

Mehmet Serkan TOKAY

Doktora Tezi

KÜ 2014

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

KIZILÖTESİ BANDINDA SENTETİK SAHNE ÜRETİMİ

Mehmet Serkan TOKAY

Mart 2014

FİZİK Anabilim Dalında Mehmet Serkan TOKAY tarafından hazırlanan 'KIZILÖTESİ BANDINDA SENTETİK SAHNE ÜRETİMİ' adlı Doktora Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Saffet NEZİR
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin Doktora Tezi olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Dr. Ziya Gürkan FİGEN
İkinci Danışman

Prof. Dr. Sedat AĞAN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan	: Prof. Dr. Ediz POLAT	_____
Üye (Danışman)	: Prof. Dr. Sedat AĞAN	_____
Üye	: Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM	_____
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Ali Kemal OKYAY	_____
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Erdem YAŞAR	_____

... / ... / 2014

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

KIZILÖTESİ BANDINDA SENTETİK SAHNE ÜRETİMİ

TOKAY, Mehmet Serkan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Sedat AĞAN

İkinci Danışman: Dr. Ziya Gürkan FİGEN

Mart 2014, 216 sayfa

Kızılötesi (KÖ) görüntüleme sistemlerinin hedef tespit, tanıma ve izleme gibi uygulamalar için giderek yaygınlaşan kullanım alanlarından dolayı; bu sistemlerin başarımlarını, gerçek zamanlı veya yüksek çerçeve hızlarında (frame rate), değerlendirebilmek kapsamında geliştirilen yazılımlara duyulan ihtiyaçlar gün geçtikçe artmaktadır. Piyasa da ticari olarak KÖ ışına benzetimi kapsamında geliştirilmiş yazılımlar mevcut olmasına rağmen, birçok ülke ve kuruluş bu tür yazılımlara kısıtlı erişim imkânı sunmakta ve sentetik KÖ sahne benzetimi ile ilgili yapılan çalışmaların çok azına erişilebilmektedir. Bu tip yazılımlar, başlıca; KÖ Sahne Üretici, KÖ Isıl Transfer, KÖ Sensör Modeli ve KÖ Hedef Tespit / Takip yazılımı gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Bu yazılım bileşenlerinin, özellikle KÖ Isıl Transfer ve KÖ Sensör Modeli yazılımlarının fiziksel rutinler göz önünde bulundurularak geliştirilmesi ve hızlı çalışması, 'fiziksel olarak doğru' KÖ sentetik sahne imgelerinin üretilebilmesi ve gerçekleştirilen benzetimin geçerliliği / doğruluğu açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu amaç doğrultusunda; çalışma kapsamında KÖ Isıl Transfer (KÖ-ISIT), KÖ Sensör (KÖ-SENSÖR) ve KÖ Hedef Tespit-Takip (KÖ-HTT) modülünü içerisinde barındıran bir KÖ Sahne Üretici (KÖ-SÜ) yazılımı geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen yazılımın ürettiği sonuçlar, ticari yazılım paketlerinin ürettiği sonuçlar ve literatür ile karşılaştırılmış, yazılımın belirli test koşulları altındaki başarısı ortaya konulmuştur. Ülkemizde özellikle fiziksel yaklaşımlar altında, problemi nesnenin ısısal etkileşimlerinden başlayarak ele alan ve farklı atmosferik ortam koşulları altında belirli KÖ dalgaboylarında çalışan bir algılayıcının gördüğü bir sentetik sahnenin oluşturulması basamağına kadar inceleyen bugüne kadar yapılmış bir çalışma bilgimiz dâhilinde bulunmamaktadır. Bu kapsamda çalışmanın özellikle sentetik KÖ sahne benzetimi ile ilgili önemli bir temel sağlayacağı değerlendirilmektedir. Çalışmanın, platform yüzeylerinin ortam ve birbirleriyle ısı etkileşimleri ile algılayıcı etkilerinin hesaba katıldığı durum(lar) altında koşturulacak olan hedef tespit, tanıma ve izleme algoritmalarının eniyelenmesine yönelik yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Dahası çalışmanın, gerçek zamanlı benzetim ihtiyacı bulunan döngüde (açık ve / veya kapalı döngü) başarımlı test sistemlerinin geliştirilmesi kapsamındaki çalışmaları destekleyici / yol gösterici olacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca çalışmanın, platform(lar)a ait KÖ ışımının bastırılması ve bu konuda alınabilecek tedbirler konusunda ki çalışmalara da yarar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kızılötesi (KÖ), KÖ Sahne Üretici, KÖ Isıl Transfer, KÖ Sensör Modeli, KÖ Hedef Tespit ve Takip, Isı Transfer denklemi, RadThermIR yazılımı, MuSES yazılımı, MODTRAN, GPU (Graphical Processing Unit), CUDA (Compute Unified Device Architecture).

ABSTRACT

SYNTHETIC SCENE GENERATION IN INFRARED BAND

TOKAY, Mehmet Serkan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, Ph. D. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Sedat AĞAN

Co-Supervisor: Dr. Ziya Gürkan FİGEN

March 2014, 216 pages

Due to the widespread use of infrared (IR) imaging systems in detection, recognition and tracking of targets, there is a growing need as for software that has been developed to fully evaluate the performance of these systems in real-time at high frame rates. Although there are international commercial softwares in the market which have been developed for IR scene generation, most countries and organizations grant a restricted use for these. Only few of the studies on synthetic infrared scene simulation can be accessed due to confidentiality. Such software primarily include components; such as the Infrared Scene Generator, IR Heat Transfer, IR Sensor Model and IR Target Detection / Tracking softwares. The development of these software components, especially the IR Heat Transfer and IR Sensor Model softwares depend on physics based routines that can operate at a high speed in order to generate a physically-correct scene and in order to have a simulation that is valid / accurate.

To this end, an IR Scene Generator (IR-SG) software which includes an IR Heat Transfer (IR-HT) module, an IR Sensor (IR-SENSOR) module and an IR Target Detection / Tracking (IR-TDT) module has been developed. The IR-HT module is responsible for calculating the temperature of each patch and the IR radiation on relevant platforms. The IR-SENSOR module is responsible for simulating the IR imagers that sense the IR scene.

IR-TDT module is responsible for detecting and tracking the platforms in the IR scene. IR-SG software, is responsible for simulating the environmental and atmospheric effects that affects the synthetic scene sensed by the IR imaging system, for enabling the dynamic visualization of the platform with the help of a motion model, for the production / generation of IR scene which includes platform radiations provided by the IR-HT module in a synthetic environment, and for providing real-time input to the IR-SENSOR and IR-HT modules. The results produced by the software developed within this study was compared with those of the commercial software packages and those reported in the literature and it has been demonstrated that the software has achieved success under certain test conditions. As far as we know, in our country there is not a reported study that handles the problem beginning with the thermal interactions of the object and ending with the process of sensing of the IR scene by a sensor operating at given IR wavelengths under various atmospheric conditions. In this context, it is thought that the study will provide a significant basis especially for synthetic IR scene simulation. It is also thought that the study will shed light on the studies to be conducted regarding the optimization of target detection and tracking algorithms that will be run under the conditions in which sensor effects and the interactions of platform surfaces with each other and the environment are taken into account. It is also expected that the study will support / guide the studies on the development of the closed-loop system performance testing that require real-time simulations. It is also evaluated that the study will be useful for the suppression of IR radiation of the platform(s), and for the studies on the measures that could be taken regarding this issue.

Key Words: Infrared (IR), Infrared Scene Generator, Heat Transfer, IR Sensor Model, IR Target Detection and Tracking, Heat Transfer Equation, RadThermIR software, MuSES software, MODTRAN, GPU (Graphical Processing Unit), CUDA (Compute Unified Device Architecture).

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasında ve her konuda desteğini gördüğüm, bana yol gösteren / değerli tavsiyelerinden her zaman faydalandığım tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Sedat AĞAN ile teőviklerini ve ilgisini hiçbir zaman benden esirgemeyen değerli Hocam Sayın Dr. Ziya Gürkan FİGEN'e sevgilerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez içeriğinin geliştirilmesine yaptığı katkılar ve yönlendirmeleri sebebiyle Tez Juri üyeleri Sayın Prof. Dr. Ediz POLAT, Sayın Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Kemal OKYAY ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Erdem YAŞAR'a,

Yoğun alıőmalarımdan dolayı kendisine yeterince zaman ayıramadığım, buna rağmen beni her zaman destekleyen, sevgisini yürekten hissettiğim, sevgili eőim Gülhan TOKAY ile biricik oğlum Suat Akman TOKAY'a,

Hayatım boyunca benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, Aileme...

Ayrıca TÜBİTAK BİLGEM / İLTAREN'e tez çalıőmama ve ülkeme hizmet etme adına verdiği fırsattan dolayı,

Teőekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	I
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
SİMGELER DİZİNİ	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1 Gerçekçilik	2
1.2 Tezin Önemi	4
2. MATERYAL VE YÖNTEM	8
2.1 Giriş	8
2.2 Isı Aktarımı	10
2.2.1 İletim İle Isı Aktarımı	10
2.2.1.1 Isı İletim Denklemi	12
2.2.2 Taşınım İle Isı Aktarımı	15
2.2.2.1 Isı Taşınım Katsayısı	18
2.2.3 Işınım İle Isı Aktarımı	23
2.2.3.1 Işınım Şiddeti	26
2.2.3.2 Görüş Faktörü	28
2.3 KÖ Işıma	31
2.3.1 KÖ Işıma Geometrisi	32
2.3.2 Algılayıcıya Ulaşan Güç	33
2.3.3 Algılayıcı Gerilimi	35
2.3.4 Algılayıcıya Ulaşan Işıma	36
2.3.4.1 Isısal Işıma Modeli	39
2.3.4.2 Yol Işıması Modeli	41
2.3.4.3 Gökyüzü Yansıma Modeli	41
2.3.4.4 Güneş / Ay Işımaları	43

2.3.4.5 Güneş / Ay Yansımaları	43
2.3.4.6 Deniz Yüzeyi Işıması	48
2.3.4.7 Güneş Pırıltısı (Sunlint)	48
2.3.4.8 Lambert Kanunu	48
2.3.4.9 Deniz Yüzeyi Dalga Modeli	49
2.3.4.10 Su Optiği	51
2.3.4.11 Atmosfer	53
2.3.4.12 Arkaplan Modeli.....	57
2.3.4.13 Arazi Modeli.....	60
2.4 Görüntü Bozulmaları.....	62
2.4.1 Atmosferik Bozulma	63
2.4.1.1 Optik Türbülans	63
2.4.2 Gürültü	65
2.5 Grafik Kartı Üzerinde Paralel Veri İşleme	66
2.5.1 NPP Kütüphanesi	68
2.5.2 CUDA Kütüphanesi.....	69
2.5.3 Bellek Kullanımının İyileştirilmesi	70
2.6 FRAPS yazılımı	72
3. YAZILIM BİLEŞENLERİ	74
3.1 KÖ Sahnenin Oluşturulması	74
3.1.1 Tel Örgü (Mesh).....	74
3.1.2 Gölgeleme (Shading).....	75
3.1.3 Benzetim Aşamaları	76
3.1.3.1 Fresnel Yansıma Terimi	76
3.1.3.2 Yansımalar	77
3.1.3.3 Güneş Işığı (Sunlight).....	77
3.1.3.4 Kırılmalar (Refractions)	78
3.1.4 Baca Gazı	78
3.1.4.1 Benzetim Yaklaşımı.....	82
3.1.5 Küp-Haritası (CubeMap).....	84
3.1.6 Veri İhtiyacı	85
3.1.6.1 Malzemeye Özgü Veriler	85
3.1.6.2 Atmosfere Özgü Veriler	86

3.1.6.3 Algılayıcı Verileri.....	88
3.1.7 Benzetim.....	88
3.2 Yazılım Varsayımları	91
3.2.1 Atmosfer	92
3.2.2 Yansıma.....	92
3.2.3 İntegral.....	92
3.2.4 Optik Geçirgenlik	92
3.3 KÖ Sahne Üretici (KÖ-SÜ).....	93
3.3.1 Arabellekleme (Buffering)	95
3.4 Isıl Transfer Yazılımı (KÖ-ISIT)	96
3.4.1 Çözümleme Yöntemi.....	98
3.4.1.1 1D Isı İletim Denklemi	101
3.4.1.2 2D Isı İletim Denklemi	102
3.4.1.3 3D Isı İletim Denklemi	103
3.4.1.4 Görüş Faktörü	104
3.4.1.5 Sıcaklığın Hesaplanması.....	105
3.4.2 RadThermIR Yazılımı	106
3.5 KÖ Sensör Modeli Yazılımı (KÖ-SENSÖR).....	108
3.6 KÖ Hedef Tespit - Takip Yazılımı (KÖ-HTT)	110
3.7 Sahnenin Geçerlenmesi	112
3.7.1 CUBI Düzeneği	114
3.7.1.1 Belçika.....	116
3.7.1.2 İsrail.....	117
3.7.1.3 Almanya	118
3.7.1.4 CUBI Düzeneği.....	120
4. UYGULAMA VE SONUÇLAR	122
4.1 Test Senaryosu 1	122
4.1.1 Benzetim ve Sonuçları	123
4.2 Test Senaryosu 2	127
4.2.1 Platform	127
4.2.2 Senaryo Girdi Parametreleri	128
4.2.3 Geçerleme	130
4.2.4 Benzetim Sonuçları.....	137

4.3 Test Senaryosu 3	137
4.3.1 Benzetim ve Sonuçları	138
4.4 Test Senaryosu 4	141
4.4.1 Benzetim ve Sonuçları	141
4.5 Test Senaryosu 5	143
4.5.1 Benzetim ve Sonuçları	143
4.6 Test Senaryosu 6	145
4.6.1 Benzetim ve Sonuçları	145
4.7 Test Senaryosu 7	147
4.7.1 Platform	149
4.7.2 Senaryo Girdi Parametreleri	149
4.7.3 Benzetim ve Sonuçları	150
4.8 Test Senaryosu 8	167
4.8.1 Benzetim ve Sonuçları	167
4.9 Test Senaryosu 9	169
4.9.1 Benzetim ve Sonuçları	170
4.9.1.1 Deniz Platformu Benzetimi	173
4.9.1.2 Hava Platformu Benzetimi	173
4.9.1.3 Kara Platformu Benzetimi	175
4.10 Test Senaryosu 10	179
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	184
KAYNAKLAR	189

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 KÖ sahne üretici yazılımları	2
2.1 Farklı malzemeler için ısı iletim katsayısı değerleri	12
2.2 Farklı malzemeler için ısı yayılım katsayısı değerleri	15
2.3 Bazı akışkanlar için ortalama ısı taşınım katsayısı değerleri.....	18
2.4 Bazı malzemeler için yayıcılık katsayısı değerleri	24
2.5 Atmosferde bulunan gaz moleküllerine ait değerler	55
2.6 3D gürültü modeli için parametre isim ve tanımlamaları	65
2.7 İşlem hızı (GFLOPS, floating point operations per second)	66
2.8 Hafıza erişim hızları (GB/s)	68
3.1 Farklı ülkelere ait CUBI malzeme özellikleri	121
4.1 Koşullarda kullanılan bilgisayara ait özellikler	122
4.2 Yama sayısı & Çalışma hızı (Hz)	124
4.3 Düğüm & İterasyon sayısı	126
4.4 CUBI yüzey malzemelerine ait parametre ve değerleri	129
4.5 CUBI konum bilgileri	130
4.6 CPU & GPU tabanlı KÖ Sensör yazılımları karşılaştırma	141
4.7 KÖ-HTT yazılımı çalışma hızı	143
4.8 İmge boyutuna bağlı olarak; kapalı-döngüde yer alan yazılımların harcadıkları süreler ve toplam döngü (kapalı-döngü) süresi	166

