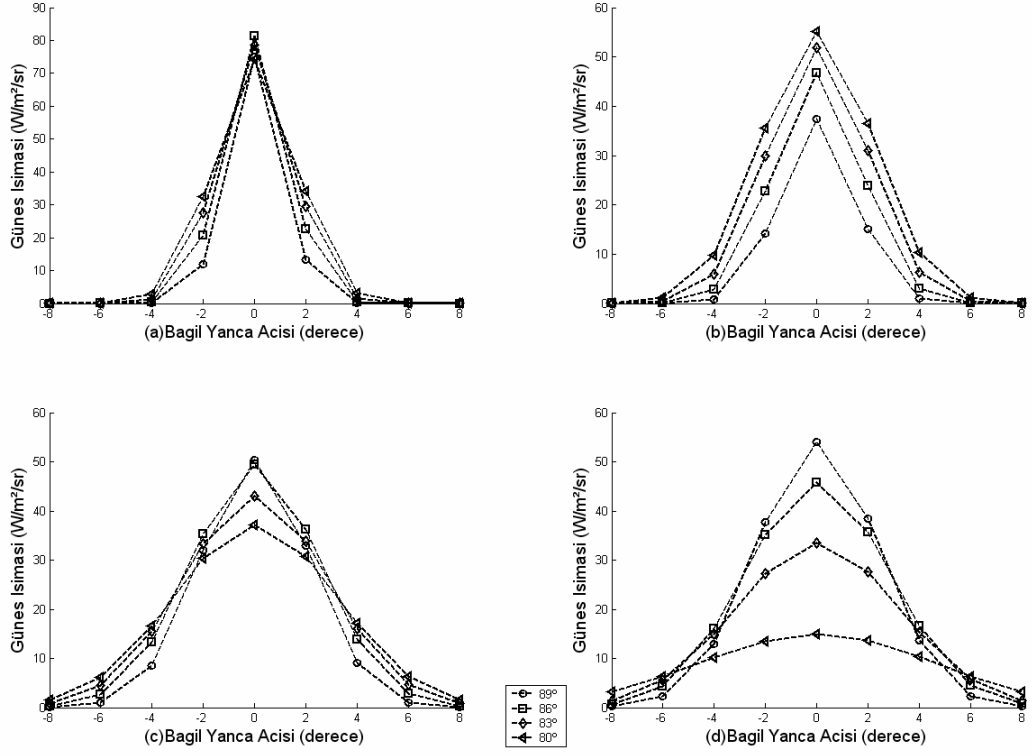


Şekil 6.89: Güneş Işımısı, Mermelstein, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°

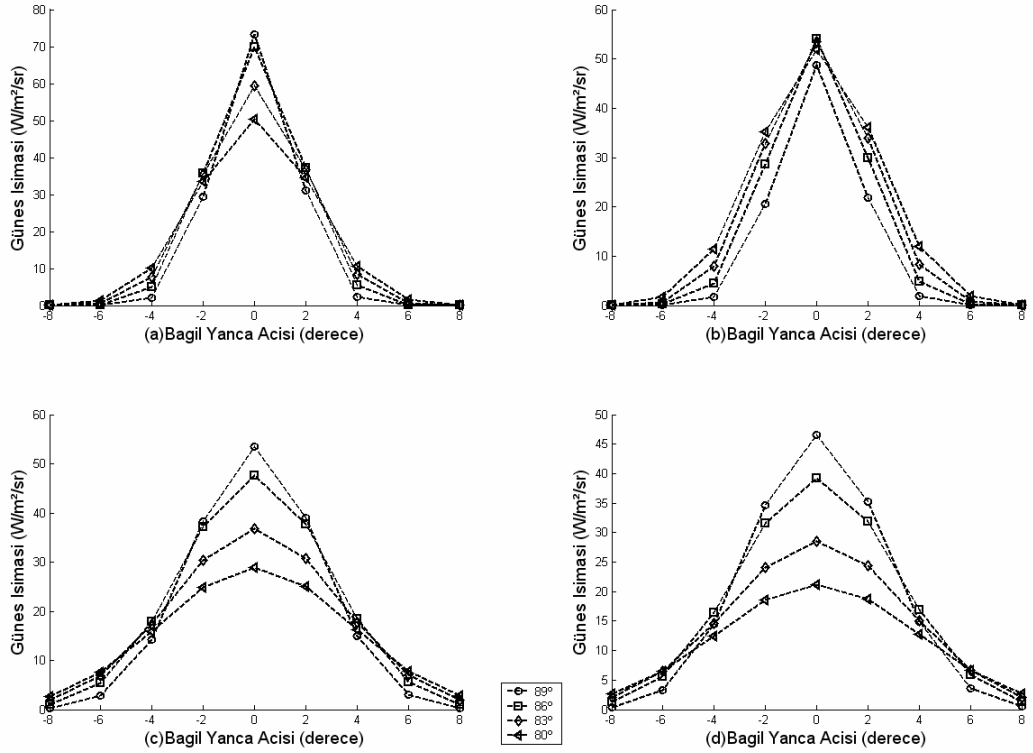


Şekil 6.90: Güneş Işıması, Shaw ve Churnside, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°

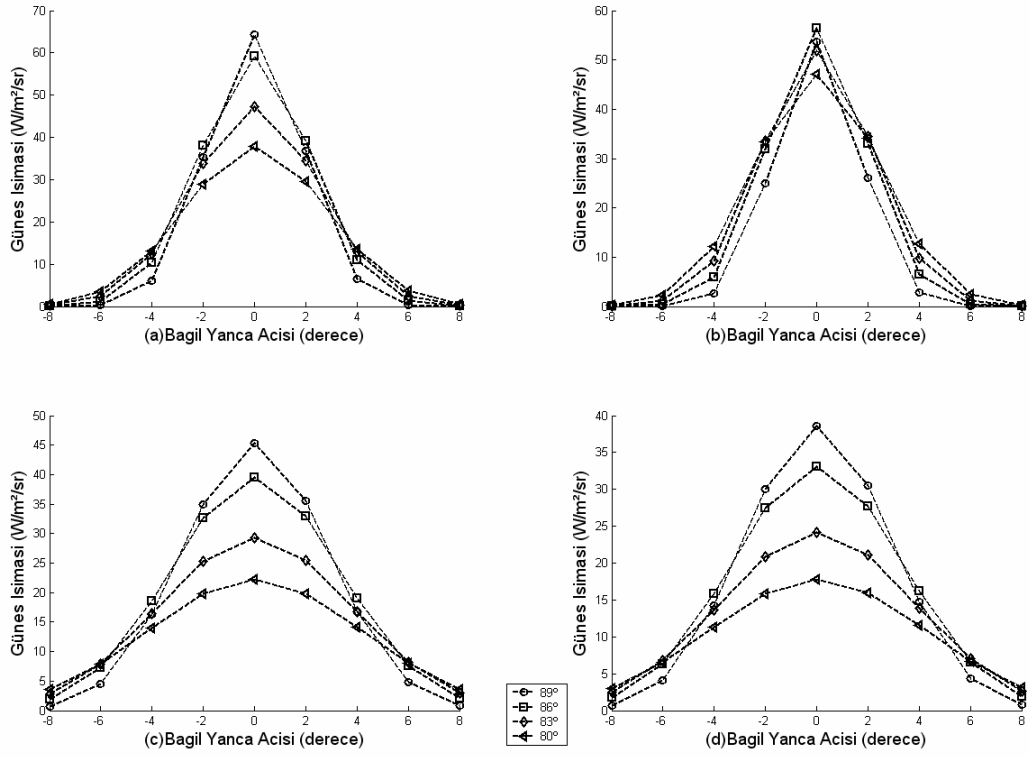
Bakış eğim açısı değişimine karşılık sırasıyla 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s ve 4 m/s rüzgar hızları ve tüm deniz yüzeyi modelleri için güneş pırlıtsı yolundan gözlemciye gelen güneş ısıması Şekil 6.91, Şekil 6.92 Şekil 6.93 ve Şekil 6.94'te verilmektedir.