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Farklı sıcaklıklara sahip siyah cisimlere ait KÖ ışımlar	9
2.2 İletim ile ısı iletimine ait sıcaklık dağılımı (kartezyen koordinatlar).....	13
2.3 Taşınım ile ısı aktarımına ait hidrodinamik ve ısı sınır tabakalar.....	16
2.4 LWIR dalgaboyu için a. ShipIR, b. ShipIR+FLUENT (36.3-232.5 W/m/sr).....	20
2.5 Kutupsal gösterim a. MWIR, b. LWIR karşıtlık şiddeti (contrast intensity)	20
2.6 $y=0$ m için xz düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	21
2.7 $x=0.558$ m için yz düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	22
2.8 $z=13$ m için xy düzlemindeki sıcaklık dağılımı.....	22
2.9 Işığın madde ile etkileşimi	25
2.10 Katı açısı gösterimi	27
2.11 Birbirini gören iki yüzey arasında görüş faktörü	29
2.12 Görüş açısının gösterimi	32
2.13 Görüş açısı ve anlık görüş açısının gösterimi	33
2.14 Katı açısı gösterimi	34
2.15 Gözlemciye ulaşan ışımaya kaynaklarının gösterimi	37
2.16 Aynasal yansıma lob genişliği	46
2.17 Platformun algılayıcıya göre konumu	49
2.18 Perlin gürültü modeli	50
2.19 Su-Işık etkileşimi	51
2.20 Fresnel yansıma katsayısının değişimi; $Hava \rightarrow Su$, $Su \rightarrow Hava$ sınırı	52
2.21 Atmosferik geçirgenliğin gösterimi	53
2.22 Aerosollerin boyutu & Dalgaboyu & Saçılma türleri.....	54
2.23 Arkaplan geometrisi	57
2.24 Çalışma kapsamında kullanılan model	58
2.25 Yüksekliğe bağlı olarak hava sıcaklığı ölçümleri	59
2.26 Gökyüzü & Arkaplan modeli.....	59

2.27 Midilli adasına ait 3D geometri ve topografik harita karşılaştırılması....	61
2.28 Algılayıcı tarafından algılanan görüntüyü etkileyen unsurlar	62
2.29 Belirli bir bölgedeki C_n^2 değerleri	64
2.30 3D gürültü modeli.....	65
2.31 GPU \Leftrightarrow CPU \Leftrightarrow RAM veri aktarımı yolları / hızları gösterimi	67
2.32 CPU \Leftrightarrow RAM \Leftrightarrow GPU veri aktarımı gösterimi	68
2.33 GPU üzerinde veri işleme akış şeması	71
2.34 NVIDIA yol haritası.....	72
3.1 3D bir modele ait tel örgü gösterimi	75
3.2 MWIR dalgaboyu için elde edilen platform ve baca gazı ışıması	78
3.3 Baca gazı için FTIR spektro-radyometre ile elde edilen spektral ışıma..	79
3.4 Deniz yüzeyi için spektral ışıma	80
3.5 Deniz yüzeyi ve baca gazı spektral ışıma karşılaştırması	80
3.6 Moleküler konsantrasyon & Sıcaklığa bağlı ölçüm ve model verileri.....	81
3.7 Geliştirilen yazılım kapsamında elde edilen sonuçlar & MODTRAN	83
3.8 Küp-haritası bileşenleri ve küp-haritası gösterimi.....	85
3.9 Deniz benzetimi tel ızgara / deniz üzerinde platform görselleştirilmesi ..	89
3.10 Deniz sahnesi küp-haritası yansımaları ve küp haritası gösterimi.....	89
3.11 Yazılım kapsamında; yerel yansıma ve baca gazı benzetimi gösterimi	90
3.12 KÖ Sahne (CFAV Quest Platformu) benzetimi	91
3.13 KÖ-SÜ yazılımı ve alt bileşenlerinin şematik gösterimi	94
3.14 KÖ-SÜ yazılımı yardımıyla bir KÖ sahnenin oluşturulması	95
3.15 KÖ-ISIT yazılımı kapsamında yer alan modellerin gösterimi.....	96
3.16 KÖ-ISIT Yazılımı çıktılarının, KÖ-SÜ yazılımı tarafından görselleştirilmesi	97
3.17 İzometrik ve yan görüntü.....	98
3.18 3D ısı iletim denkleminin çözümünü oluşturan yapı	103
3.19 Görüş faktörü geometrisi.....	105
3.20 KÖ-SENSÖR yazılım bileşenlerinin gösterimine ait şematik.....	109
3.21 KÖ-HTT yazılım bileşenlerin gösterimine ait şematik.....	110
3.22 KÖ-HTT yazılımı girdi ve çıktısının gösterimi	111
3.23 KÖ-HTT algoritması ortalama ve eşikleme çıktıları	111

3.24 KÖ-HTT algoritmasına ait genişletme, aşındırma ve konturlama işlemi	112
3.25.a. CUBI ölçümü b. RadThermIR CUBI benzetimi.....	113
3.26 Bir nesne (CUBI) üzerinde ışımaya katkısı olan bileşenlerin gösterimi	114
3.27 CUBI ve üzerinde barındırdığı sıcaklık ölçer uç konumlarının gösterimi	116
3.28 CUBI düzeneği ve sıcaklık ölçer uç konumlarının gösterimi.....	117
3.29 Ölçüm ile OSMOSIS & RadTherm sonuçlarının karşılaştırılması.....	118
3.30 CUBI düzeneği sıcaklık ölçer uç ve yüzey yayıcılık değerleri.....	119
3.31 CUBI düzeneği meteorolojik veri istasyonu gösterimi	119
3.32 Ölçüm ile OSMOSIS & RadTherm sonuçlarının karşılaştırılması.....	120
3.33 CUBI düzeneği sıcaklık ölçer uç konumları ve kaplama gösterimi	121
4.1 Bir hava platformu için ışın izleme	124
4.2 3D ısı iletim (kırmızı sıcak, yeşil soğuk)	125
4.3 2D ısı iletim (Beyaz sıcak, mavi soğuk).....	126
4.4 CUBI nesnesi 3D katı model gösterimi	128
4.5 CUBI boyasına ait yayıcılık değerleri	129
4.6 Gün döngüsü boyunca rüzgâr hızı ölçüm değerleri.....	130
4.7 Gün döngüsü boyunca rüzgâr yönü ölçüm değerleri.....	131
4.8 Gün döngüsü boyunca hava sıcaklığı ölçüm değerleri.....	131
4.9 Gün döngüsü boyunca bağıl nem ölçüm değerleri.....	132
4.10 Gün döngüsü boyunca basınç ölçüm değerleri	132
4.11 Gün döngüsü boyunca kısa dalgaboyu ışınması ölçüm değerleri	133
4.12 Gün döngüsü boyunca uzun dalgaboyu ışınması ölçüm değerleri.....	134
4.13 Ölçüm boyunca 1-3 ısı çiftlerinden elde edilen sıcaklık değerleri	134
4.14 Ölçüm boyunca 4-6 ısı çiftlerinden elde edilen sıcaklık değerleri	135
4.15 Ölçüm boyunca 7-9 ısı çiftlerinden elde edilen sıcaklık değerleri	136
4.16 Ölçüm boyunca 10-14 ısı çiftlerinden elde edilen sıcaklık değerleri ...	136
4.17 Benzetim & Ölçüm değeri	137
4.18 Yazılım kapsamında oluşturulan deniz sahnesine ait tel ızgara gösterimleri düşük (32x32), orta (64x64) ve yüksek (128x128) tel örgü çözünürlüğü	138

4.19 Yazılım kapsamında oluşturulan arkaplan / gökyüzü benzetimi.....	140
4.20 KÖ-SÜ yazılımı ve KÖ-SENSÖR modülüne ait sentetik çıktı imgeleri	142
4.21 KÖ-HTT performans ve hedef kapısı gösterimi.....	144
4.22 Yazılım kapsamında yer alan baca gazı benzetimi	146
4.23 Yazılım kapsamında yer alan ısı fişegi benzetimi	147
4.24 KÖ-SÜ kapalı döngü	148
4.25 Platforma ait 3D katı model gösterimi ve gerçek görüntüsü	149
4.26 CFAV Quest platformu katı modeli sınıflarının gösterimi	150
4.27 Platforma ait baca bölgesinin 3D katı model gösterimi	150
4.28 Farklı mesafeler için atmosferik geçirgenlik değerleri ($3-5\mu m$).....	151
4.29 Belirli dalgaboyu aralığına karşılık siyah cisim sıcaklıkları	152
4.30 Farklı mesafeler için atmosferik geçirgenlik değerleri ($8-12\mu m$).....	153
4.31 Siyah cisim sıcaklıkları ($8-12\mu m$)	154
4.32 Güneş Saçılma Işınması ($3-5\mu m$)	155
4.33 Güneş Saçılma Işınması ($8-12\mu m$)	155
4.34 Güneş Yansıma Işınması ($3-12\mu m$)	156
4.35 Güneş Yansıma Işınması ($8-12\mu m$)	157
4.36 Yol Işınması ($3-5\mu m$)	158
4.37 Yol Işınması ($8-12\mu m$).....	158
4.38 Güneş Işınması ($3-5\mu m$)	159
4.39 Güneş Işınması ($8-12\mu m$)	160
4.40 Toplam Işınma ($3-5\mu m$)	161
4.41 Toplam Işınma ($8-12\mu m$).....	161
4.42 Koşu başlangıcı	163
4.43 Koşu; hedefin tespit edilmesine ait bir an.....	164
4.44 Koşu; döngünün sonlanma öncesi	165
4.45 SRTM verileri kullanılarak oluşturulan ada geometrisine ait benzetim	167
4.46 CFAV Quest benzetimi.....	168
4.47 Tank Senaryosu.....	169
4.48 RadThermIR yazılımı çıktılarının KÖ-SÜ'de görselleştirilmesi	171
4.49 KÖ-SÜ: RadThermIR Deniz platformu benzetimi.....	173

4.50 KÖ-SÜ: RadThermIR Hava platformu benzetimi.....	174
4.51 KÖ-SÜ: RadThermIR Kara platformu benzetimi	176
4.52 KÖ-SÜ: RadThermIR Kara platformu benzetimi	177
4.53 KÖ-SÜ: RadThermIR Kara platformu benzetimi	178
4.54 KÖ-SÜ: RadThermIR Kara platformu benzetimi	179

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
λ	Dalgaboyu (μm)
ε	Yayıcılık katsayısı
α	Soğurma katsayısı
$E_{siyahCisim}$	Siyah cisim ışınması (Wm^{-2})
$E_{griCisim}$	Yayıcılığı 1'den daha düşük cisme (gri cisim) ait ışınma (Wm^{-2})
α	Isı yayılım katsayısı (m^2 / s)
k	Isı iletim katsayısı ($W / mKelvin$)
c_p	Sabit basınçta özgül ısı ($J / KgKelvin$)
ρ	Yoğunluk (Kg / m^3)
T	Sıcaklık ($Kelvin$)
t	Zaman ($saniye$)
$T(x, y, z, t)$	Konuma ve zamana bağlı olarak sıcaklık dağılımı ($Kelvin$)
q_x	Isı iletimi (x-yönünde)
q_y	Isı iletimi (y-yönünde)
q_z	Isı iletimi (z-yönünde)
\dot{q}	Birim hacimdeki ısı üretimi
\dot{E}_{depo}	Birim hacimdeki enerji (ısı) depolama terimi
$\dot{E}_{üretim}$	Birim hacimdeki enerji (ısı) üretimi terimi
$\dot{E}_{giriş}$	Birim hacime enerji (ısı) girişi terimi
$\dot{E}_{çıkış}$	Birim hacimdeki enerji (ısı) çıkışı terimi
$h_{taşınım}$	Isı taşınım katsayısı ($Wm^{-2}K$)
T_y	Yüzey sıcaklığı ($Kelvin$)
T_∞	Ortam sıcaklığı ($Kelvin$)
σ	Stefan-Boltzman sabiti $5,67 \times 10^{-8} (Wm^{-2}Kelvin^{-4})$
k_b	Boltzmann sabiti $1,38 \times 10^{-23} (JKelvin^{-1})$
ρ_r	Yansıtma katsayısı
θ	Başucu (Zenith) açısı
Φ	Yanca (Azimuth) açısı
$a_{güneş}$	Güneşe ait soğurma katsayısı
a_{hava}	Havaya ait soğurma katsayısı
$\tau_{atm,\lambda}$	Dalgaboyuna bağlı olarak atmosferik iletim katsayısı
$\tau_{atm_ortalama}$	Ortalama atmosferik iletim katsayısı

r	Platform ile algılayıcı arasındaki mesafe (m)
h	Planck sabiti $6,63 \times 10^{-34}$ ($J \cdot saniye$)
E_L	Lambert ışık kaynağı için spektral ışımaya (Wm^{-2})
$P_{arkaplan_spektral}$	Arkaplan spektral ışımaya (W / str)
L_{hedef}	Platform ışımaya (Wm^{-2})
L_{hedef_app}	Görünen platform ışımaya (Wm^{-2})
$L_{arkaplan}$	Arkaplan ışımaya (Wm^{-2})
$L_{arkaplan_app}$	Görünen arkaplan ışımaya (Wm^{-2})
L_{hedef_app}	Platformun görünen ışımaya (Wm^{-2})
$L_{yol\text{ışımaya}}$	Platform ile algılayıcı arasındaki yol üzerindeki ışımaya (Wm^{-2})
Ω	Katı açı (str)
γ	Saçılım katsayısı
$L_{Gözlemci}$	Gözlemciye ulaşan ışımaya
$L_{Güneş/Ay}$	Güneş ve / veya ay ışımaya nesne yüzeyinden aynasal ve dağınık olarak yansdıktan sonra sensöre ulaşan ışımaya
$L_{Gökyüzü}$	Gökyüzü ışımaya yayılımının nesne yüzeyinden yansdıktan sonra sensöre ulaşan ışımaya
$L_{Isısal}$	Nesne yüzeyi yayılımı dolayısıyla oluşan ışımaya sensöre ulaşan ışımaya
$L_{Yol\text{ışımaya}}$	Nesne yüzeyi ile algılayıcı arasında kalan mesafede boyunca atmosferik yol ışımaya
$L_{doğrudan}$	Nesne yüzeyine ulaşan Güneş / ay ışımaya
L_{svpath}	Sensör ile nesne arasındaki atmosferik yol boyunca atmosfer kaynaklı yayılım ve saçılım etkileri sebebiyle sensöre ulaşan ışımaya
L_{ortam}	Nesne yüzeyine ulaşan gökyüzü ışımaya
L_{bb}	Nesne yüzeyinden yayılan siyah cisim ışımaya
$\rho_{yansıtma}$	Nesne yüzeyinin dağınık yansıtma katsayısı
(θ_i, ϕ_i)	Nesne yüzeyinin yüzey normaline bağlı olarak gelen ışımaya açısı
(θ_r, ϕ_r)	Nesne yüzeyinin yüzey normaline bağlı olarak yansıyan ışımaya açısı
f_s	Gelen ışımaya aynasal olarak yansıyan bölümü
$f_{sl}(\theta_r, \phi_r)$	Aynasal olarak yansıyan ışımaya açısal bağımlılığı
N_s	Aynasal yansımaya normalizasyon faktörü

1. GİRİŞ

Bilimin birçok alanında gerçekçi görselleştirmeler ilgili olgunun daha iyi anlaşılabilmesi açısından her zaman faydalı olmuştur. Görselleştirilmesi istenen sahnenin bilgisayar yardımıyla benzetilmesi, görselleştirme oluşturma yöntemleri arasında en çok tercih edilenlerin başında gelmektedir. Bilgisayar yardımıyla benzetim, fiyat-etkin olması, kullanıcıya geniş bir çerçevede imkânlar sunuyor olması gibi avantajları sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Herhangi bir nesneye ait Kızılötesi (KÖ) ışıma, o anki koşullara bağlı olarak, KÖ kamera ile ölçülebilmektedir. Ancak, elde edilen ışıma sadece o ana ait olup farklı bir ana ait; ortam parametresi (güneşin konumu gibi), meteoroloji parametresi (rüzgâr hızı gibi), konum (enlem ve boylam gibi) ve günün zamanının (yıl / ay / gün / saat gibi) değişimi gibi KÖ ışıma üzerine etkisi bulunan bileşenlerin değişimi altında, yeniden ölçüm alınması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bütün bu değişimler altında her bir an için ölçüm almak maliyet olarak karşılanamayacağı gibi gerçekleştirildiği durum altında dahi problem ancak çok büyük miktarda bir veri setinin idamesine indirgenebilmektedir. Bu durumda bile, farklı bir KÖ kamera kullanımı veya farklı bir platformun KÖ izinin eldesi amaçlı olarak bütün veri setinin yeniden oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

KÖ algılayıcı sistemlerinin başarımlarını açık sahada sadece belirli koşullar altında gerçekleştirmek yerine, dinamik başarımların laboratuvar ortamında bir test ortamı oluşturularak, benzetimi gerçekleştirilen birçok koşul altında yapılması, maliyetleri düşürebilmek ve test çeşitliliğini artırabilmek açısından tercih edilen bir durumdur. Günümüzde maliyetlerin düşürülmesi ve etkin analizlerin yapılabilmesi amacıyla KÖ algılayıcı sistemlerinin, belirli senaryolar dâhilinde, gördüklerini benzeten yazılımlar (KÖ sahne üreteçleri) geliştirilmektedir. Bu tür yazılımlar kritik teknolojiler olmaları sebebiyle, ülke(ler) bazında gerçekleştirilmekte ve literatürde kabiliyet / etkinlik ve doğruluklarına dair sadece kısıtlı sonuçları

paylaşılmaktadır. KÖ sahne üretici yazılımları ve üretici firmalarından bazıları Çizelge 1.1’de yer almaktadır.

Çizelge 1.1 KÖ sahne üretici yazılımları

Chimaera [1]	JRM, Amerika.
SE-WORKBENCH [2]	OKTAL-SE, Fransa.
Multi-Service Electro-optics Signature Code (MuSES) [3]	ThermoAnalytics, Amerika.
Vega Prime IR Scene, Sensor Vision [4]	Presagis, Amerika.
Tactical Engagement Simulation Software (TESS) [5]	Tactical Technologies Inc. Kanada.
Dynamic real time infrared scene generator [6]	Kinetic’s Inc. SBIR, Amerika.
Paint-the-Night (PTN) IR Scene Simulator [7]	NVESD, CECOM, Amerika.
CameoSim, Compass [8]	Lockheed-Martin, İngiltere.
CounterSim [9]	High Post, İngiltere.
IR Scene Generator of Missile Systems [10]	Raytheon, Amerika.
IR Target Generator (IRTG) and Target IR Simulator (TIRS) [11]	CI Systems, Amerika.
Amherst Systems [12]	Northrop Grumman Corporation, Amerika.
EMIT [13]	MBDA, Almanya.

Çizelge 1.1 içerisinde yer alan yazılımların KÖ ışına üzerinde etkisi bulunan bileşenlerin katkısı altında, istenilen bir andaki, ilgili platform yüzeylerine ait KÖ ışınımı bilgisayar ortamında sentetik olarak oluşturabildiği / benzetebildiği iddia edilmektedir. Bununla birlikte, bu yazılımların çoğunluğu özel lisanslara tabii olup, satın alındıklarında dahi elde edilen son ürünün asıl ürünün kısıtlı bileşenlerini içereceği ilgili firmalar tarafından dile getirilmektedir. Bahsi geçen yazılımların, ilgili nesnenin KÖ izi üzerine etkisi olan bileşenleri ne ölçüde hesaba kattığı, benzetilen KÖ izinin de ne kadar gerçekçi / başarılı bir ölçüde benzetildiği ile doğrudan ilişkilidir.

1.1 Gerçekçilik

Bilgisayar tabanlı gerçekçilik; savunma, araştırma, eğitim, eğlence ve reklamcılık gibi birçok uygulama alanında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Gerçekte ideal bir sahne benzetim yazılımı tarafından gerçekleştirilmesi beklenen, gerçek hayatta olduğu üzere, sahne içerisinde yer alan bütün nesnelerin ışık ve birbirleriyle etkileşiminin foton bazında hesaba katılması ve aynı zamanda bütün bu hesaplamaları olabildiğince hızlı (≥ 20 fps) gerçekleştirebilmesidir. Ancak böylelikle tam olarak gerçekçi bir benzetim oluşturulmuş olacaktır. Bununla birlikte, bu tür bir benzetimin gerçekleştirilmesi kişisel bir bilgisayar (PC) tarafından baş edilemeyecek kadar büyük hesaplama problemlerini de beraberinde getirmektedir. Dahası gerçek hayatta nesne üzerinde var olan bütün etkilerin / bileşenlerin benzetilebilmesi uygun yaklaşımlar olmadan mümkün de değildir. Bir KÖ sahne üreticinde; günün zamanı (yıl / gün / ay), mevsimsel değişimler, iklim / hava durumu, sis / duman, güneş ve bulut gibi dinamik olarak değişen katkıların etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu tür bir benzetimin doğru ve aynı zamanda hızlı gerçekleştirilme gerekliliği ise başka problemleri beraberinde getirmektedir. Bütün bu problemlerin yanında sentetik KÖ sahne benzetimlerinde, nesne ve ışık etkileşimlerinin dışında, nesnenin kendi sıcaklığı veya temasta bulunduğu diğer nesnelerin sıcaklıklarının / ışımlarının katkıları gibi katkılarda yer alabilmektedir. Görünür bant imgelerinin benzetiminde gerek duyulmayan bu tip etkileşimlerin de KÖ sahne imgelerinin benzetimlerin de hesaba katılması 'fiziksel olarak doğru' sentetik KÖ sahne imgelerinin oluşturulması açısından önemlidir. Bu bileşenler ve etkiler, ancak bazı yaklaşımlar altında gerçekçi olarak benzetilebilmektedir. Bilgisayar tabanlı benzetimlerde gerçekçiliğin farklı tanımları bulunmaktadır.

Bilgisayar tabanlı bir uçuş benzetimi yazılımı (uçuş simülatörü gibi) fiziksel olarak doğru olmamasına rağmen, kullanıcıya gerçek olarak bir uçuşta sağlanan görsel bilgilerin çoğunluğunu sağlaması sebebiyle fonksiyonel gerçekçi olarak tanımlanmaktadır. Fonksiyonel gerçekçilik, fiziksel gerçekçiliğin gerçekleştirilemediği durumlarda belirli yaklaşımlar altında kullanılmaktadır.

Sentetik KÖ sahne imgeleri oluşturmak açısından fiziksel gerçekçilik, kabaca; gerçek hayatta var olan bir sahneye ait KÖ ışıma ile aynı sahneye ait benzetim sonucu elde edilen sentetik KÖ imge ışıma değerlerinin birbiri ile

benzer veya kabul edilen ölçü de birbirlerine yakın olması anlamına gelmektedir.

Fizik tabanlı kaplama (rendering) algoritmaları (ışın izleme gibi), ışığın nesne ile etkileştikten sonra algılayıcı tarafından nasıl gözlemlendiğini doğru olarak benzetebilme yeteneğine sahiptirler. Bununla birlikte, bu tür hesaplamaların gerçekleştirilmesi özellikle sahnenin insan tabanlı bir algılayıcının (göz) aksine daha hızlı (>20 fps) bir algılayıcı sistem tarafından gözlemlendiği durum(lar) altında bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.2 Tezin Önemi

KÖ algılayıcı sistemlerinin görüntüleme, hedef tespit, tanıma ve izleme gibi uygulamalar için giderek yaygınlaşan kullanım alanlarından dolayı; bu sistemlerin başarımlarını değerlendirebilmek kapsamında sentetik KÖ sahne benzetimlerine olan ihtiyaçlar gün geçtikçe artmaktadır.

KÖ sahne üretici yazılımları, bir KÖ algılayıcının gördüğü KÖ sahne imgelerinin sentetik olarak oluşturulması / benzetilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Sentetik KÖ sahne benzetimlerinde, benzetimi gerçekleştirilen platformun ortam ile etkileşimleri altında; KÖ ışınması üzerine etkili olabilecek olan önemli katkılar (iletim, taşınım ve ışıma gibi) göz önünde bulundurulurken yüzey sıcaklıklarının / ışımalarının hesaplanması, 'fiziksel olarak doğru' sentetik KÖ sahne imgeleri oluşturulması açısından önemlidir.

Algılayıcı sistemlerinin çerçeve yakalama hızları genellikle görüntüledikleri platformların hareket hızına bağlı olarak belirlenmektedir. Bu sebeple, belirli bir görüntüleme sisteminin dinamik başarımlarının gerçekleştirilebilmesi için benzetim yazılımının gerçek-zamanlı çalışması önem arz etmektedir. Bununla birlikte atmosferik etkilerin baskın olduğu durumlar altında, KÖ sahne imgesi üzerinde, imge bozulmaları önemli ölçülerde etkili olabilmektedir. Bu sebeple, KÖ sensör sistemleri öncesinde ve sonrasında oluşan imgede bozulmaların da benzetim içerisinde yer alması, benzetimi gerçekleştirilen sentetik KÖ sahne imgelerinin doğruluğunun artırılması / kıymetlendirilmesi kapsamında önemlidir.

Belirli bir ortam içerisinde bulunan platform(lar) üzerinde yer alan yüzeyler, ortam (güneş, gökyüzü, deniz ve toprak gibi) ve kendileri ile (iletim ve ışıma gibi) sürekli olarak etkileşim halindedirler. Platform yüzeylerinin gerçekleştirdikleri bu etkileşimlerin KÖ ışıma değerleri açısından önemli katkıları bulunabilmektedir. Örnek olarak, uzun süre güneş altında bekletilmiş bir platform, ortam etkileşimleri sebebiyle, daha fazla ışıma yapabilmektedir. Ayrıca, belirli bir an için platform(lar)dan yayınlanan ışımlar ani olarak büyük değişimler içerebilmektedir. Örneğin, gökyüzünden bulutların çekilmeye başlaması ile birlikte güneş ışıması kısa süreler (~1 dk.) içerisinde 50 W/m^2 mertebesinde değişim içerebilmektedir. Bu durum, özellikle platform ve deniz yüzeyi üzerinden güneş yansımalarının yoğun olarak gözlemlendiği MWIR (Orta dalgaboyu KÖ) bandı içerisinde platformun ışımasına anlık olarak büyük katkılarda bulunabilmektedir. Platform yüzeyleri bu ve benzeri etkileşimler altında iletim (conduction), ışıma (radiation) ve taşınım (convection) yardımıyla sürekli olarak denge sıcaklığına ulaşmaya çalışmaktadırlar.

KÖ denge ışıması, yüzeyden yansıyan ışımlar da göz önünde bulundurularak ışımsallık (radiosity) denklemleri ile ifade edilmektedir. Herhangi bir ortam içerisinde yer alan platform yüzeylerinin belirli bir andaki sıcaklık / ışıma dağılımının doğru tahmini için iletim, ışıma ve taşınım denklemlerinin çözülmesi ile birlikte ilgili ışımsallık denklemleri altında denge sıcaklığının / ışımasının belirlenmesi önem arz etmektedir. Bununla birlikte, bu tür denklemlerin gerçek zamanlı olarak çözülmesi, problem ve girdilerinin anlık değişimler içermesi ve büyüklüğü sebebiyle birçok zorluk içermektedir.

Bilgisayar teknolojilerinin ve özellikle Grafik Kartı İşlemci birimlerinin (GPU) kabiliyetlerinin artması ile birlikte donanım üretici firmalar (özellikle NVIDIA®) tarafından yazılım ortamlarının (CUDA™ kütüphanesi gibi) sağlanması, günümüzde fiziksel gerçekçi benzetimlere bir adım daha yaklaşmamıza imkân kılmaktadır.

Günümüzde CUDA™ ve OpenCL gibi GPU tabanlı kütüphaneler kullanıcıya GPU üzerinde koşturulacak olan yazılımların geliştirilmesinde kolaylıklar sağlamaktadır. Bu ve benzeri kütüphaneler kullanılarak, GPU üzerinde paralel olarak koşturulabilen algoritmalar, sentetik olarak bilgisayar

tabanlı oluşturulan sahne imgelerinin gerçeğe daha yakın ve gerçek zamanlı olarak benzetimine imkân kılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında; bir nesne üzerinde yer alan yüzeylere ait sıcaklıkların, sıcaklığı etkileyen koşullar (iletim, taşınım ve ışınım gibi) altında tahmini ile bu sıcaklıklar ve yüzeye ait optik / malzeme özellikleri kullanılarak ilgili dalgaboyundaki KÖ ışımaların benzetimi gerçekleştirilmektedir.

Bu amaç doğrultusunda; KÖ Isıl Transfer (KÖ-ISIT), KÖ Sensör (KÖ-SENSÖR) ve bir KÖ Hedef Tespit-Takip (KÖ-HTT) modülünü içerisinde barındıran bir KÖ Sahne Üretici (KÖ-SÜ) yazılımı geliştirilmiştir.

Geliştirilen yazılım; algılayıcıya ulaşan ışımaların eldesinde, bir nesne üzerinde yer alan motor ve / veya diğer ısı kaynakları tarafından oluşturulan soğuk ve sıcak yüzeyler arasındaki ısı aktarımlar (iletim) ile ışınım ve taşınım gibi olguları kullanmaktadır. Bununla birlikte; görüntülenen nesnenin uzaklığı dolayısıyla oluşan atmosferik etkiler, algılayıcı birimi üzerinde bulunan optik sistemler dolayısıyla oluşan iletim kayıpları ve bozulmalar gibi KÖ ışıma üzerinde önemi bulunan olguları da göz önünde bulundurmaktadır.