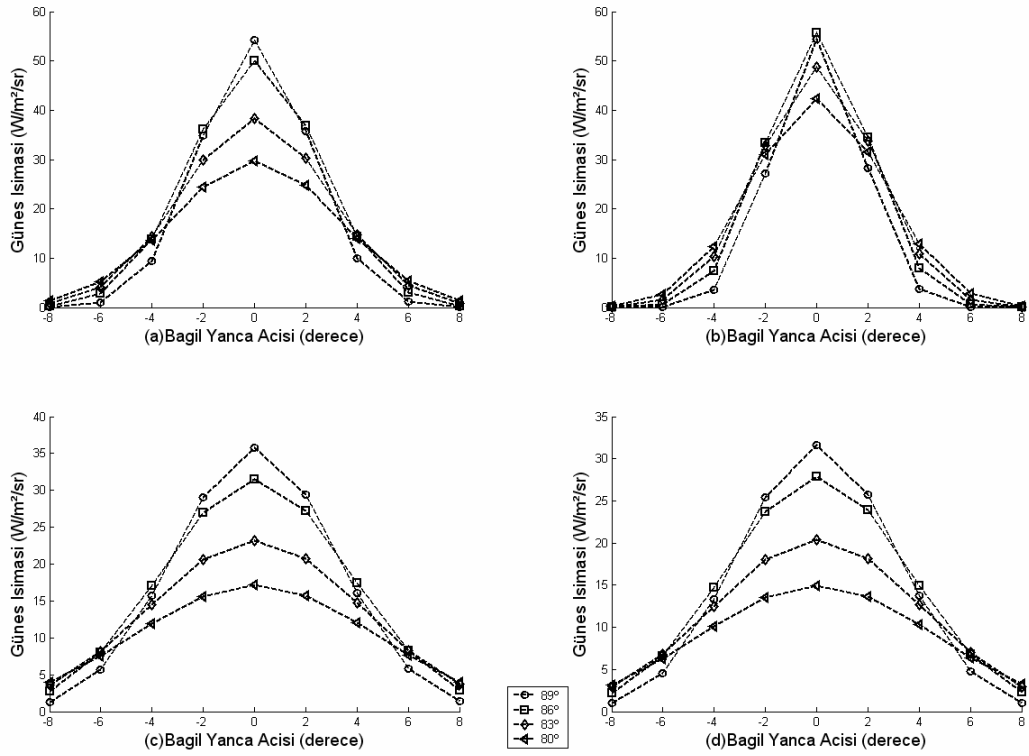
Şekil 6.91: Güneş Işınması, Rüzgar Hızı 1 m/s, (a) Cox ve Munk Temiz (b) Cox ve Munk Yağlı (c) Mermelstein (d) Shaw – Churnside



Şekil 6.92: Güneş Işınması, Rüzgar Hızı 2 m/s, (a) Cox ve Munk Temiz (b) Cox ve Munk Yağlı (c) Mermelstein (d) Shaw – Churnside

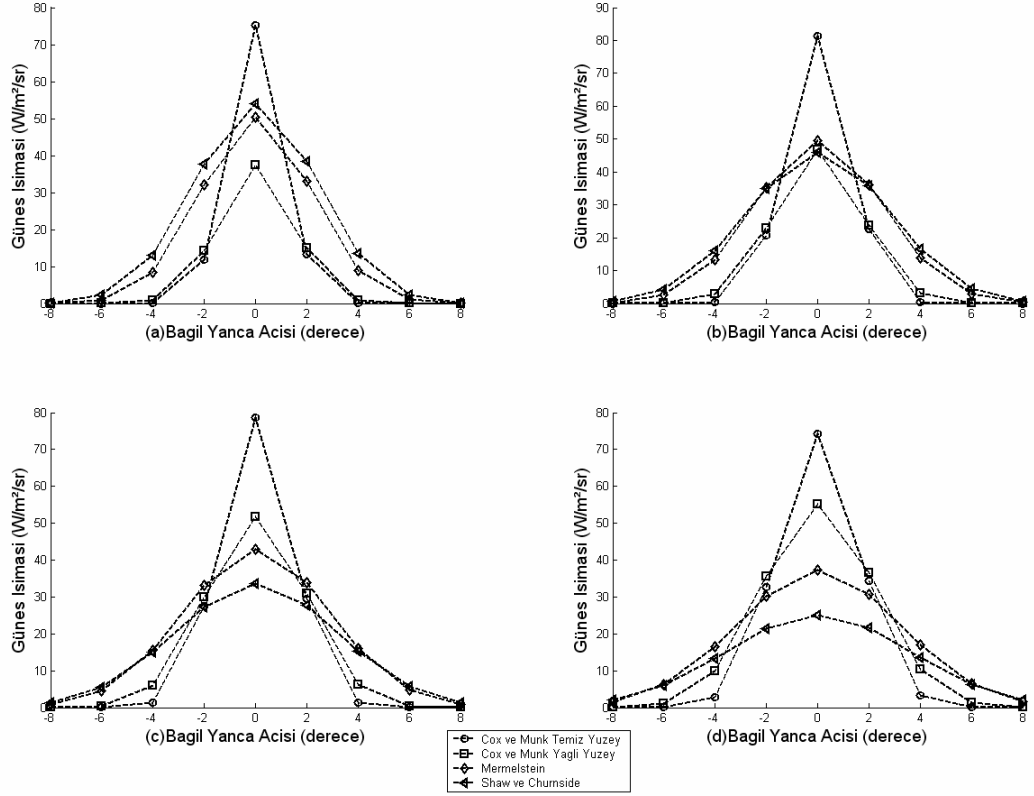


Şekil 6.93: Güneş Işımısı, Rüzgar Hızı 3 m/s, (a) Cox ve Munk Temiz (b) Cox ve Munk Yağlı (c) Mermelstein (d) Shaw – Churnside