Geliştirilen yazılımın bu ve benzeri işlevleri yerine getirmek amacıyla kullanmış olduğu modüller arasında yer alan; KÖ-ISIT modülü; ilgili platform(lar) üzerinde yer alan her bir yamaya ait sıcaklık / ışımaların hesaplanmasından sorumludur. KÖ-SENSÖR modülü, sentetik KÖ sahne imgelerinin algılayıcı tarafından görülen KÖ sahne imgelerine benzetimi işlevini yerine getirmek amacıyla, KÖ sahne imgeleri üzerinde fizik tabanlı modellere dayalı bozulma (bulanma ve gürültü) etkilerinin benzetiminden sorumludur. KÖ-HTT modülü, sentetik KÖ sahne imgesi içerisinde yer alan platform(lar)ın tespit ve takibinin gerçekleştirilmesinden sorumludur. Bu modüllerin içerisinde yer aldığı KÖ-SÜ yazılımı ise KÖ-ISIT modülü tarafından sağlanan platform yama sıcaklıklarının / ışımalarının içerisinde yer aldığı KÖ sahnenin sentetik ortamda üretilmesi, sahne ışımalarının bir KÖ algılayıcı sistemine ulaşana kadar maruz kaldığı atmosferik etkilerin benzetimi, belirli bir hareket modeli yardımıyla platformun / platformların dinamik olarak 3 boyutlu (3D) görselleştirilmesi ile KÖ-SENSÖR ve KÖ-HTT modülüne, gerçek zamanlı döngüde (açık ve / veya kapalı döngü), girdi sağlanmasından sorumludur.

Ülkemizde özellikle fiziksel yaklaşımlar altında, problemi nesnenin ısısal etkileşimlerinden başlayarak ele alan ve farklı atmosferik ortam koşulları altında belirli KÖ dalgaboylarında çalışan bir algılayıcının gördüğü sentetik KÖ sahnenin oluşturulması basamağına kadar inceleyen bugüne kadar yapılmış bir çalışma bilgimiz dâhilinde bulunmamaktadır. Bu kapsamda çalışmanın özellikle sentetik KÖ sahne benzetimi ile ilgili önemli bir temel sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Çalışmanın, platform yüzeylerinin ortam ve birbirleri ile ısı etkileşimlerin hesaba katıldığı durum(lar) altında koşturulacak olan hedef tespit, tanıma ve izleme algoritmalarının eniyilenmesine yönelik yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Çalışmanın, gerçek zamanlı benzetim ihtiyacı bulunan döngüde (açık ve / veya kapalı döngü) başarımlı test sistemlerinin geliştirilmesi kapsamındaki çalışmaları destekleyici ve yol gösterici olacağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, çalışmanın sonuçlarının bilgisayar tabanlı KÖ sentetik benzetim gerçekleştirebilen ve hız bakımından yüksek başarımlı sahip düzeneklerin geliştirilmesine yardımcı olacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca çalışmanın, platform(lar)a ait KÖ ışımının bastırılması ve bu konuda alınabilecek tedbirler konusunda da kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmanın GİRİŞ bölümü içerisinde; tezin kapsamı ve gerçekleştirilme amacı sunulmaktadır. MATERYAL VE YÖNTEM bölümü içerisinde; KÖ sahne üretici yazılımlarında 'fiziksel olarak doğru' bir benzetimin nasıl gerçekleştirilebileceği ile ilgili literatür bilgisi sunulduktan sonra detaylı olarak tez kapsamında yer alan model bileşenlerinden bahsedilmektedir. YAZILIM BİLEŞENLERİ bölümü içerisinde; tez kapsamında geliştirilen yazılım bileşenlerinin geliştirilme aşamaları, zafiyetleri, varsayımları ve kazanımları sunulmaktadır. UYGULAMA VE SONUÇLAR bölümü içerisinde, ilgili yazılım kullanılarak oluşturulan test senaryoları ve sonuçlarından bahsedilmektedir. SONUÇLAR VE TARTIŞMA bölümü içerisinde ise tezin genel olarak sonuçları tartışma(lar) halinde sunulmaktadır.

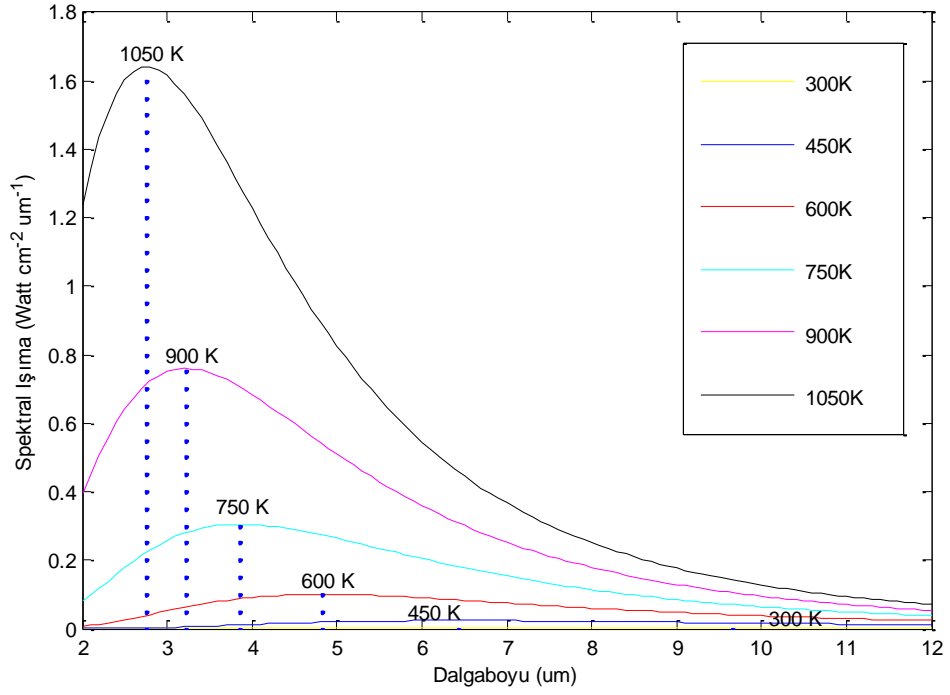
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Giriş

Görüntüleme sistemleri günümüzde hemen hemen her alanda uygulama bulmaktadır. Gün geçtikçe, bu sistemlere olan ihtiyaçlar ile birlikte sistemlerin sahip oldukları kabiliyetlerde artmaktadır. Görüntüleme sistemleri günümüzde sadece insan gözünün görebileceği görünür dalgaboylarını (0,4 - 0,7 μm) değil uygulama alanına bağlı olarak farklı dalgaboylarını da kullanabilmektedirler.

Planck, 1900 yılında yapmış olduğu çalışma ile mutlak sıfır sıcaklığından (0 Kelvin) daha yüksek sıcaklıkta bulunan cisimler için sıcaklığın fonksiyonu olarak cismin yayımladığı ışımayı, dalgaboyuna bağlı olarak, hesaplayabilen bir bağıntı ortaya koymuştur. Bu bağıntıya göre mutlak sıfır sıcaklığının üstünde bulunan cisimler ısılarını sürekli olarak ışımaya yaparak kaybetmektedirler.

İnsan vücut sıcaklığının yaklaşık 310 Kelvin olması dolayısıyla bir insan tarafından yayımlanan ışımının tepe noktası yaklaşık olarak 10 μm dalgaboyuna karşılık gelmektedir. Bununla birlikte araba, gemi, tank gibi nesnelerin üzerinde bulunan motor ve benzeri yüksek sıcaklığa sahip bölgelerin sıcaklıklarının 500 Kelvin ve üstü olması sebebiyle, bu bölgeler tarafından yayımlanan ışımının tepe noktası ise 6 μm veya daha düşük dalgaboylarına karşılık gelmektedir. Bu ve benzeri sıcaklık aralığında bulunan cisimlerin algılanmasında, ışımalarının bulunduğu 3 ile 12 μm arasındaki dalgaboyları büyük öneme sahip olmaktadır. Şekil 2.1'de farklı sıcaklıklara sahip siyah cisimlerin sıcaklıkları dolayısıyla yayınladıkları ışımalar gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Farklı sıcaklıklara sahip siyah cisimlere ait KÖ ışımalar

KÖ algılayıcılar özellikle ortamda ışık kaynağının çok az olduğu (ya da olmadığı) ve / veya görünür bant algılayıcılarının yeterli olmadığı durumlarda kullanılmaktadırlar. Bu sistemler sıcaklık farkının yüksek olması (bir uçağın egsozu ile gövdesi arasında olduğu gibi) sebebiyle oluşan ışıma karşıtlıklarını algılayabilmektedirler. KÖ ışıma doğası gereği, yansımanın yer almadığı zifiri karanlıkta dahi bulunabilmekte ve KÖ ışımaların ortamda bulunması için görünür bandın aksine bir dış ışık kaynağının varlığı gerekmemektedir. KÖ ışıma, görünür bandın aksine nesne üzerinden yansıyan ışımalar ile birlikte nesnenin kendi sıcaklığı dolayısıyla yayınlanan ışıma katkılarını da içermektedir.

Bir KÖ algılayıcı tarafından algılanan herhangi bir nesneye ait KÖ ışıma; kabaca,

- Nesnenin özellikleri,
- Çevresel etkilere bağlı olarak sıcaklık değişimi,
- Nesneye ait yüzey sıcaklığı,
- Yayıcılık katsayısı,

- Güneş ve gökyüzü gibi yansımalar,
- Ortam koşullarına bağlı olarak atmosferik zayıflatma,
- Algılayıcı karakteristiği,
- Nesnenin geometrisi

gibi bileşenlere bağlı olarak değişebilmektedir. Bir nesnenin sahip olduğu özelliklerin (yayıcılık ve yayılım katsayısı gibi) bilinmesi ile birlikte yüzey sıcaklıklarının doğru belirlenmesi, o nesneye ait KÖ ışımının yüksek doğrulukta hesaplanabilmesi açısından önemlidir. Bu sebeple bir nesne üzerinde bulunabilecek muhtemel ısı kaynaklarının tespiti ve ısıl geçişler altında yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi önem arz etmektedir.

2.2 Isı Aktarımı

Bir ortamda ya da ortamlar arasında sıcaklık farkı mevcutsa sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru ısı aktarımı meydana gelmekte ve süreç denge sıcaklığına (kararlı durum) ulaşılan kadar devam etmektedir. Isı geçişi, gerçekleştiği fiziksel duruma göre üç temel mekanizma ile incelenmektedir.

- İletim (conduction),
- Taşınım (convection),
- Işınım (radiation).

Isı bir enerji türü olup diğer enerjilere dönüşebilmektedir. Bununla birlikte sıcaklık, maddenin moleküllerinin ortalama kinetik enerjilerinin bir ölçüsü olup enerji değildir. Isı, nesneyi teşkil eden en küçük parçacıkların (atom ve moleküller) titreşimiyle meydana gelir. Eğer bir nesne ısıtılırsa bu küçük parçacıkların titreşimi hızlanır, tersine soğutulursa titreşim azalır.

2.2.1 İletim İle Isı Aktarımı

Birbiriyle temas halinde ve sıcaklıkları birbirinden farklı iki madde arasında ısı alışverişi, iletim yoluyla meydana gelmektedir. Sıcak madde ısı

vererek soğurken, soğuk madde ise bu ısıyı alarak sıcaklığını artırmakta ve süreç sıcaklıklar eşitleninceye kadar devam etmektedir. İletimle ısı aktarımı atomik ya da moleküler seviyedeki aktiviteler ile ilişkilidir. İletim bir maddenin parçacıkları arasındaki ilişki esnasında daha fazla enerjiye sahip parçacıklardan daha az enerjiye sahip parçacıklara enerji aktarımı olarak görülebilmektedir. Sıcak uçta bulunan parçacıkların enerjisi soğuk olanlara nazaran daha fazladır. Sürekli olarak komşu parçacıkların birbirleri ile çarpışması, enerjisi fazla olan parçacıkların düşük enerjili parçacıklara doğru enerji aktarımına sebep olmaktadır. Böylelikle temas halinde sıcak bölgede bulunan parçacıklar soğuk olan bölgeye doğru hareketlenmeye başlamaktadırlar. Parçacıkların rastgele hareketleri dolayısıyla gerçekleşen net enerji aktarımı, enerjinin yayılımı (diffusion) olarak adlandırılmaktadır [14]. Bu parçacıklar komşu parçacıklara çarparak onların titreşimini artırmakta ve böylece ısı nesnenin soğuk kısımlarına da yayılmaktadır. İletim ile ısı aktarımı, kabaca sıcak nesnenin yüksek enerjili parçacıklarından soğuk nesnenin düşük enerjili parçacıklarına aktarımıdır.

Katılarda iletim kafes yapılarında ortaya çıkan titreşimler ile ilişkilendirilmektedir. İletken olmayan katılarda enerji aktarımı atomik kafes yapısında ortaya çıkan titreşimler, iletken katılarda ise titreşimler ile birlikte serbest elektronların hareketleri de enerji aktarımına katkıda bulunmaktadır. Katılarda ısı iletim katsayısı (k), serbest elektronların hareketleri dolayısıyla oluşan ısı iletim katsayısı (k_e) ve kafes yapısı titreşim dalgaları dolayısıyla oluşan ısı iletim katsayısının (k_k) toplamı ile belirlenmektedir.

$$k = k_e + k_k \quad (2.1)$$

Saf metallerde (düşük elektriksel direnç) ve metal olmayan katılarda k_e 'nin etkisi k_k 'dan daha büyüktür. Alaşımlarda (yüksek elektriksel direnç) k_k 'nın ısı iletim katsayısına etkisi bulunmamaktadır.

Isı iletim katsayısının değeri molekül ya da atomlar arasındaki mesafe ile bağlantılıdır. Akışkanlarda moleküller arası mesafe katılara nazaran daha fazla olduğu için enerji aktarımı daha azdır. Genel olarak katılar sıvılardan, sıvılar ise gazlardan daha yüksek ısı iletim katsayısına sahiptirler. Isı iletim

katsayısı malzemenin bir özelliği olmasının yanında yöne ve sıcaklığa da bağlıdır. Bazı malzemeler için ısı iletim katsayısı değerleri [15] Çizelge 2.1 ile verilmektedir.

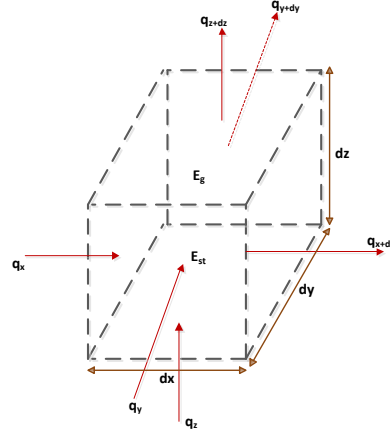
Çizelge 2.1 Farklı malzemeler için ısı iletim katsayısı değerleri

Malzemeler	Isı iletim katsayısı (k), ($W / m.Kelvin.$)
Alüminyum	237
Demir	80,2
Tuğla	0,72
Cam	0,78
Su	0,607
Ağaç (Meşe)	0,17

2.2.1.1 Isı İletim Denklemi

Isı iletiminin temel denklemi Fourier ısı iletimi kanunu ile ifade edilmektedir. Zamana bağlı ısı iletimi ilk kez 1807 yılında, “Isının Analitik Teorisi” adlı eserinde Fourier tarafından kayda alınmış olup daha sonra bu denklem farklı nümerik ve analitik yöntemlerle çözümlenmiştir [14].