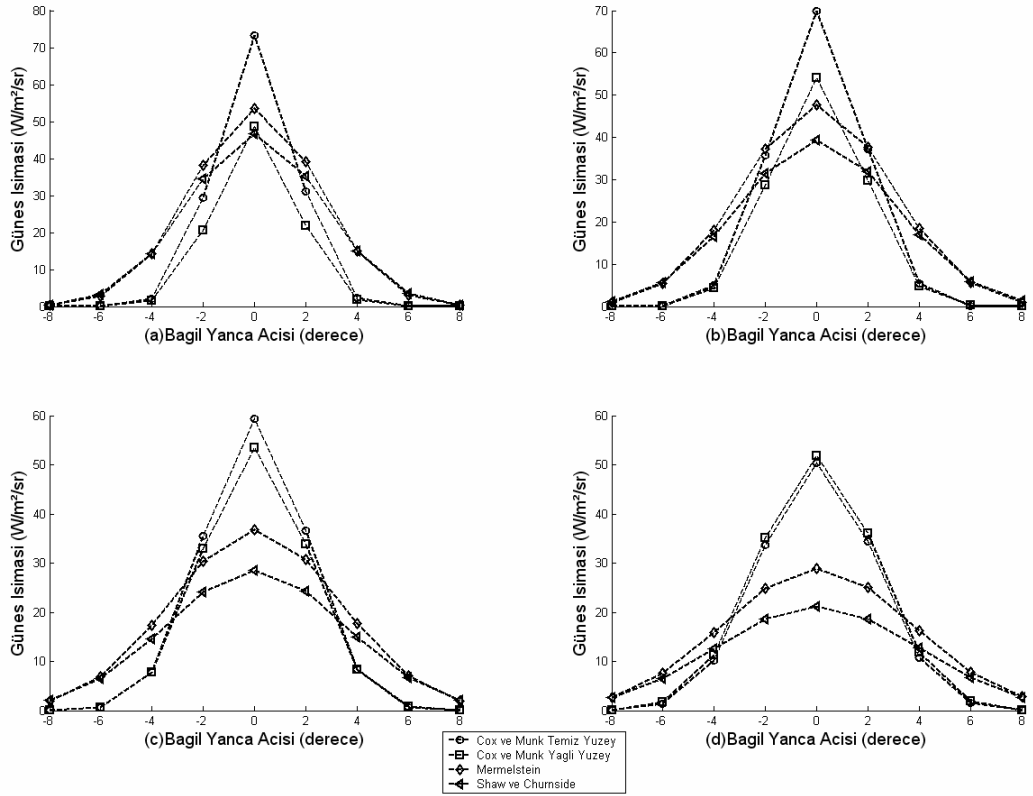


Şekil 6.94: Güneş Işımısı, Rüzgar Hızı 4 m/s, (a) Cox ve Munk Temiz (b) Cox ve Munk Yağlı (c) Mermelstein (d) Shaw – Churnside

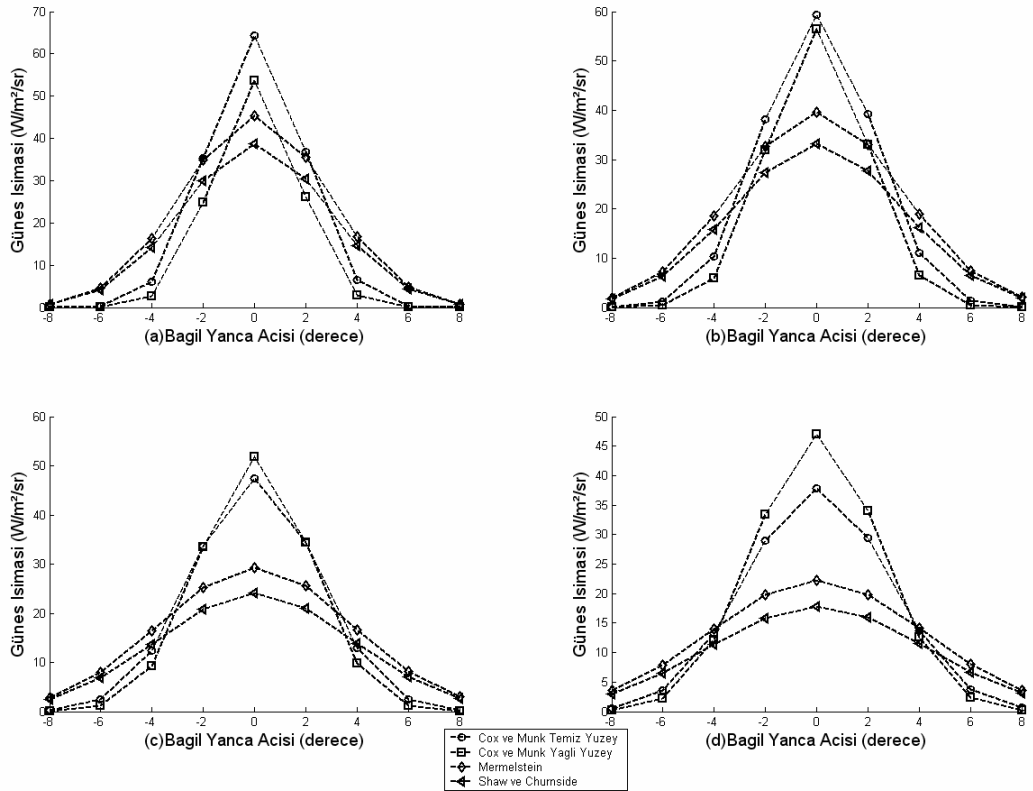
Deniz yüzeyi modeli değişimine karşılık 89° , 86° , 83° ve 80° bakış eğim açıları için sırasıyla 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s ve rüzgar hızları için güneş pırlıtsı yolundan gözlemciye gelen güneş ışıması benzetim çıktıları Şekil 6.95, Şekil 6.96, Şekil 6.97 ve Şekil 6.98’de verilmektedir.



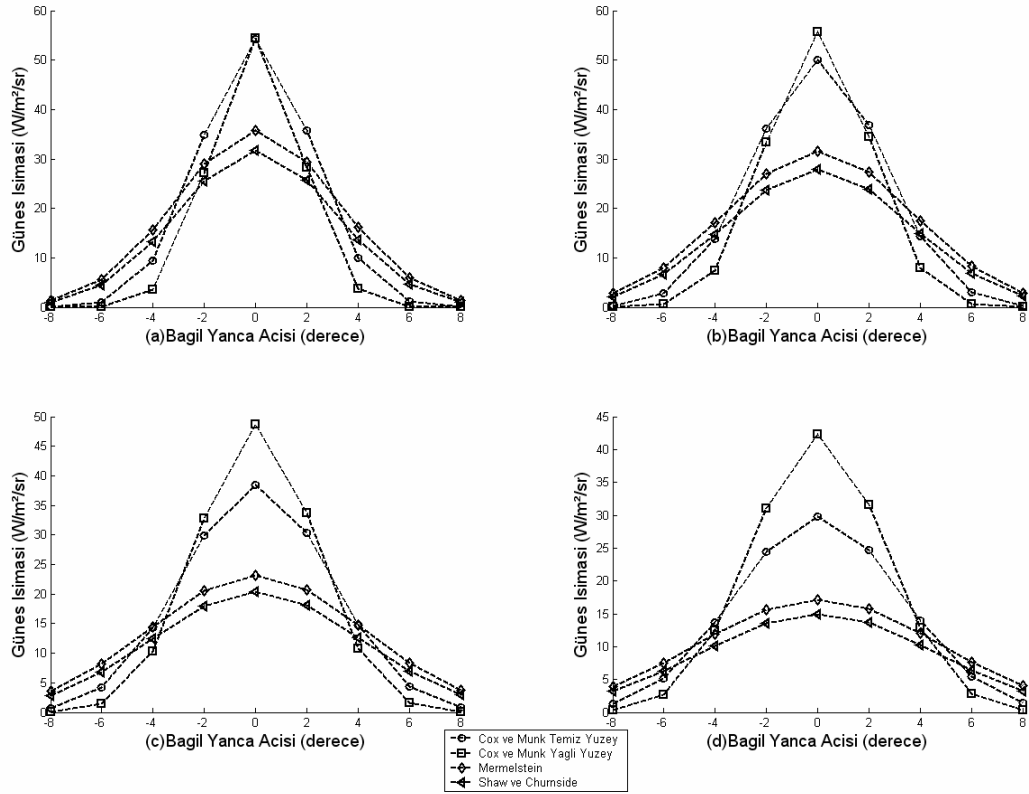
Şekil 6.95 : Güneş Işıması, Rüzgar Hızı 1 m/s, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°



Şekil 6.96: Güneş Işımısı, Rüzgar Hızı 2 m/s, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°



Şekil 6.97 : Güneş Işımısı, Rüzgar Hızı 3 m/s, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°



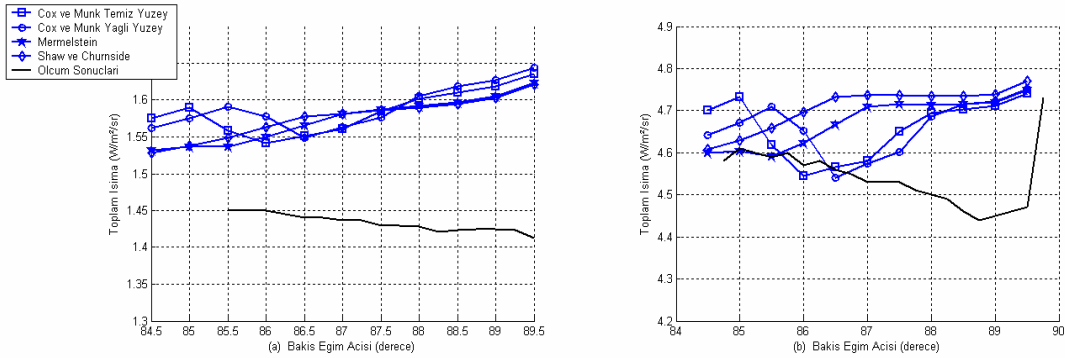
Şekil 6.98 : Güneş Işınması, Rüzgar Hızı 4 m/s, Bakış Eğim Açısı (a) 89° (b) 86° (c) 83° (d) 80°

6.4. DAMA Yazılımının Çıktılarının Ölçümlerle Karşılaştırılması

Bu tez kapsamında geliştirilen DAMA programının çıktıları ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmaktadır. Kızılötesi bantta deniz ortamı arka planı ışıma ölçüm sonuçları literatürde sınırlı olarak bulunmaktadır. Bu bölümde DAMA yazılımının çıktıları Schwenger ve Repasi'nin yayınladıkları çalışmalarında [10] verilen ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmaktadır.

Makalede ölçümlerin Almanya'da Surendorf'ta Baltık denizinde, 2003 yılının Ekim ayında, gün ortasında yapıldığı belirtilmektedir. Enlem ve boylam ile gün ve saat bilgisi detaylı olarak verilmemektedir. Bu nedenle analizlerde enlem 54.5°, boylam 10°, gün 15 ve saat yerel saat ile 12:00 olarak belirlenmiştir. Makaleye göre ölçümler 3.4-5.3 μm ve 8.0-8.75 μm olmak üzere iki bantta gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında rüzgar hızının kuzeybatı yönünde 2.6 m/s hızla estiği, deniz suyu sıcaklığının 12 °C, hava sıcaklığının 4.3 °C, bağıl nemin %71, hava basıncının 1030 mbar olduğu belirtilmektedir. Sezimcinin yüksekliği 6.7 m olarak verilmektedir. Sezimcinin bakış eğim açısı 3.4-5.3 μm bandında 85.5°'den 89.5°'ye

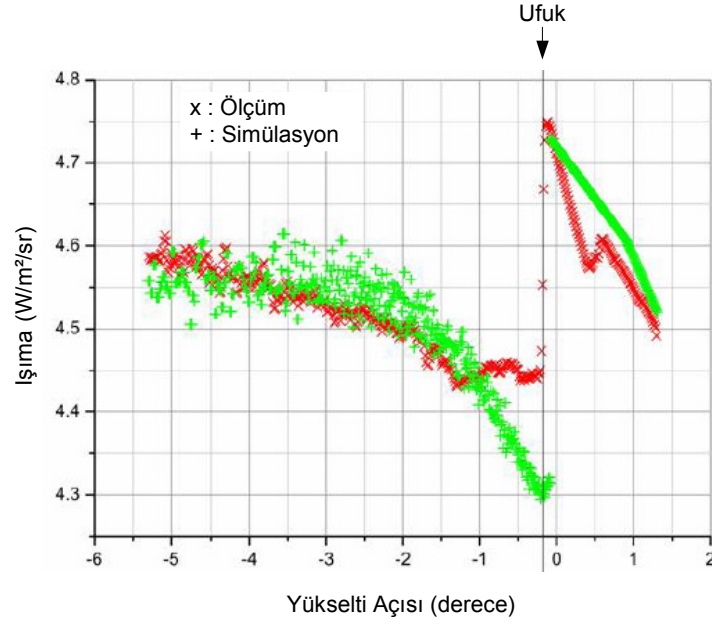
değişirken, 8.0-8.75 μm bandında ise 84.5°'den 89.5°'ye değişirken ölçüm sonuçları elde edilmektedir. Bu makalede gözlemcinin bakış yönelim açısı belirtilmemektedir. Bu nedenle bakış yönelim açısı 0°'den 360°'ye 45° çözünürlükle değişirken tüm deniz yüzeyi istatistiksel modelleri için analizler yapılmıştır. Yazılımın çıktılarının ölçüm sonuçları ile en çok örtüştüğü bakış yönelim açısı 270° olarak belirlenmiştir. Bunun yanında diğer bakış eğim açılarına karşılık elde edilen grafikler de ölçüm sonuçlarına yakın sonuçlar vermektedir. Makalede ölçüm sonuçları grafik üzerinde işaretlenmiş olarak verilmektedir. Bu tez kapsamında DAMA yazılımı ile yapılan analizlerin çıktıları ile ölçüm sonuçlarının grafik üzerine aktarılması ile elde edilen karşılaştırma grafikleri Şekil 6.99'da verilmektedir. Elde edilen grafiklerden ölçüm sonuçları ile yazılım çıktılarının uyumlu olduğu görülmektedir. 3.4 – 5.3 μm bandındaki ölçüm sonuçları ile karşılaştırma sonucunda hata oranının %5.5 ile %14 arasında değiştiği, 8.0 – 8.75 μm bandındaki ölçüm sonuçları ile yapılan karşılaştırma sonucunda ise en yüksek hata oranının %6 olduğu görülmüştür.



Şekil 6.99 : Ölçüm Sonuçları ile Yazılım Çıktılarının Karşılaştırılması (a) 3.4-5.3 μm Bandında (b) 8.0-8.75 μm Bandında

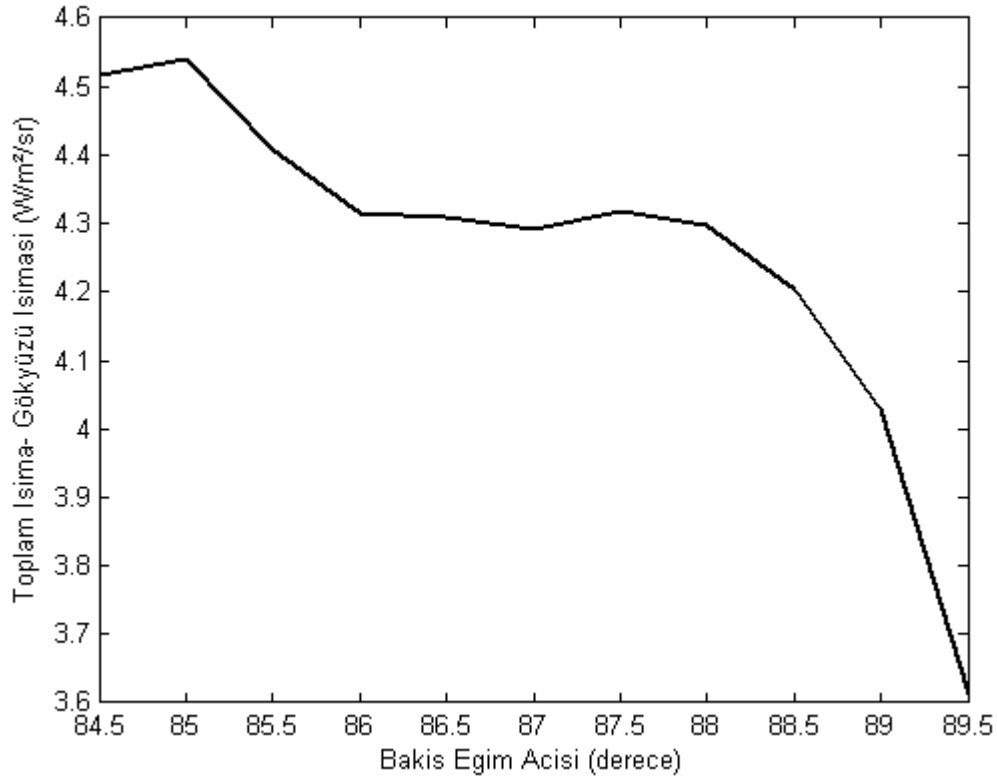
Schwenger ve Repasi'nin çalışmalarında [10] kendi benzetim çıktıları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırması verilmektedir. 8.0 – 8.75 μm bandında yapılan karşılaştırma Şekil 6.100'de verilmektedir. Yükselti açısı '90° - Bakış Eğim Açısı' olarak verilmektedir. Verilen grafikte gözlemcinin bakış açısının ufka doğru yaklaştığı durumda ölçüm değerlerinin yükselişe geçtiği, tam ufka bakıldığında ise ışımanın 4.73 W/m²/sr değerine ulaştığı görülmektedir. Gözlemcinin bakış doğrultusunun ufka yaklaştığı açılarda, Schwenger ve Repasi'nin benzetim çıktıları ölçüm değerlerindeki bu artışı izlememektedir; benzetim çıktıları azalış göstermektedir. Bu tez kapsamında geliştirilen DAMA yazılımı ile 8.0 – 8.75 μm