Belirli sınır koşulları için bir ortamdaki sıcaklık dağılımı bilindiğinde, ortam içinde veya yüzeyinde herhangi bir noktadaki iletimle ısı akışı Fourier ısı iletimi kanunu yardımıyla hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.2 İletim ile ısı iletimine ait sıcaklık dağılımı (kartezyen koordinatlar)

Bir t anındaki $T(x, y, z, t)$ sıcaklık dağılımı hesabı için Şekil 2.2'de 3D olarak kartezyen koordinatlarda gösterilen homojen bir ortam için, sonsuz küçük bir kontrol hacmi $dx dy dz$ olarak yazılabilir. Sıcaklık farkının olması durumunda, kontrol yüzeylerinin her biri üzerinde iletimle ısı geçişi olacaktır. x , y ve z eksenleri üzerindeki kontrol yüzeylerinin her birine dik ısı iletimi sırasıyla q_x , q_y ve q_z terimleri ile gösterilebilir. Karşı yüzeylerdeki ısı iletimi ise yüksek mertebeden terimlerin atıldığı bir Taylor seri açılımı ile ifade edilebilir.

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx, \quad q_{y+dy} = q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy, \quad q_{z+dz} = q_z + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz \quad (2.2)$$

Burada q_{x+dx} , $x + dx$ 'deki ısı iletimini ve $\frac{\partial q_x}{\partial x} dx$, dx uzunluğundaki değişimi vermektedir. Ortam içerisindeki ısıl enerji üretimi ile ilgili olarak, enerji kaynağı terimi (\dot{q}) de bulunduğu bu terim; \dot{q} birim hacimdeki ısı üretimi olmak üzere,

$$\dot{E}_{\text{üretim}} = \dot{q} dx dy dz \quad (2.3)$$

olarak yazılabilmektedir. Kontrol hacminde malzeme tarafından depolanan ısıl iç enerjide de değişimler olduğunda, enerji depolama terimi (\dot{E}_{depo}),

$$\dot{E}_{depo} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (2.4)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada \dot{E}_{depo} kontrol hacmi içinde depolanan enerjinin birim zamandaki değişimi $\left(\frac{d\dot{E}_{depo}}{dt} \right)$, ρ yoğunluk (Kg/m^3), c_p sabit basınçta özgül ısı (J/KgK), T sıcaklık ($Kelvin$), t zaman ($saniye$), $\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$ ise ortamın ısı enerjisinin birim hacim ve zamandaki değişimidir. Malzeme içerisindeki ısı enerjisi diğer enerji türlerinin tüketimi sonucunda üretiliyorsa terim ($\dot{E}_{üretim}$) artı (kaynak); tüketiliyor ise eksidir.

$$\dot{E}_{giriş} + \dot{E}_{üretim} - \dot{E}_{çıkış} = \dot{E}_{depo} \quad (2.5)$$

$\dot{E}_{giriş}$ enerji (ısı) girişi ($q_x + q_y + q_z$), $\dot{E}_{üretim}$ enerji üretimi ($\dot{q} dx dy dz$) ve $\dot{E}_{çıkış}$ enerji çıkışıdır. Enerji korunumunun ana denklemi olan bu eşitlik ile $\dot{E}_{üretim}$ ve \dot{E}_{depo} eşitliklerinden de yararlanarak,

$$q_x + q_y + q_z + \dot{q} dx dy dz - q_{x+dx} - q_{y+dy} - q_{z+dz} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (2.6)$$

bağıntısı elde edilebilmektedir. Buradan Eş. (2.2) yardımıyla

$$-\frac{\partial q_x}{\partial x} dx - \frac{\partial q_y}{\partial y} dy - \frac{\partial q_z}{\partial z} dz + \dot{q} dx dy dz = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (2.7)$$

yazılabilir. Yukarıda yer alan ilgili denklemler kullanılarak ve belirli varsayımlar altında,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) dy + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) dz + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.8)$$

denklemi elde edilebilmektedir. Bu denklem ısı yayılım denkleminin kartezyen koordinatlardaki genel ifadesidir. Denklem, ortamın herhangi bir noktasında birim hacime iletimle geçen enerji ile birim hacimde üretilen ısı enerjisi toplamının hacim içerisinde depolanan ısı enerjisi değişimine eşit olması gerektiğini ifade etmektedir. Denklem çözümü ile zamanın fonksiyonu

olarak sıcaklık dağılımı elde edilebilmektedir. Isı denklemini 3D ve ısı yayılım katsayısı (α) sabitse Eş. (2.8);

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} ; \alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (2.9)$$

halini almaktadır. Eş. (2.9), ısı üretiminin olmadığı ve ısı iletim katsayısının sabit kabul edildiği durum altında ($\frac{\dot{q}}{k} = 0$) ise;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.10)$$

olarak yazılabilmektedir.

Bazı malzemeler için ısı yayılım katsayısı değerleri [15] Çizelge 2.2 ile verilmektedir.

Çizelge 2.2 Farklı malzemeler için ısı yayılım katsayısı değerleri

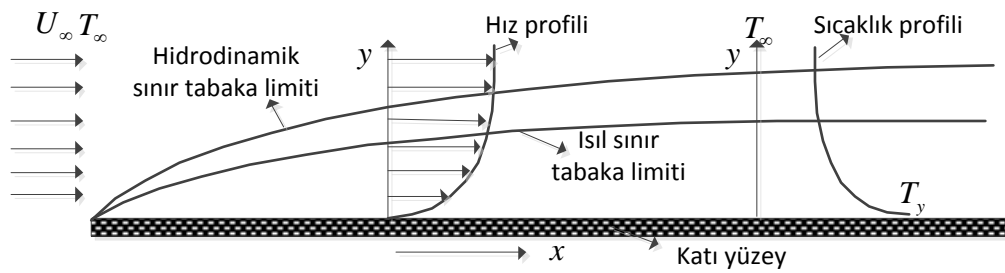
Malzemeler	Isı Yayılım Katsayısı (α), (m^2 / s)
Alüminyum	$97,5 \times 10^{-6}$
Demir	$22,8 \times 10^{-6}$
Tuğla	$0,52 \times 10^{-6}$
Cam	$0,34 \times 10^{-6}$
Su	$0,14 \times 10^{-6}$
Ağaç (Meşe)	$0,13 \times 10^{-6}$

2.2.2 Taşınım İle Isı Aktarımı

Bir yüzey ile akışkan (sıvı ve gaz) arasında sıcaklık farkı bulunduğunda iki ortam arasındaki ısı geçişinin tanımlanmasında taşınım terimi kullanılmaktadır. Süreçte, akışkanın ısınan bölümlerinin yoğunluğu genişlerken yoğunluğu azalmakta ve böylelikle hafifleyen moleküller yükselirken akışkanın daha soğuk molekülleri alçalarak yükselen moleküllerin yerini almaktadır. Bu hareketten doğan taşınım akımları ısıyı akışkanın her

yanına taşımaktadırlar. Taşınım ile ısı aktarımı; akışkan içinde moleküllerin etkileşmesiyle gerçekleşen iletimle ısı aktarımına nazaran, akışkanın hareketi dolayısıyla enerjinin taşınması mekanizmalarını da içermektedir. Eğer akışkanın hareketi yardımcı bir araç vasıtasıyla (rüzgâr gibi) sağlanıyorsa zorlanmış taşınım, yoğunluk değişimi nedeniyle oluşuyorsa doğal taşınım ifadesi kullanılmaktadır. Zorlanmış taşınım, doğal taşınımdan daha fazla ısı aktarımına neden olmaktadır.

Herhangi bir akışkan bir katı yüzey üzerinden akarken yüzey ile temas eden molekülleri sürtünme ya da akışkan (viskoz) etkiler nedeniyle yüzeye yapışmaktadır. Yüzeye yapışan bu moleküllerin yüzey üzerinde hareket etmediği kabul edildiğinde yüzey üzerinde akışkanın hızı sıfır olmaktadır. Dolayısıyla katı bir yüzey üzerinden akan akışkanın hızı yüzeyde sıfır iken, yüzeyden uzaklaştıkça artmakta ve yüzeyden etkilenmeyen yeterince uzaktaki akışkan moleküllerinin serbest akış bölgesindeki hızına ulaşmaktadır. Yüzey üzerinde akışkan hızının değiştiği bu bölge taşınım ile ısı aktarımında önemli rol oynamaktadır. Şematik olarak Şekil 2.3'de gösterilen akışkan hızının değiştiği bu bölge, hidrodinamik sınır tabaka olarak isimlendirilmektedir. Hidrodinamik sınır tabakanın kalınlığı yüzeye paralel doğrultuda artmaktadır.



Şekil 2.3 Taşınım ile ısı aktarımına ait hidrodinamik ve ısı sınır tabakaları

Kadı yüzey sıcaklığının serbest akış bölgesindeki akışkanın sıcaklığından büyük olduğu durumda (sürekli rejim), yüzeydeki akışkan moleküllerinin sıcaklığı yüzey sıcaklığına eşit olmaktadır. Yüzeyden normal

doğrultusunda uzaklaştıkça akışkanın sıcaklığı azalmakta ve yüzeyden yeterince uzak bir mesafede akışkan sıcaklığı serbest bölgedeki akışkan sıcaklığına eşit olmaktadır. Yüzey üzerindeki sıcaklığın değiştiği bu bölge, hidrodinamik sınır tabakaya benzer bir tabaka oluşturmakta ve ısı sınır tabaka olarak isimlendirilmektedir (Şekil 2.3). Newton soğuma kanunu Eş. (2.11) ile verilmektedir [14].

$$q_{\text{taşınım}} = h_{\text{taşınım}} (T_{\text{yüzey}} - T_{\infty}), \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (2.11)$$

Burada $T_{\text{yüzey}}$ yüzeyin mutlak sıcaklığı (*Kelvin*) ve T_{∞} ortam sıcaklığı (*Kelvin*) olarak adlandırılmaktadır. Birim zamandaki taşınım ile ısı aktarımının ($q_{\text{taşınım}}$) yüksek doğrulukta belirlenebilmesi amaçlı olarak akışkanlar mekaniği denklemleri altında uzun süren karmaşık hesaplamaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bununla beraber, taşınım ile iletilen ısının sıcaklık farkı ile orantılı olması dolayısıyla [14], birim zamandaki taşınım ile ısı aktarımını hesaplayabilmek için ortalama ısı taşınım katsayısının ($h_{\text{taşınım}}$) bilinmesi çoğu durumda yeterli olmaktadır. Isı taşınım katsayısı, akış türü (laminer veya türbülanslı), akışkan hızı, akışkan özellikleri (viskozite, yoğunluk ve ısı iletim katsayısı gibi), sıcaklık ve geometri gibi birçok etkene bağlı olarak değişebilmektedir. Isı taşınım katsayısının tayini için akış karakteristiği ve geometriye bağlı bağıntılar geliştirilmiştir. Çizelge 2.3'de bazı akışkanlar için ortalama ısı taşınım katsayısının alabileceği değer aralıkları gösterilmektedir [14].

Çizelge 2.3 Bazı akışkanlar için ortalama ısı taşınım katsayısı değerleri

Taşınım modu	Isı taşınım katsayısı ($h_{\text{taşınım}}$), ($Wm^{-2}K$)
<i>Doğal Taşınım</i>	
Hava	5 – 25
Su	30 – 600
Yağlar	5 – 300
<i>Zorlanmış Taşınım</i>	
Hava	10 – 300
Su	300 – 15000
Yağlar	60 – 1800
Kaynayan Su	2500 – 60000
Yoğuşan Buhar	5000 – 120000

Taşınım ile ısı aktarımı problemleri sonuç olarak ısı taşınım katsayısının tayinine indirgenebilmektedir. Isı taşınım katsayısının bilindiği durum altında, birim zamandaki taşınım ile ısı aktarımı hesaplanabilmektedir.

2.2.2.1 Isı Taşınım Katsayısı

Isı taşınım katsayısının belirlenmesinde, detaylı bir analiz gerçekleştirebilmek adına, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımları kullanılmaktadır. Gerçek zamanlı benzetimlerde ise, hız kısıtları dolayısıyla, bu yazılımları (ANSYS FLUENT gibi) benzetim esnasında koşturmak yerine belirli varsayımlar altında önceden koşturulmuş sonuçları kullanılmaktadır. RadThermIR gibi yazılım paketleri, ilgili HAD yazılımlarının çıktılarını kullanabilmekle birlikte, daha az doğru olan yarı-deneysel (empirik) yaklaşımları da (Doğrusal taşınım modeli gibi) sunmaktadırlar.

2.2.2.1.1 Doğrusal Taşınım Modeli

Doğrusal taşınım modeli yarı-deneysel bir modeldir. Bu modelde ısı taşınım katsayısı;

$$h_{taşınım} = c_1 + c_2 v_{air}, (Wm^{-2}) \quad (2.12)$$

ifadesi ile belirlenmektedir. İfade içerisinde yer alan c_1 ve c_2 katsayılarının yarı-deneysel olarak McAdam tarafından belirlenmiş olması sebebiyle bu model McAdam tabaka (layer) modeli olarak adlandırılmaktadır. Model, yoğunlukla akışkan hızlarının düşük olduğu durumlar altında kullanılmaktadır. Yüksek akışkan akımlarının ortamda bulunduğu durumlarda ise taşınım katsayısı,

$$h_{taşınım} = \frac{c_1 v_{air}^{c_2}}{L^{c_3}}, h \geq c_4, (Wm^{-2}) \quad (2.13)$$

ifadesi ile belirlenmektedir. İfade içerisinde yer alan c_1 , c_2 ve c_4 katsayıları Loveday ve Taki tarafından belirlenen yaklaşımlar altında hesaplanmış olup belirli bir ortam koşulu yaklaşımı altında kullanılmaktadırlar. Farklı ortam koşulları altında ise deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş farklı yaklaşımlar / katsayılar kullanılabilmektedir.

2.2.2.1.2 ANSYS FLUENT

ANSYS FLUENT yazılımı sonlu hacimler yöntemini kullanan bir HAD yazılımıdır. Yazılım, genel amaçlı bir HAD yazılımı olarak, akışkanları modelleyebilmekte, akışkanlar mekaniği ve ısı aktarımı problemlerinin çözümünde kullanılabilmektedir. FLUENT yazılımı kullanılarak, belirli akışkan (rüzgâr gibi) hareketi altında zamana bağlı olarak ısı taşınım katsayısı değerleri elde edilebilmektedir.

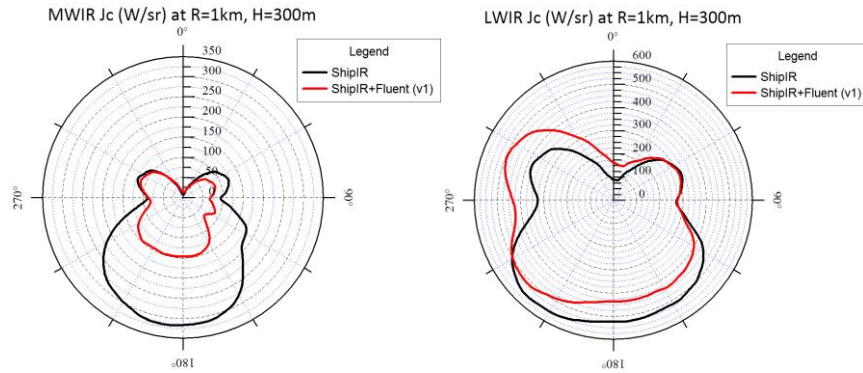
Şekil 2.4'de KÖ ışıma öngörüsünde yaygın olarak kullanılan ve NATO (North Atlantic Treaty Organization) tarafından geçerlenmiş ShipIR yazılımının LWIR dalgaboyunda üretmiş olduğu KÖ ışıma öngörüsü (sol imge) ve ShipIR yazılımının çıktıları ile birlikte FLUENT yazılımı kullanımı (ShipIR+FLUENT) ile elde edilmiş ışımalar gösterilmektedir (sağ imge) [16]. İlgili şekil dikkatlice incelendiğinde özellikle baca gazı gibi akışkanların yoğun

olduğu bölgelerde akışkanların da benzetime katılmasının / FLUENT yazılımı gibi yazılımların kullanılmasının önemi görülebilmektedir.