bandında elde edilen ışıma değerleri gözlemcinin bakış doğrultusunun ufka yaklaşması ile artış göstermektedir.



Şekil 6.100 : Schwenger ve Repasi'nin Benzetim Çıktılarının Ölçümlerle Karşılaştırılması (8.0 – 8.75 μm) [10]

DAMA yazılımı 0° bakış yönelim açısına karşılık toplam ışımadan yansıyan gökyüzü ışıması bileşeni çıkarıldığında elde edilen çıktı Şekil 6.101'de verilmektedir. Bu grafikte ışıma değerlerinin izlediği yol Schwenger ve Repasi'nin benzetim çıktıları ile uyum göstermektedir. Bu durumda iki benzetim yaklaşımındaki farklılığın yansıyan gökyüzü ışıması hesabından kaynaklandığı belirlenmektedir.



Şekil 6.101: DAMA yazılımı, Toplam Işıma – Yansıyan Gökyüzü Işımısı

DAMA yazılımında kullanılan yansıyan gökyüzü ışımısı yaklaşımı ile elde edilen çıktılar ufuk doğrultusuna yakın açılarda ölçüm değerlerini daha gerçekçi olarak takip etmektedir.

Yedinci bölümde bu tez ile yapılan çalışmaların özetini, çıktılar ile elde edilen sonuçları ve gelecek çalışmaları içeren sonuç bölümü verilmektedir.

7. SONUÇ

Kızılötesi pasif izleme sistemlerinin başarımı hedef ışıması ile arka plan ışımalarının ayırt edilebilmesi ile orantılıdır. Bu tezde deniz ortamındaki gözlemciye gelen arka plan ışımasını ve bileşenlerini hesaplayan bir benzetim programı geliştirilmiş ve çıktıların analizleri yapılmıştır. Hazırlanan bu benzetim yazılımı ile zahmetli, pahalı, zaman alan ve hata payı yüksek ölçüm çalışmalarına bir alternatif sunulmaktadır. Bu çalışma ile tüm girdi parametrelerinin kızılötesi bantta deniz ortamındaki arka plan ışımalarının toplamı ve bileşenleri üzerindeki etkilerinin analizleri sunulmuştur. Böylece deniz yüzeyinde hedef tespit etmeyi amaçlayan kızılötesi pasif izleme sistemlerinin geliştirilmesi çalışmalarına katkıda bulunmaktadır.

Deniz yüzeyine bakan gözlemciye gelen toplam arka plan ışımasının bileşenleri, termal deniz ışıması, yansıyan kaynak (güneş-ay) ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması ve yol ışımasından oluşmaktadır. Deniz yüzeyinden gözlemciye gelen ışımaların hesaplanmasında rüzgar hızı ve yönüne bağlı olarak deniz yüzeyini kaplayan dalgacıklar büyük önem taşımaktadır. Literatürde kızılötesi bantta deniz yüzeyi, her biri yüzey parçası olarak isimlendirilen düz plakaların birleşimi olarak modellenmektedir. Bu yüzey parçalarının eğimlerinin dağılımlarını Gauss olasılık yoğunluk fonksiyonuyla ve varyanslarını rüzgar hızı ve yönüne bağlı olarak tanımlayan üç model bulunmaktadır. Bunlar Cox ve Munk [2], Mermelstein [3] ve Shaw-Churnside [4] modelleridir. Bu tez kapsamında hazırlanan benzetim programında bu modeller kullanıcı tarafından seçilerek hesaplamalarda kullanılabilir. Deniz yüzeyi istatistiksel modellerinin karşılaştırılması sonucunda Cox ve Munk modeli ile Shaw-Churnside modeli eğimlerin varyansları ile rüzgar hızı arasında birinci dereceden bağıntı kurmaktadır. Mermelstein modeli ise varyansın karekökü ile rüzgar hızı arasında ikinci dereceden bağıntı kurmaktadır. Shaw-Churnside modeli rüzgar yönündeki ve rüzgar yönüne dik yöndeki eğimler için ortak varyans bağıntıları vermektedir.

Geliştirilen DAMA benzetim programının girdileri gözlemcinin bulunduğu enlem ve boylam, gözlemcinin irtifası, bakış eğim açısı ve bakış yönelim açısı, gün, ay, yıl, saat, dakika ve Greenwich'e göre saat farkı, dalgaboyu bandının alt ve üst limitleri, dalgaboyu çözünürlüğü, deniz suyu sıcaklığı, rüzgar hızı, 24 saatlik ortalama

rüzgar hızı, rüzgar yönü, bulut-yağmur modeli, görüş uzaklığı, yağmur oranı deniz yüzeyi modeli ile tuzluluk modeli seçimidir. Yazılımın çıktıları ise toplam ışıma ve bileşenleri, termal deniz ışıması, yansıyan kaynak (güneş-ay) ışıması, yansıyan gökyüzü ışıması ve yol ışıması ile atmosferik iletim katsayısıdır. Işıma değerleri $W/m^2/sr$ birimiyle verilmektedir.

DAMA benzetim programı modüller halinde geliştirilmiştir. Yazılımda istenilen değişiklik veya ekleme kolaylıkla yapılabilmektedir. Program kullanıcıya kolaylık sağlayan ve uyarılarla yönlendirmelerde bulunan bir grafik arayüz içermektedir. Girdiler hem grafik kullanıcı arayüzünden hem de dosyadan girilebilmektedir. Çıktılar da grafik kullanıcı arayüzünden ya da dosyadan okunabilmektedir.

DAMA yazılımının girdi parametrelerinin değişiminin toplam ışıma ve bileşenleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yazılım, 1-3 μm , 3-5 μm ve 8-12 μm dalgaboyu bantlarında yaklaşık 10.000 farklı senaryo ile koşturulmuş ve elde edilen çıktılar üzerinden analizler yapılmıştır. Bu analizler kapsamında toplam ışıma ve bileşenlerinin, yükseklik, bakış eğim açısı, bakış yönelim açısı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, deniz suyu sıcaklığı, bulut-yağmur modeli, tuzluluk modeli, mevsim ve saat parametrelerinin değişimine karşılık grafikleri çizdirilmiştir. Girdi parametrelerinin toplam ışıma üzerindeki etkilerinin değerlendirilebilmesi için her bir bileşen ayrı ayrı incelenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda 1-3 μm bandında baskın bileşenlerin yansıyan güneş ışıması ve güneş ışımalarının atmosfer parçacıklarından saçılmasından kaynaklanan yansıyan gökyüzü ışıması ile yol ışıması olduğu görülmüştür. 8-12 μm bandında ise toplam ışımaya en fazla katkıda bulunan bileşenler denizin kendi sıcaklığından kaynaklanan termal deniz ışıması ile atmosfer parçacıklarının kendi sıcaklıklarından kaynaklanan yansıyan gökyüzü ışıması ile yol ışıması olmaktadır. 1-3 μm bandında gözlemciye gelen yansıyan güneş ışıması 3-5 μm bandındakinin yaklaşık 50 katı, 8-12 μm bandındakinin yaklaşık 500 katı olarak elde edilmiştir. 8-12 μm bandındaki termal deniz ışıması ise 3-5 μm bandındakinin yaklaşık 20 katı, 1-3 μm bandındakinin yaklaşık 5000 katı değer almıştır.

Gözlemci yüksekliğinin artmasıyla her üç dalgaboyu bandında toplam ışımayı oluşturan bileşenlerden gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması, yansıyan

gökyüzü ışıması ve yansıyan güneş ışıması azalmaktadır. Bakış eğim açısının artması ile gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması ve atmosferik iletim katsayısı azalmakta, yol ışıması ve yansıyan atmosfer ışıması artmaktadır. Gözlemcinin yüksekliği 10 m'den 1000 m'ye artarken ve bakış eğim açısı 0° iken, 1-3 μm bandında yol ışıması bileşeni yaklaşık 100 kat artmıştır. Bakış eğim açısının 80° olduğu durumda ise yol ışıması yaklaşık 600 kat artmıştır. 3-5 μm bandında gözlemci yüksekliği 10 m'den 1000 m'ye artarken ve bakış eğim açısı 0° iken yol ışıması yaklaşık 3 kat artarken bakış eğim açısı 80° olduğunda yol ışıması yaklaşık 6 kat artmıştır. 8-12 μm bandında ise gözlemci yüksekliği 10 m'den 1000 m'ye artarken ve bakış eğim açısı 0° iken yol ışıması yaklaşık 600 kat, bakış eğim açısı 80° iken yaklaşık 2500 kat artmıştır. Yapılan bu analizler sonucunda yükseklik ve bakış eğim açısının artması ile gözlemcinin gördüğü yol ışımasındaki artış en fazla 8-12 μm bandında, en az 3-5 μm bandında görülmüştür.

Yansıyan güneş ışımasındaki değişim güneşin geliş açılarından başucu açısına bağlıdır. Gözlemci bakış eğim açısının güneşin başucu açısına yakın olduğu yerlerde yansıyan güneş ışıması fazla diğer açılarda daha az olmaktadır. Rüzgar hızının artmasıyla gözlemcinin bakış yönünde yansıyan gökyüzü ışıması ve yol ışıması artmaktadır. Gözlemciye ulaşan termal deniz ışıması ve atmosferik iletim katsayısı ise rüzgar hızının artmasıyla azalmaktadır. Deniz suyu sıcaklığının artmasıyla termal deniz ışıması artmakta, diğer bileşenler değişim göstermemektedir. Tuzluluk modeli değişiminin çıktılar üzerinde kayda değer bir etki yaratmadığı gözlenmiştir.

Deniz yüzeyi modellerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda model seçimi değişiminin daha çok yansıyan güneş ışıması bileşeni üzerinde etki yarattığı görülmektedir. Rüzgar hızı değişimine en çok tepki veren model Mermelstein deniz yüzeyi istatistiksel modelidir. Shaw-Churnside deniz yüzeyi istatistiksel modeli gözlemci bakış doğrultusuna paralel ve dik olduğu durumlar için aynı bağıntıyı verdiği için rüzgar yönü değişimiyle çıktılar üzerinde bir etki yaratmamaktadır. Bakış eğim açısının artmasıyla Cox ve Munk temiz deniz yüzeyi modeli ile Mermelstein ve Shaw-Churnside modellerinin kullanıldığı benzetim birbirine yakın çıktılar vermektedir. Yüksek rüzgar hızı durumunda ise Mermelstein modeli ile Shaw-Churnside modelinin kullanıldığı benzetim çıktıları birbirlerine oldukça yakındır.

Deniz yüzeyi modelleri geçerli oldukları rüzgar hızı sınırlarının dışında da birbirleri ile uyumlu sonuçlar vermektedir. Bu tez kapsamında bulut ve yağmur modeli değişimleri ile mevsim ve saat değişimlerinin toplam ışıma ve bileşenleri üzerindeki etkileri de değerlendirilmektedir. Gözlemciye gelen toplam ışıma üzerindeki değerlendirmeler bileşenlerin değişimlerinin birbirlerine göre durumlarının incelenmesiyle elde edilebilmektedir.

Güneşin doğmasının hemen sonrasında ve batmasına yakın zamanlarda deniz kenarında ufka doğru bakıldığında gözlenen ve güneş pırlıtsı yolu olarak adlandırılan durum bu yazılımla modellenabilmektedir. Güneşin deniz yüzeyindeki pırlıtsısının şiddeti ve pırlıty yolunun genişliğı hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada değişik bakış eğim açıları ve rüzgar hızlarına karşılık tüm deniz yüzeyi modelleri ile güneş pırlıtsı yolu çıktıları da incelenmektedir. Literatürde bulunan çalışmalar rüzgar hızının artmasıyla güneş pırlıtsı yolunun genişliğinin artması, bakış eğim açısının azalmasıyla güneş pırlıtsı yolunun genişliğinin artması ve ışıma şiddetinin azalması gerektiğı belirtilmekte ve bu durumu destekleyen ölçüm sonuçları verilmektedir. Belirtilen şartlarda analizlerin yapılması sonucunda çıktıların literatürde belirtilen beklentileri karşıladığı görölmektedir.

Geliştirilen benzetim programının çıktıları literatürde bulunan ve sınırlı bir yazılım olan SEARAD yazılımının çıktılarıyla karşılaştırılmıştır. SEARAD yazılımı MODTRAN yazılımının eski versiyonunun içine eklemeler yapılarak oluşturulmuş bir yazılımdır. FORTRAN dilinde yazılmıştır ve grafik arayüzü bulunmamaktadır. Literatürde bulunan deniz yüzeyi modellerinden yalnız Cox ve Munk temiz deniz yüzeyi modelini ve deniz suyu tuzluluk modellerinden yalnız Büyük Okyanus modelini kullanmaktadır. Buna karşılık bu tez kapsamında geliştirilen benzetim yazılımı modüler bir yapıda geliştirilmiştir ve özgündür. MODTRAN yazılımının son versiyonunu dışarıdan çağırarak kullanmaktadır. MATLAB dili ile geliştirilmiştir. Kullanıcıya kolaylık sağlayan grafik arayüzü bulunmaktadır. Literatürde kızılötesi bant için geçerli olan tüm deniz yüzeyi modellerini ve deniz suyu tuzluluk modellerini içermektedir. Her iki yazılım ortak girdiler ile çalıştırıldığında, bu tez kapsamında geliştirilmiş olan benzetim programının çıktıları SEARAD yazılımının çıktıları ile örtüşmektedir.

Benzetim programının çıktıları literatürde bulunan ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Geliştirilen programın çıktıları ölçüm sonuçları ile uyumludur ve gerçekçi bir şekilde örtüşmektedir. 3.4 – 5.3 μm bandındaki ölçüm sonuçları ile karşılaştırma sonucunda hata oranının %5.5 ile %14 arasında değiştiği, 8.0 – 8.75 μm bandındaki ölçüm sonuçları ile yapılan karşılaştırma sonucunda ise en yüksek hata oranının %6 olduğu görülmüştür.