Şekil 2.4 LWIR dalgaboyu için **a.** ShipIR, **b.** ShipIR+FLUENT (36.3-232.5 W/m/sr)

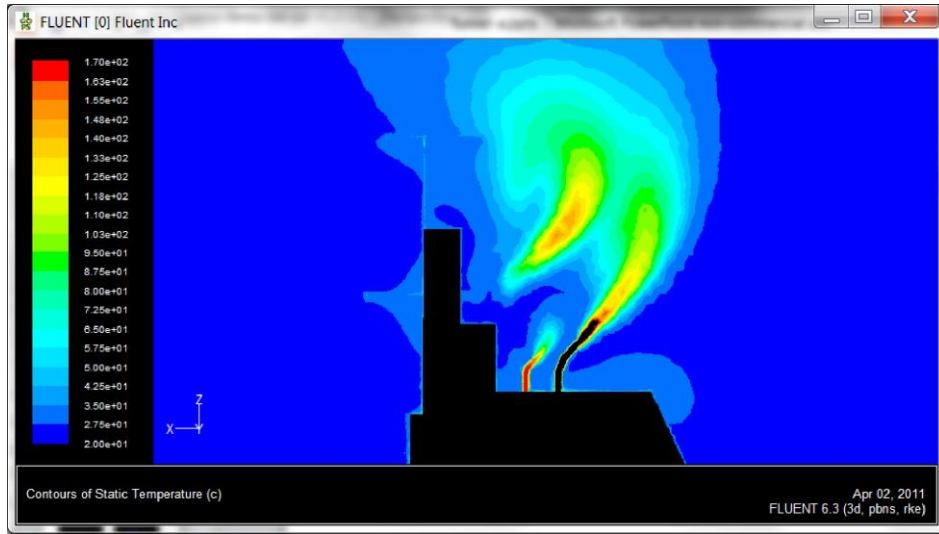
Şekil 2.5'de 1 km mesafe için ilgili platform üzerinden algılanan ışımaya değerlerinin sadece ShipIR kullanımı ve ShipIR ile FLUENT yazılımlarının birlikte kullanımı (ShipIR+FLUENT) altında MWIR ve LWIR dalgaboylarında elde edilen sonuçlarına ait kutupsal gösterimler yer almaktadır. İlgili grafikler dikkatlice incelendiğinde özellikle MWIR dalgaboylarında FLUENT yazılımının, ShipIR yazılımı ile elde edilen ışımaya değerlerini büyük oranda farklılaştırabildiği görülmektedir.



Şekil 2.5 Kutupsal gösterim **a.** MWIR, **b.** LWIR karşıtlık şiddeti (contrast intensity)

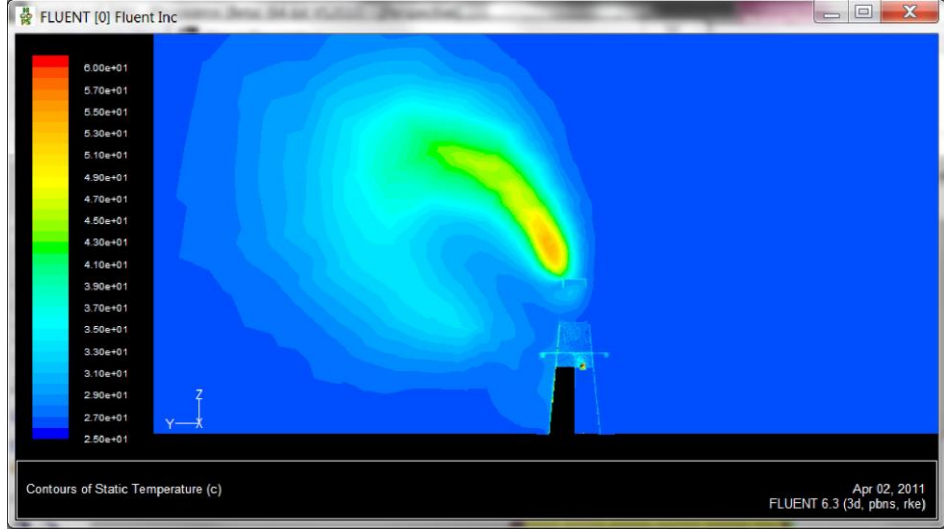
FLUENT yazılımının akışkanların modellenmesinde HAD denklemlerini kullanarak oluşturduğu bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, doğru olarak KÖ öngörüsünde bulunmak adına, özellikle akışkanların yoğun olduğu bölgelerde, HAD denklemlerinin çözümlenmesinin önemli olduğu değerlendirilmektedir.

Şekil 2.6'da FLUENT yazılımı kullanımı ile elde edilen ilgili platform üzerindeki baca gazına ait $y=0$ m için xz düzlemindeki sıcaklık dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.6 $y=0$ m için xz düzlemindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 2.7'de FLUENT yazılımı kullanımı ile elde edilen ilgili platform üzerindeki baca gazına ait $x=0.558$ m için yz düzlemindeki sıcaklık dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.7 $x=0.558$ m için yz düzlemindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 2.8'de FLUENT yazılımı kullanımı ile elde edilen ilgili platform üzerindeki baca gazına ait $z=13$ m için xy düzlemindeki sıcaklık dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.8 $z=13$ m için xy düzlemindeki sıcaklık dağılımı

Bu kapsamda FLUENT gibi HAD yazılımlarının ilgili KÖ öngörüsünde kullanılması önem arz etmektedir. Bununla birlikte FLUENT yazılımının çözümlendiği denklemlerin, yüksek tel örgü sayısı ile birlikte, yüksek karmaşıklığa sahip olması sebebiyle hesaplamalar uzun (saatler mertebesinde) sürebilmektedir. Bu sebeple, geçerliliği yüksek benzetimler elde etmek adına, bu yazılımlar ilgili benzetim gerçekleştirilmeden önce koşturulmakta ve ilgili benzetimlerde, bu koşullar boyunca, önceden elde edilen sonuçları kullanılmaktadır.

2.2.3 Işınım İle Isı Aktarımı

Herhangi bir nesnenin ışınması kabaca; o nesnenin yapısına ve çevresel etkilere bağlı olarak sıcaklık değişimi ile ifade edilebilmektedir. Nesne, elektromanyetik ışınım yaymakta (foton) ve bu ışınımın dalga boyu nesnenin sıcaklığına bağlı olarak değişebilmektedir. Işınımın fotonlar ile iletilmesi dolayısıyla, iletim ve taşınım ile ısı aktarımı mekanizmalarının aksine ışınım ile ısı aktarımı bir ortama ihtiyaç duymamaktadır. Herhangi bir yüzeyden ışınım ile yayılan ışınım temel olarak yüzeyin sıcaklığı ve yüzeye ait yayıcılık katsayısına bağlıdır. Yayıcılık katsayısı değeri ise dalga boyuna, sıcaklığa ve yüzeyin yapısına bağlı bir niceliktir.

Siyah cisim, sıcaklığına bağlı olarak azami ışınım ($E_{siyahcisim}$) yapabilen cisim olarak tanımlanmaktadır. Siyah cisim, teorik olarak, üzerindeki tüm sıcaklığı soğurmakta (dalga boyu ve yönelimden bağımsız olarak) ve sıcaklığından dolayı ortaya çıkan tüm ışınımı ortama yaymaktadır. Siyah cisimden yayılan ışınım; sıcaklık ve dalga boyunun fonksiyonu olmasına rağmen, doğrultudan bağımsız olduğundan, bütün doğrultularda dağınık (diffuse) ışınım yaymaktadır. Bir nesnenin birim yüzey alanından bütün dalga boylarında ve bütün yönlerde ışınım yapmak suretiyle birim zamanda gerçekleştirdiği enerji aktarımına toplam ışınım gücü denir ve E_{nesne} (Wm^{-2}) ile gösterilir. Siyah cisim dışındaki nesnelerin aynı sıcaklıkta yaptığı ışınım siyah cisme nazaran daha az olup siyah cismin yaptığı ışınım ile belirli bir oranda

ilişkilidir. Eş. (2.14)'de verilen bu orana yayıcılık katsayısı (ε) denir. Siyah cisim dışındaki nesnelere için yayıcılık değeri 1'den daha küçük ($\varepsilon < 1$) olup, $\varepsilon = 0$ olan cisim ise mükemmel yansıtıcı olarak adlandırılmaktadır. Yayıcılık katsayısı, herhangi bir nesnenin yüzeyine ait toplam ışımaya gücünün (E_{nesne}) siyah cismin toplam ışımaya gücüne ($E_{siyahcisim}$) nazaran enerji yayabilme etkinliğini göstermektedir.

$$\varepsilon = \frac{E_{nesne}}{E_{siyahcisim}} \quad (2.14)$$

Bazı malzemeler için yayıcılık katsayısı değerleri Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Bazı malzemeler için yayıcılık katsayısı değerleri

Malzemeler	Yayıcılık katsayısı (ε)
Parlatılmış çelik	0,07
Oksitlenmiş çelik	0,79
Asfalt	0,83
Beton	0,76
Deri	0,98
Islak toprak	0,95
Boya	0,94
Yoğun bitkiler	0,93
Kuru toprak	0,92
Kuru ot	0,91
Kum	0,90
Kuru kar	0,88

Siyah cisim ışımalarının sıcaklık ve dalga boyuna bağlı olarak ifadesi 1900 yılında Max Planck tarafından Planck Yasası ile ifade edilmiştir. Planck yasasına göre $T_{yüzey}$ sıcaklığında (*Kelvin*) bulunan bir siyah cismin λ_1 (μm) ile λ_2 (μm) dalga boyu aralığında, birim zamanda ve birim alanda yaptığı ışımaya $c_1 = 2\pi hc^2 = 3.7415 \times 10^8$, ($W \mu m^4 m^{-2}$) ve $c_2 = hc/k = 1.4384 \times 10^4$, ($\mu m Kelvin$) katsayıları sabit olmak üzere Eş. (2.15)'de yer aldığı üzere yazılabilmektedir.

$$E_{siyahcisim}(\lambda, T_{yüzey}) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda) \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{c_2/\lambda T_{yüzey}} - 1} d\lambda, (Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}) \quad (2.15)$$

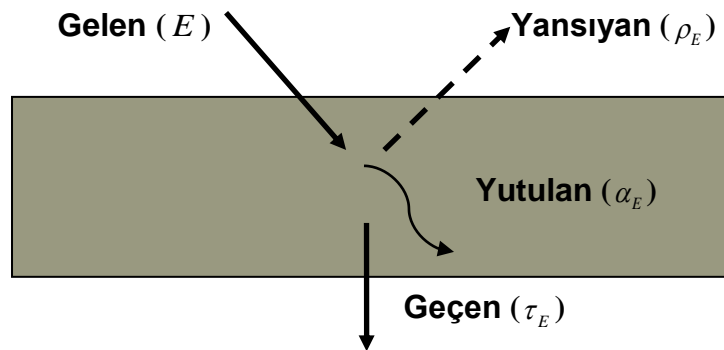
İlgili eşitlik içerisinde yer alan integral tüm dalgaboyları üzerinden çözümlendiğinde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}, (Wm^2 K^4)$ Stefan-Boltzman sabiti olmak üzere, Stefan-Boltzman tarafından ortaya konulan Eş. (2.16) elde edilmektedir.

$$E_{siyahcisim}(\lambda, T_{yüzey}) = \int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda) \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{c_2/\lambda T_{yüzey}} - 1} d\lambda \cong \varepsilon \sigma T_{yüzey}^4, (Wm^{-2}) \quad (2.16)$$

Şekil 2.9'da temsili olarak gösterildiği üzere yüzeye gelen toplam ışınım, dalgaboyuna ve yüzeyin özelliklerine bağlı olarak yutulabilmekte, yansıtılabilmekte ya da madde içerisinde geçebilmektedir. Yutulan ya da yüzey tarafından yayımlanan enerji, maddenin ısı enerjisini artırıp ya da azaltırken, yüzey tarafından yansıtılan ya da geçirilen ışınım maddenin ısı enerjisinin değişmesinde bir etkiye sahip değildir. Yüzeyden yutulan, yansıtılan ve geçirilen ışınım miktarlarının; yüzeye gelen ışınım miktarına oranları sırasıyla soğurma katsayısı $\alpha_{soğurma}(\lambda)$, yansıtma katsayısı $\rho_{yansıtma}(\lambda)$ ve geçirme katsayısı $\tau_{geçirgenlik}(\lambda)$ olarak tanımlandığında;

$$\rho_{yansıtma}(\lambda) + \alpha_{soğurma}(\lambda) + \tau_{geçirgenlik}(\lambda) = 1 \quad (2.17)$$

Kirchoff bağıntısı elde edilebilmektedir [14].



Şekil 2.9 Işığın madde ile etkileşimi

$T_{yüzey}$ sıcaklığındaki bir yüzeyin, yüzeyi T_{ortam} sabit sıcaklığında olan bir hacim içinde bulunduğu ve $T_{yüzey} \neq T_{ortam}$ olduğu varsayıldığında, yüzey ile ortam arasında ışınlama ile ısı alışverişi gerçekleşecektir. Böyle bir durumda yüzey üzerine düşen ışınlama, T_{ortam} sıcaklığındaki bir siyah cismin ışıması sonucu gerçekleşen ışınlama olarak değerlendirilebilmekte ve yüzey üzerine düşen ışınlama miktarı $E = \sigma T_{ortam}^4$ olmaktadır. Yüzeyin soğurma katsayısı ile ışınlama katsayısının eşit olduğu ($\alpha = \varepsilon$) varsayıldığında yüzeyden birim zamanda birim alandan net ışınlama ile ısı aktarımı,

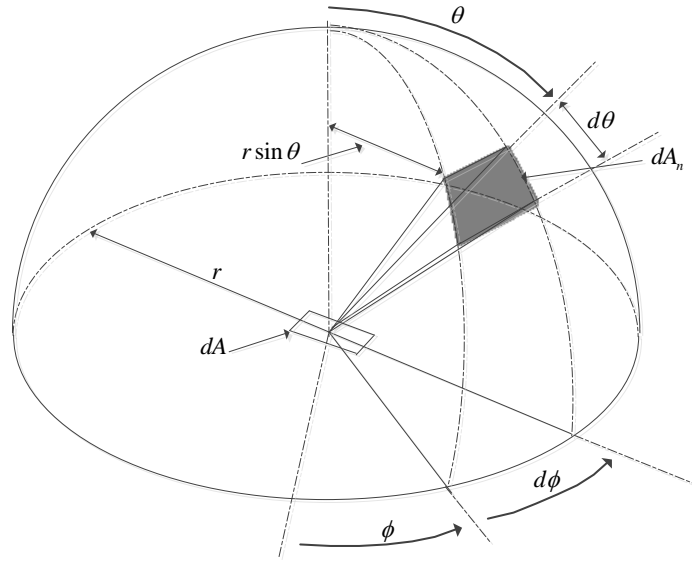
$$q_{ışınım} = \varepsilon E_b(T_{yüzey}) - \alpha G(T_{ortam}) = \varepsilon \sigma (T_{yüzey}^4 - T_{ortam}^4), (W / m^2) \quad (2.18)$$

ifadesi ile yazılabilmektedir. Bu ifade; birim zamanda ve birim alandan, yüzeyin ışınlama ile kaybettiği enerji ile yüzeye gelen ışınlama ile kazandığı enerji arasındaki farkı ifade etmektedir.