Gelecek çalışmalar ile kızılötesi bantta deniz yüzeyi ışımaları görsel grafiklerle modelleyen yazılımların hazırlanması planlanmaktadır. Kızılötesi bantta ışımanın kutuplanması hesaplamaları geliştirilen programa eklenebilir ve kutuplanmanın deniz ortamı arka plan ışımaları ve hedef tespiti üzerindeki etkileri değerlendirilebilir. Elde edilen benzetim çıktılarının geçerliliğinin gösterilmesi amacıyla ölçüm çalışmaları yapılabilir. Arka plan ışımalarını geliştirilen bu yazılım ile hesaplayan bir hedef sezimcisi modellenenebilir.

EKLER

EK 1. EŞİTLİKLERİN ÇIKARIMI

EK 1.1 Yansıyan Gökyüzü Işınması ve Termal Deniz Işınması Eşitlikleri

$$\begin{aligned}
 \cos \omega &= \mathbf{U}_n \cdot \mathbf{U}_r \\
 &= a_n a_r + b_n b_r + c_n c_r \\
 &= \left(\frac{a_n}{c_n} a_r + \frac{b_n}{c_n} b_r + c_r \right) c_n \\
 &= \left\{ -\zeta_x a_r - \zeta_y b_r + c_r \right\} c_n \\
 &= \frac{\left\{ -\zeta_x \sin \theta_r \cos \phi_r - \zeta_y \sin \theta_r \sin \phi_r + \cos \theta_r \right\}}{\sqrt{1 + \zeta_x^2 + \zeta_y^2}}
 \end{aligned} \tag{E1.1}$$

$$\begin{aligned}
 \cos \theta_s &= 2 \cos \omega \cos \theta_n - \cos \theta_r = 2 \cos \omega c_n - c_r \\
 &= 2(-\zeta_x a_r - \zeta_y b_r + c_r) c_n^2 - c_r \\
 &= \frac{2(-\zeta_x a_r - \zeta_y b_r + c_r) - c_r / c_n^2}{1 / c_n^2} \\
 &= \frac{2 \left(-\zeta_x \sin \theta_r \cos \phi_r - \zeta_y \sin \theta_r \sin \phi_r + \cos \theta_r \right) - \cos \theta_r (1 + \zeta_x^2 + \zeta_y^2)}{1 + \zeta_x^2 + \zeta_y^2} \\
 &= \frac{-2 \sin \theta_r (\zeta_x \cos \phi_r + \zeta_y \sin \phi_r) + \cos \theta_r (1 - \zeta_x^2 - \zeta_y^2)}{1 + \zeta_x^2 + \zeta_y^2}
 \end{aligned} \tag{E1.2}$$

$$\begin{aligned}
 \tan \phi_s &= \frac{b_s}{a_s} = \frac{2 \cos \omega b_n - b_r}{2 \cos \omega a_n - a_r} \\
 &= \frac{2 \cos \omega b_n / c_n^2 - b_r / c_n^2}{2 \cos \omega a_n / c_n^2 - a_r / c_n^2} \\
 &= \frac{2 \zeta_y \left\{ -\zeta_x \sin \theta_r \cos \phi_r - \zeta_y \sin \theta_r \sin \phi_r + \cos \theta_r \right\} + b_r / c_n^2}{2 \zeta_y \left\{ -\zeta_x \sin \theta_r \cos \phi_r - \zeta_y \sin \theta_r \sin \phi_r + \cos \theta_r \right\} + a_r / c_n^2} \\
 &= \frac{2 \zeta_y \left\{ -\zeta_x \sin \theta_r \cos \phi_r - \zeta_y \sin \theta_r \sin \phi_r + \cos \theta_r \right\} - \sin \theta_r \sin \phi_r (1 + \zeta_x^2 + \zeta_y^2)}{2 \zeta_y \left\{ -\zeta_x \sin \theta_r \cos \phi_r - \zeta_y \sin \theta_r \sin \phi_r + \cos \theta_r \right\} - \sin \theta_r \cos \phi_r (1 + \zeta_x^2 + \zeta_y^2)} \tag{E1.3} \\
 &= \frac{2 \zeta_y \left\{ -\zeta_x \cos \phi_r - \zeta_y \sin \phi_r + \cot \theta_r \right\} - \sin \phi_r (1 + \zeta_x^2 + \zeta_y^2)}{2 \zeta_y \left\{ -\zeta_x \cos \phi_r - \zeta_y \sin \phi_r + \cot \theta_r \right\} - \cos \phi_r (1 + \zeta_x^2 + \zeta_y^2)} \\
 &= \frac{(1 + \zeta_x^2 - \zeta_y^2) \sin \phi_r - 2 \zeta_x \zeta_y \cos \phi_r + 2 \zeta_y \cot \theta_r}{(1 - \zeta_x^2 + \zeta_y^2) \cos \phi_r - 2 \zeta_x \zeta_y \sin \phi_r + 2 \zeta_y \cot \theta_r}
 \end{aligned}$$

EK 1.2 Yansıyan Kaynak Işıması Eşitlikleri

$$\begin{aligned}
 \zeta_x &= -\frac{a_n}{c_n} \\
 &= -\frac{a_s + a_r}{c_s + c_r} \\
 &= -\frac{\sin \theta_s \cos \phi_s + \sin \theta_r \cos \phi_r}{\cos \theta_s + \cos \theta_r}
 \end{aligned} \tag{E1.4}$$

$$\begin{aligned}
 \zeta_y &= -\frac{b_n}{c_n} \\
 &= -\frac{b_s + b_r}{c_s + c_r} \\
 &= -\frac{\sin \theta_s \sin \phi_s + \sin \theta_r \sin \phi_r}{\cos \theta_s + \cos \theta_r}
 \end{aligned} \tag{E1.5}$$

$$\begin{aligned}
 2 \cos^2 \omega &= 1 + \mathbf{U}_s \cdot \mathbf{U}_r \\
 &= 1 + a_s a_r + b_s b_r + c_s c_r \\
 &= 1 + \sin \theta_s \cos \phi_s \sin \theta_r \cos \phi_r + \sin \theta_s \sin \phi_s \sin \theta_r \sin \phi_r + \cos \theta_s \cos \theta_r \\
 &= 1 + \sin \theta_s \sin \theta_r \cos(\phi_s - \phi_r) + \cos \theta_s \cos \theta_r
 \end{aligned} \tag{E1.6}$$

$$\begin{aligned}
 \tan^2 \theta_n &= \zeta_x^2 + \zeta_y^2 \\
 &= \frac{(a_s + a_r)^2 + (b_s + b_r)^2}{(c_s + c_r)^2} \\
 &= \frac{(\sin \theta_s \cos \phi_s + \sin \theta_r \cos \phi_r)^2 + (\sin \theta_s \sin \phi_s + \sin \theta_r \sin \phi_r)^2}{(\cos \theta_s + \cos \theta_r)^2} \\
 &= \frac{\sin^2 \theta_r + \sin^2 \theta_s + 2 \sin \theta_s \cos \phi_s \sin \theta_r \cos \phi_r + 2 \sin \theta_s \cos \phi_s \sin \theta_r \sin \phi_r}{(\cos \theta_s + \cos \theta_r)^2} \\
 &= \frac{\sin^2 \theta_r + \sin^2 \theta_s + 2 \sin \theta_s \sin \theta_r \cos(\phi_r - \phi_s)}{(\cos \theta_s + \cos \theta_r)^2}
 \end{aligned} \tag{E1.7}$$

EK 2. MODTRAN

MODTRAN (MODerate Resolution TRANsmission) A.B.D Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarları 'nda 25 yılda geliştirilen bir atmosfer modelidir. Bu model atmosferde tanımlanan bir düzlem için geçirgenlik ve ışıma hesaplamalarını yapmak için kullanılmaktadır. MODTRAN atmosfer modeli programı birçok büyük sistem kodunun içine alt program ya da ayrı bir modül olarak yerleştirilebilmektedir. MODTRAN, FORTRAN 77 programlama dili ile yazılmıştır.

MODTRAN geçirgenlik hesaplamalarında üç sıcaklık bağımlı parametre kullanılmaktadır. Bunlar soğurma sabiti, çizgi yoğunluk parametresi (line density), ve ortalama çizgi genişliği olarak yer almaktadır. Programda çok katmanlı düzlemleri eşdeğer tek homojen bir düzlemle ifade etmek için Curtis-Godson yaklaşımı kullanılmaktadır. Sürekli moleküler soğuma, moleküler saçılma ve aerosol kaynaklı soğurma ve saçılma durumları da hesaba katılmaktadır. Işıma hesaplamaları aşağıda belirtilen kaynaklardan gelen katkıları göz önüne almaktadır.

- Atmosfer yayını
- Güneş ve ay ışıması (düzlem içine tek saçılma olarak)
- Doğrudan güneşten gelen ışıma
- Güneşten ve atmosferik yayınımdan kaynaklanan çoklu saçılma ışıması

MODTRAN $0 - 50000 \text{ cm}^{-1}$ frekans aralığında ya da $0,2 \text{ }\mu\text{m}$ 'den büyük dalga boylarında geçerlidir. MODTRAN'daki en fazla spektral çözünürlük 2 cm^{-1} olarak belirtilmektedir. Programda kullanılan geometri paketinin, atmosfer kırınımından ve dünya eğiminden kaynaklanan etkiler göz önünde bulundurularak hazırlandığı ifade edilmektedir. Atmosfer $0 - 100 \text{ km}$ yükseklik aralığında 33 atmosfer düzlemi şeklinde modellenmiştir. Basınç ve sıcaklıktan, moleküler soğurma ve zayıflama katsayısına kadar olan fiziksel parametreler her bir düzlem için tanımlanmaktadır. Programda bulunan bazı standart atmosfer modelleri kullanılabileceği gibi kullanıcı tarafından oluşturulan atmosfer modeli programa yüklenerek kullanılabilir.

Düzlemdeki toz, bulut ya da diğer parçacıkların etkilerini hesaplamak için aerosol modeli kullanılmaktadır.

MODTRAN girdi parametrelerini üç ana blokta incelemek mümkündür. Bu üç ana blok Model Atmosfer Bloğu, Aerosol Bloğu ile Geometri ve Spektral Bant Bloğu olarak belirtilebilir.

MODTRAN çıktıları program çalıştırıldıktan sonra “\pcmodwin4.0\usr” dosyası içerisinde “MODOUT” dosyaları olarak yerleştirilmektedir. MODTRAN çıktıları model atmosfer bloğu içerisinde yer alan uygulama modu girdisinde seçilecek girdiye göre değişmektedir. Uygulama modu ‘Doğrudan Güneşten Gelen Işıma’ olduğunda çıktı parametreleri toplam geçirgenlik, güneşten gelip geçirilen ışıma, güneşten gelen ışıma, toplam düzlem geçirgenliği olmaktadır. Uygulama modu ‘Geçirgenlik’ olduğunda çıktı parametreleri toplam geçirgenlik ve atmosfer katmanlarında tanımlanmış her bir molekül için toplam geçirgenlik olmaktadır. Uygulama modu ‘Termal Işıma’ olduğunda çıktı parametreleri toplam geçirgenlik, termal düzlem ışıması, termal saçılma, yüzey yayını, yerden toplam yansıyan ışıma, toplam ışıma ve optiksel derinlik olmaktadır. Uygulama modu ‘Işıma / Saçılma’ olduğunda ise çıktı parametreleri toplam geçirgenlik, termal düzlem ışıması, termal saçılma, yüzey yayını ışıması, güneş saçılması ışıması, tek saçılma ışıması, yerden yansıyan toplam ışıma, yerden doğrudan yansıyan ışıma, düzlem üzerindeki toplam ışıma, yansıyan güneş ışıması, gözlemci üzerinde güneş ışıması ve optiksel derinlik olmaktadır.

EK 3. SEARAD

SEARAD (SEA RADiance) yazılımı [17] deniz yüzeyinden yansıyan ışımaları hesaplamak amacıyla MODTRAN yazılımına eklenen modüllerle oluşturan bir yazılımdır. Yazılım deniz yüzeyini Cox ve Munk istatistiksel modelini kullanarak modellemektedir. Deniz suyunun yansıma katsayıları Büyük Okyanus'ta yapılan ölçüm sonuçları kullanılarak hesaplanmaktadır. Yazılım arayüz içermemektedir. Girdiler 'tape5' isimli dosyadan girilmekte, çıktılar 'OUT' dosyasına yazdırılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Zeisse, C. R., 1995, SeaRad, a sea radiance prediction code, Technical Report 1702, Naval Command, Control and Ocean Surveillance Center, San Diego, CA.
- [2] Cox, C. ve Munk, W., 1954, Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the sun's glitter, Journal of Optical Society of America, 44(11), 838-850.
- [3] Mermelstein, M. D., Shettle, E. P., Takken E. H. and Priest, R. G., 1994, Infrared radiance and solar glint at the ocean-sky horizon, Applied Optics, 33(25), 6022-6034.
- [4] Shaw, J. A. ve Churnside, J. H., 1997, Scanning-laser glint measurements of sea-surface slope statistics, Applied Optics, 36(18), 4202-4213.
- [5] Hale, G. M., ve Query, M. R., 1973, Optical constants of water in the 200 nm to 200 μ m wavelength region, Applied Optics, 12(3), 555-563.
- [6] Query, M. R., Holland, W. E., Waring, R.C., Earls, L. M., Query M.D., 1977, Relative reflectance and complex refractive index in the infrared for saline environmental waters, Journal of Geophysical Research, 82(9), 1425-1433.
- [7] Reda, I., ve Andreas, A. 2003, Solar position algorithm for solar radiation applications, National Renewable Energy Laboratory, ABD.
- [8] Donelan, M. A., ve Pierson W. J. Jr., 1987, Radar scattering and equilibrium ranges in wind generated waves with application to scatterometry, Journal of Geophysical Research, 92(C5), 4971-5028.
- [9] MODTRAN Ontar Corporation, 2004, PcModWin ManualVersion4.0 v3r1 Version, ABD.
- [10] Schwenger, F., ve Repasi, E., 2006, Sea surface simulation in the infrared modeling and validation. SPIE vol 6239 62390J-1-14.

- [11] Driggers, R. G., Cox, P., Edwards, T., 1999, Introduction to Infrared and Electro-Optical Systems, Artech House, Norwood, MA, 85-150
- [12] Wolfe, L.W. ve Zissis, G.J., 1993, The Infrared Handbook, 3-34 – 3-43
- [13] Shaw, J.H., 1953, Solar Radiation, The Ohio Journal of Science, L III (5), 258-271
- [14] Hudson, R. D. JR, 1969, Infrared System Engineering, John Wiley & Son, ABD, 20-165.
- [15] Meeus, J., 1991, Astronomical Algorithms, Willmann-Bell, Inc., 319-324
- [16] Tropf, W.J., 1990, Definition of the sea surface sun glitter corridor, Johns Hopkins APL Memorandum F1F(0) 90-U-138
- [17] Zeisse, C. R., McGrath, C. P., Littfin, K. M., Hughes, H. G., 1999, Infrared radiance of the wind-ruffled sea, Journal of Optical Society of America, 16(6):1439-1452.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Esra ERDEM

Doğum Yeri : ANKARA

Doğum Yılı : 1982

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1996-1999

Ankara Atatürk Lisesi

Lisans 1999-2003

Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi : 2004-... TÜBİTAK UEKAE İLTAREN – Araştırmacı