2.2.3.1 Işınlama Şiddeti

Bir yüzeyden belirli bir doğrultuda gönderilen ışınlama miktarının bilinebilmesi için belirtilen yol doğrultusundaki ışınlama şiddetinin belirlenmesi gerekmektedir. Işınlama şiddetinin belirlenmesinde hacimsel (katı) açı kavramı kullanılmaktadır.

Yatay bir yan küre yüzeyi üzerindeki diferansiyel yüzey elemanı dA olsun. Koni ve yarıkürenin kesişim bölgesi olan alan (Şekil 2.10) bir katı açı olarak isimlendirilebilmekte ve steradyan ile ölçülmektedir.



Şekil 2.10 Katı açı gösterimi

Bir gözlemci Şekil 2.10 ile gösterilen dA alanına bakıyor olsun. Temsili alan parçası (dA) alanından birim zamanda yayınlanan toplam enerji dQ olarak tanımlanırsa ışınım şiddeti (I), Eş. (2.19) ile elde edilebilir.

$$I \equiv \frac{d^2Q}{d\omega dA \cos \theta} \quad (2.19)$$

Burada $d\omega$ katı açı olarak tanımlanmaktadır. dA alanına bakıldığında alanın görünen boyutu $dA \cos \theta$ ile tanımlanmaktadır. Katı açı; büyüklük olarak, $\omega = A_n / r^2$ ya da $d\omega = dA_n / r^2$ şeklinde yazılabilmektedir. $dA_n = (r \sin \theta d\phi)(r d\theta)$ olarak yazıldığında,

$$d\omega = \frac{(r \sin \theta d\phi)(r d\theta)}{r^2} = \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.20)$$

ifadesi tanımlanabilmektedir. Dağınık ışıma yapan bir yüzeyde ışınım doğrultudan bağımsız olduğundan Eş. (2.19) yeniden düzenlendiğinde, birim alandaki toplam ışıma gücü ($E = dQ/dA$) ile ışınım şiddeti arasındaki bağıntı,

$$E(\theta, \phi) = \frac{dQ}{dA} = I \int \cos \theta d\omega = I \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi = I\pi \quad (2.21)$$

olarak yazılabilmektedir. Eğer yüzey dağınık ışımaya yapmıyor ise bu durumda;

$$E(\theta, \phi) = I \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.22)$$

olarak yazılabilmektedir.

2.2.3.2 Görüş Faktörü

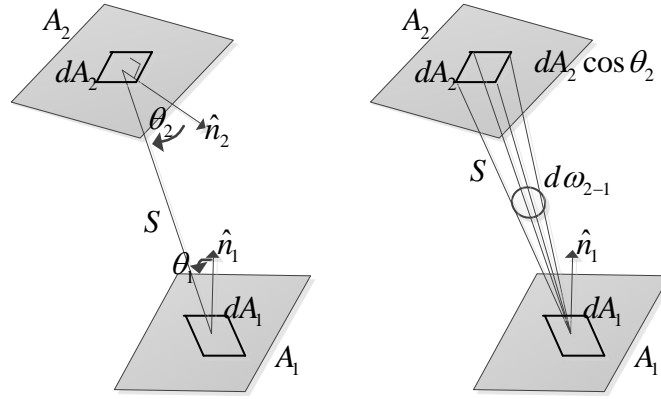
Sonlu sıcaklıktaki bütün yüzeyler elektromanyetik dalga formunda (foton) enerji yaymaktadırlar. Bu sebeple birbirini gören iki yüzey arasında ışınım ile ısı aktarımının varlığından bahsedilebilir.

Görüş faktörü, geometrik bir terim olup iki yüzeyin ışınım yoluyla enerji alışverişini yaptığı sistemler için kaynaktan ayrılıp alıcıya (veya tersi) ulaşan ışınımın oranını belirlemektedir. Bu terim kaynakla alıcı arasındaki uzaklık ve geometriye bağlı olarak tanımlanmaktadır.

Görüş faktörünün hesaplanmasında analitik yöntemler kullanılabildiği gibi ışın izleme tabanlı olarak HemiCube veya benzeri yöntemler de kullanılmaktadır. 3D geometriler için birbirine bakan ve / veya güneş, gökyüzü gibi bileşenlerin etkilerine ait görüş faktörlerinin hesaplanmasında, RadTherm(IR) ve FLUENT gibi gelişmiş yazılım paketleri ışın izleme yöntemlerinden faydalanmaktadır.

2.2.3.2.1 Analitik Görüş Faktörü

İki diferansiyel eleman arasındaki analitik görüş faktörü, Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Birbirini gören iki yüzey arasında görüş faktörü

Şekil 2.11'de A_1 ve A_2 yüzeyleri birbirini görmektedirler. A_1 yüzeyi üzerindeki bir diferansiyel eleman dA_1 , A_2 yüzeyi üzerindeki bir diferansiyel eleman ise dA_2 olarak tanımlanmaktadır. İki alan elemanı arasında çizilen doğru ile her bir diferansiyel alanın normalinin yaptığı açı θ ile gösterilmektedir. Diferansiyel alanlar arasındaki mesafe ise s 'dir. θ_1 , θ_2 ve s değerleri dA_1 ve dA_2 'nin elemanlarının seçtikleri yere bağlı olarak değişebilmektedir. dA_1 'den ayrılan ve dA_2 tarafından kesilen (durdurulan) ışımaya ifadesi:

$$dQ_{d1 \rightarrow d2} = I_1 \cos \theta_1 dA_1 d\omega_{2 \rightarrow 1} \quad (2.23)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada " \rightarrow " notasyonu net ısı alışverişinin yönünü belirten alt indis olarak kullanılmaktadır. I_1 , dA_1 alanından yayılan ışınım şiddeti, $d\omega_{2 \rightarrow 1}$ ise dA_1 yüzeyinden dA_2 yüzeyini gören katı açıdır. Katı açı tarifinden, $d\omega_{2 \rightarrow 1}$;

$$d\omega_{2 \rightarrow 1} = \frac{\cos \theta_2 dA_2}{s^2} \quad (2.24)$$

olarak elde edilebilmektedir. Siyah cisim için ışınlım şiddeti ifadesi ise, dalgaboyundan bağımsız olarak, Eş. (2.25)'de verildiği şekilde yazılabilmektedir.

$$I_{\text{Siyahcisim}} = \frac{\sigma T_1^4}{\pi} \quad (2.25)$$

(2.24) ve (2.25) ifadeleri (2.23) eşitliğinde yerine yazıldığında;

$$dQ_{d1 \rightarrow d2} = \frac{\sigma T_1^4 \cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1 dA_2}{\pi S^2} \quad (2.26)$$

elde edilmektedir. dA_1 yüzeyi doğrultusunda dA_2 yüzeyini terk eden ışım ifadesi ise;

$$dQ_{d2 \rightarrow d1} = \frac{\sigma T_2^4 \cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1 dA_2}{\pi S^2} \quad (2.27)$$

olarak yazılabilmektedir. dA_1 ve dA_2 arasındaki ışınlımla net ısı aktarımı;

$$dQ_{d1 \rightarrow d2} = dQ_{d1 \rightarrow d2} - dQ_{d2 \rightarrow d1} \quad (2.28)$$

olarak yazılabilmektedir. (2.26) ve (2.27) eşitlikleri Eş. (2.28) ifadesinde yerine yazıldığında;

$$dQ_{d1 \rightarrow d2} = \sigma (T_1^4 - T_2^4) \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1 dA_2}{\pi S^2} \quad (2.29)$$

elde edilmektedir. Birim alan başına ısı alışverişi ise;

$$\frac{dQ_{d1 \rightarrow d2}}{dA_1} = \sigma (T_1^4 - T_2^4) \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_2}{\pi S^2} \quad (2.30)$$

olarak yazılabilmektedir. Eşitlik (2.30); iki diferansiyel siyah cisim yüzeyi arasında, birim alan başına ve birim zamandaki net ısı değişimini temsil etmektedir. Bu eşitlikte geometriyi ifade eden;

$$dF_{d1 \rightarrow d2} = \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_2}{\pi S^2} \quad (2.31)$$

ifadesi görüş faktörü olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik (2.31), dA_1 yüzeyine olan net ısı alışverişi ifadesidir. dA_2 yüzeyine olan net ısı alışverişi ifadesi ise;

$$dF_{d2 \rightarrow d1} = \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1}{\pi S^2} \quad (2.32)$$

olarak yazılabilmektedir. Eş. (2.31) ifadesinin dA_1 ile çarpımı, Eş. (2.32) ifadesinin dA_2 ile çarpımına eşit olduğundan (karşılıklı bağıntı kuralı gereği) aşağıdaki ifade yazılabilir;

$$dA_1 dF_{d1 \rightarrow d2} = dA_2 dF_{d2 \rightarrow d1} = \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_2 dA_1}{\pi S^2} \quad (2.33)$$

birbirlerinden S mesafede olan iki siyah cisim yüzeyi arasındaki net ısı alışverişi Eş. (2.34)'de yer aldığı şekilde yazılabilmektedir.

$$dQ_{d1 \rightarrow d2} = \sigma (T_1^4 - T_2^4) dF_{d1 \rightarrow d2} dA_1 = \sigma (T_1^4 - T_2^4) dF_{d2 \rightarrow d1} dA_2 \quad (2.34)$$

2.2.3.2.2 Işın İzleme Tabanlı Görüş Faktörü

Görüş faktörü; sahne içerisinde yer alan yüzey elemanlarının (yama) birbirleriyle olan ışıma ilişkisinin tayini amaçlı kullanılıyor olması sebebiyle özellikle yüksek doğrulukta gerçekleştirilmek istenen benzetimlerde göz önünde bulundurulması gereken önemli bileşenlerin başında gelmektedir. Tez çalışması kapsamında görüş faktörünün (view factor) hesaplanması amacıyla ışınsallık (radiosity) yöntemi kullanılmaktadır.

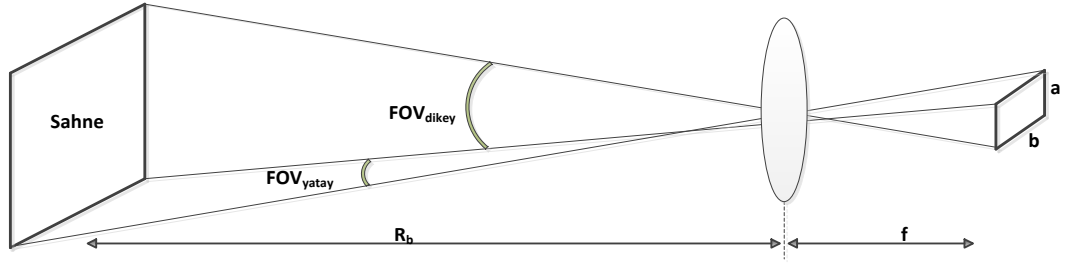
2.3 KÖ Işıma

Algılayıcı tarafından elde edilen KÖ ışıma; ışımanın elde edildiği detektör geometrisi, optik ve algılayıcıya ulaşan ışımayı oluşturan bileşenlere bağlı olarak değişebilmektedir.

2.3.1 KÖ Işıma Geometrisi

Algılayıcı tarafından elde edilen KÖ ışıma; algılayıcıya ışımanın elde edildiği detektör boyutları, optik ve geometri gibi bileşenlere bağlıdır.

Algılayıcıya ait görüş açısı (FOV), sisteme ulaşan KÖ enerjinin bulunduğu açısal uzayın tanımlanmasında kullanılmaktadır. Şekil 2.12'de görüş açısının gösterimi yer almaktadır.

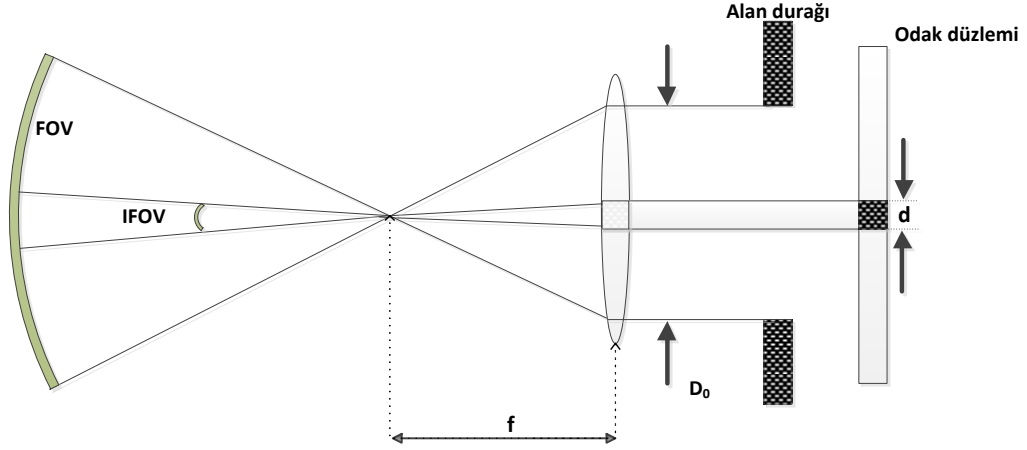


Şekil 2.12 Görüş açısının gösterimi

Algılayıcı görüş açısı Eş. (2.35) ile ifade edilmektedir.

$$FOV = 2 \tan^{-1} \left(\frac{D_0}{2f} \right) \quad (2.35)$$

Anlık görüş açısı (IFOV), tek (single) bir algılayıcı elemanı (piksel) tarafından görülen açıdır. Şekil 2.13'de anlık görüş açısının gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.13 Görüş açısı ve anlık görüş açısının gösterimi

IFOV, algılayıcı optik odak uzaklığı (f) ve algılayıcı eleman boyutuna (a veya b) bağlı bir değişkendir. Yatay ve dikey IFOV'lar, Eş. (2.36)'da ifade edilmektedir.

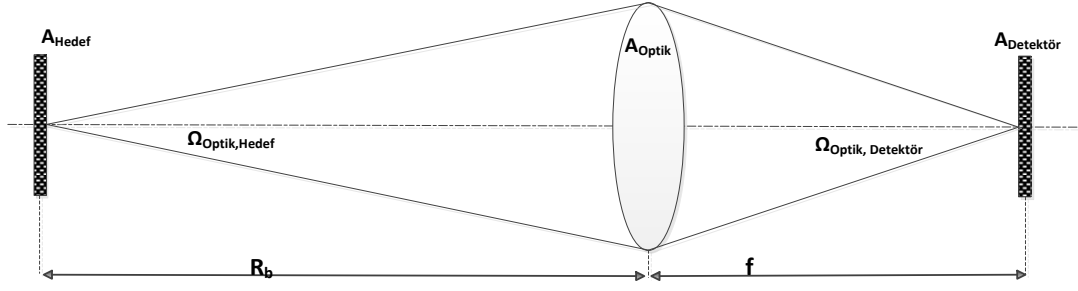
$$IFOV_{dikey} = 2 \tan^{-1} \left(\frac{b}{2f} \right), \quad IFOV_{yatay} = 2 \tan^{-1} \left(\frac{a}{2f} \right) \quad (2.36)$$

2.3.2 Algılayıcıya Ulaşan Güç

Hedefe bakan optik katı açısı ($\Omega_{0,T}$), Eş. (2.37) ile hesaplanabilir ($R \gg A_{Optik}$ olduğu yaklaşımı altında).

$$\Omega_{0,T} = \frac{A_{Optik}}{R_b^2} \quad (2.37)$$

Eşitlikte R_b hedef ile algılayıcı arasındaki mesafe, A_{Optik} ise algılayıcı optiğinin alanıdır. Şekil 2.14'de katı açısı geometrik olarak gösterilmeye çalışılmaktadır.



Şekil 2.14 Katı açı gösterimi

A_{Optik} alanı, algılayıcı optik çapı (D_0) kullanılarak,

$$A_{Optik} = \pi R^2 = \pi \left(\frac{D_0}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} D_0^2 \quad (2.38)$$

olarak yazılabilir. Eş. (2.38) ve Eş. (2.37) kullanılarak

$$\Omega_{0,Hedef} = \frac{\pi}{4} \frac{D_0^2}{R^2} \quad (2.39)$$

eşitliği yazılabilir. Benzer olarak Şekil 2.13'de yer alan odak uzunluğu (f) ve f sayısı ($f\# = \frac{f}{D_0}$) olmak üzere, Eş. (2.40);

$$\Omega_{0,Detektör} = \frac{\pi}{4} \frac{D_0^2}{f^2} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{1}{f\#} \right)^2 \quad (2.40)$$

olarak yazılabilir.

Algılayıcıya ulaşan güç; hedefin ışınması, hedef alanı ve hedefe bakan optiğe ait katı açının çarpımı ile hesaplanabilir. Algılayıcıya ulaşan toplam güç sahnede yer alan bileşenlerden (hedef ve arkaplan gibi) gelen ışınların toplamıdır. Herbir hedeften algılayıcıya ulaşan gücün hesaplanması, P_{Hedef} hedeften algılayıcıya ulaşan güç, $\Omega_{Optik,Hedef}$ hedefe bakan optiğe ait katı açı, t_{Optik} algılayıcı optik geçirgenliği, N_{Hedef_i} hedef ışınması, $\tau_{Atmosfer}$ atmosferik

geçirgenlik ve A_{Hedef} hedefe ait alan olmak üzere, Eş. (2.41) ile gerçekleştirilir.

$$P_{Hedef} = \Omega_{Optik,Hedef} t_{Optik} A_{Hedef} N_{Hedef} \tau_{Atmosfer} \quad (2.41)$$

Benzer olarak arkaplandan algılayıcıya ulaşan gücün ($P_{Arkaplan}$) hesaplanması, $\Omega_{Optik,Arkaplan}$ arkaplana bakan optiğe ait katı açı, $N_{Arkaplan}$ arkaplan ışınması ve $A_{Arkaplan}$ arkaplan alanı olmak üzere Eş. (2.42) ile gerçekleştirilir.

$$P_{Arkaplan} = \Omega_{Optik,Arkaplan} t_{Optik} A_{Arkaplan} N_{Arkaplan} \tau_{Atmosfer} \quad (2.42)$$

Algılayıcıya ulaşan toplam güç P_{Toplam} , hedef(ler) tarafından yayımlanan ışımaya (P_{Hedef}) ile arkaplandan yayımlanan ışımının ($P_{Arkaplan}$) toplamıdır.

$$P_{Toplam} = P_{Arkaplan} + P_{Hedef} \quad (2.43)$$

2.3.3 Algılayıcı Gerilimi

$L_{fark}(\lambda, \Delta T)$, sahnede yer alan hedef ile arkaplan arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan ışımayı göstermektedir. İlgili ışımaya ($L_{fark}(\lambda, \Delta T)$), hedef sıcaklığı T_{Hedef} ve arkaplan sıcaklığı $T_{Arkaplan}$ olmak üzere aşağıdaki eşitliklerle yazılabilir.

$$L_{Hedef}(\lambda, T_{Hedef}) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda) \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T_{Hedef}}} - 1} d\lambda$$

$$L_{Arkaplan}(\lambda, T_{Arkaplan}) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda) \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T_{Arkaplan}}} - 1} d\lambda \quad (2.44)$$

$$L_{fark}(\lambda, \Delta T) = L_{Hedef}(\lambda, T_{Hedef}) - L_{Arkaplan}(\lambda, T_{Arkaplan})$$

Algılayıcıya ulaşan ışımının gerilime dönüştürülmesi; algılayıcı duyarlılığı, optik ve atmosferik geçirgenlik gibi katkılar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmektedir. İlgili eşitlik; algılayıcı da elde edilen gerilim (ΔV_{sistem}), Kazanç (G), Algılayıcı boyutu ($A_{Detektör}$) ve Algılayıcı duyarlılığı ($R_d(\lambda)$) olmak üzere,

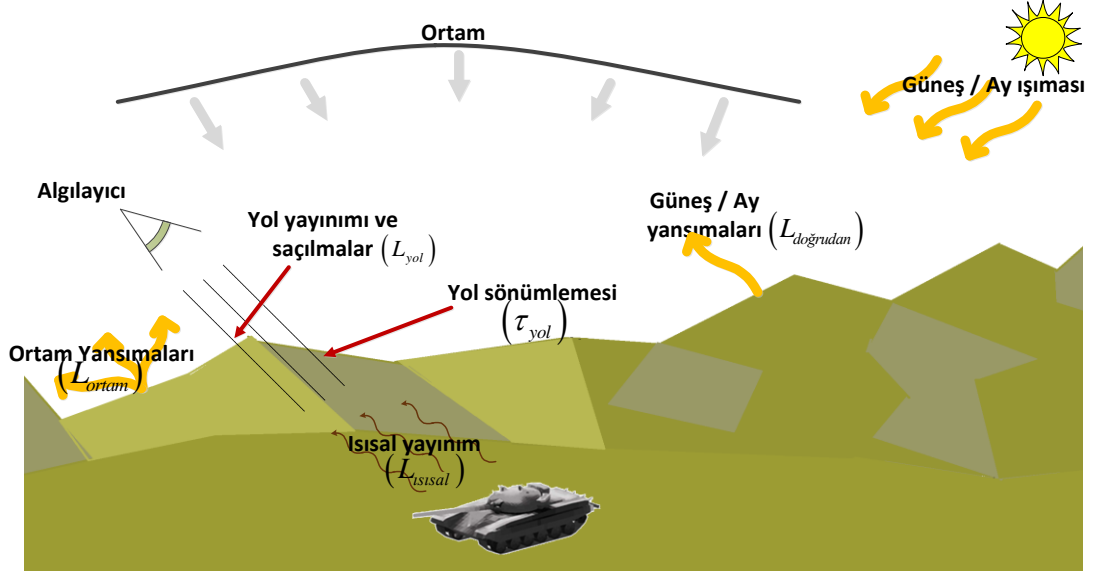
$$\Delta V_{sistem} = G \frac{A_{Detektör} \pi}{4 f \#^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{fark}(\lambda, \Delta T) \tau_{Atmosfer}(\lambda, R) \tau_{Optik}(\lambda) d\lambda \quad (2.45)$$

$$\Delta V_{sistem} = G \frac{A_{Detektör} \pi}{4 f \#^2} \tau_{Atmosfer}(R) \tau_{Optik} L_{fark}(\Delta\lambda, \Delta T)$$

olarak yazılabilir.

2.3.4 Algılayıcıya Ulaşan Işıma

Herhangi bir ortam (kara, deniz ve hava) içerisinde bulunan nesnelerin ışımları, kabaca; nesnenin ısı özellikleri (ısı iletkenlik gibi), optik özellikleri (yayıcılık gibi), konumu ve ortam şartları (rüzgâr ve güneşin konumu gibi) gibi bileşenlere bağlı olarak değişebilmektedir. Bu bileşenlerin bir kısmının veya tamamının birbirleri üzerine olan sıcaklık / ışım etkilerinin bilinmesi, sentetik ortam da oluşturulacak olan ışımaların, 'fiziksel olarak doğru', hesaplanabilmesi açısından önem arz etmektedir. Şekil 2.15'de KÖ dalgaboyu aralığında ışım algılama yeteneği bulunan bir gözlemci / algılayıcıya ulaşan KÖ ışımaı oluşturan / etkili olan bileşenler şematik olarak gösterilmeye çalışılmaktadır.



Şekil 2.15 Gözlemciye ulaşan ışımaya kaynaklarının gösterimi

Şekil 2.15'de şematik olarak yer alan sahnenin KÖ Sahne Üreticinde doğru olarak benzetimi maksatlı olarak gözlemciye ulaşan ışımının eldesinde;

- Isısal ışımalar,
- Yol ışması ve saçılmalar,
- Gökyüzü ışımaları / yansımaları,
- Güneş / Ay ışımaları / yansımaları,
 - a. Güneş / Ay dağınık yansımaları,
 - b. Güneş / Ay aynasal (specular) yansımaları,

gibi unsurların katkılarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu unsurların katkıları altında gözlemciye ulaşan ışımaya Eş. (2.46) ile verilmektedir.

$$L_{\text{Gözlemci}} = L_{\text{Güneş/Ay}} + L_{\text{Gökyüzü}} + L_{\text{Isısal}} + L_{\text{YolIşması}}, (Wcm^{-2}sr^{-1}) \quad (2.46)$$

Burada;

$L_{\text{Gözlemci}}$: Gözlemciye ulaşan ışımaya,

$L_{\text{Güneş/Ay}}$: Güneş ve / veya Ay ışımalarının nesne yüzeyinden aynasal ve dağınık olarak yansıdıktan sonra sensöre ulaşan kısmı,

$L_{Gökyüzü}$: Gökyüzü ışması yayılımının nesne yüzeyinden yansdıktan sonra sensöre ulaşan kısmı,

$L_{Isısal}$: Nesne yüzeyinin ışma yayılımı dolayısıyla oluşan ışmanın sensöre ulaşan kısmı,

$L_{Yollışması}$: Nesne yüzeyi ile algılayıcı arasında kalan mesafe boyunca atmosferik yol ışması,

olarak yazılabilmektedir. Gözlemciye ulaşan ışma, detaylı olarak

$$\begin{aligned}
L_{Gözlemci} = & L_{doğrudan}^* \cos \theta_i \rho (1 - f_s) \tau_{yol} \quad // \text{Dağınık Güneş / Ay yansımaları} \\
& + L_{doğrudan}^* f_{sl}(\theta_r, \phi_r) \rho f_s N_s \tau_{yol} \quad // \text{Aynasal Güneş / Ay yansımaları} \\
& + L_{ortam}^* \rho \tau_{yol} \quad // \text{Ortam yansımaları} \\
& + L_{SiyahCisim} (1 - \rho) \tau_{yol} \quad // \text{Isısal yayınım} \\
& + L_{Yollışması} \quad // \text{Yol yayınımı ve saçılma, } (Wcm^{-2}sr^{-1})
\end{aligned} \tag{2.47}$$

gibi yazılabilmektedir. Burada;

$L_{doğrudan}^*$: Nesne yüzeyinden yansıyan Güneş / Ay ışması,

ρ : Nesne yüzeyinin dağınık yansıtma katsayısı,

f_s : Gelen ışmanın aynasal olarak yansıyan bölümü,

τ_{yol} : Gözlemci ile nesne arasında yer alan atmosferik geçirgenlik,

$f_{sl}(\theta_r, \phi_r)$: Aynasal olarak yansıyan ışmanın açısbağımlılığı,

(θ_r, ϕ_r) : Nesne yüzeyinin yüzey normaline bağılı olarak yansıyan ışma açısı,

N_s : Aynasal yansımaya normalizasyon faktörü,

L_{ortam}^* : Nesne yüzeyine ulaşan gökyüzü ışması,

$L_{siyahcisim}$: Nesne yüzeyinden yayınlanan siyah cisim ışması,

$L_{Yollışması}$: Sensör ile nesne arasındaki atmosferik yol boyunca atmosfer kaynaklı yayılım ve saçılım etkileri sonrası yol ışması, olarak verilmektedir.

KÖ sahne benzetiminde sahne içerisinde yer alan platformu oluşturan her bir yamanın ortam ile etkileşimleri hesaplanmakta ve algılayıcıya ulaşan toplam ışma elde edilmektedir. Sahnede yer alan bütün yamalar için

gerçekleştirilen hesaplanma sonrası oluşan ışıma değerleri, [0-1] arasındaki değerlere dönüştürülerek her bir yama parçacığına atanmaktadır. İlgili yamaya ait KÖ ışıma; malzemelerin ortam, aynasal yansıma, dağınık yansıma ve yayıcı (emission) bileşenleri kullanılarak benzetilmektedir.

DirectX kütüphanesinde ışık kaynağı, ortam (ambient), dağınık yansıma ve aynasal yansıma bileşenlerine sahiptir. Ortam bileşeni yönelimden bağımsız ortam kaynaklı yansımaların benzetiminde kullanılmaktadır. Dağınık yansıma bileşeni tek bir yönden gelip her yöne eşit dağılan yansımaların benzetiminde kullanılmaktadır. Bununla birlikte yüzeylerin çoğu, dağınık yansımadan ziyade aynasal yansıma gerçekleştirmektedirler. Aynasal yansıma tek bir yönden gelip kısıtlı bir bölgeden yansıyan ışımaların benzetiminde kullanılmaktadır.

2.3.4.1 Isısal Işıma Modeli

Algılayıcı tepkiselliği (φ_λ), görüntüleme sistemlerinde kullanılan algılayıcıların ideal olmaması ve bu sebeple, çalışma aralığında bulunan bütün fotonları aynı ölçüde algılayamaması sonucunda oluşan, dalgaboyuna bağlı tepkiselliğin modellenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Siyah cisim ışıması (Eş. (2.15)) algılayıcı tepkiselliğini de içerecek şekilde,

$$L_{SiyahCisim} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_\lambda L_\lambda^{SiyahCisim} d\lambda, \quad (Wcm^{-2}sr^{-1}) \quad (2.48)$$

olarak yazılabilir. Atmosferik geçirgenlik (τ_{atm}) ilgili bağıntıya eklendiğinde,

$$L_{Isısal} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_\lambda L_\lambda^{SiyahCisim} (1 - \rho_\lambda) \tau_{atm} d\lambda, \quad (Wcm^{-2}sr^{-1}) \quad (2.49)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlikte ışıma ($L_{Isısal}$), nesne sıcaklığı ($L_\lambda^{SiyahCisim}$) ve nesne ile algılayıcı arasındaki mesafe dolayısıyla oluşan atmosferik iletme bağlı katkıları içermektedir. Bununla birlikte nesne sıcaklığı; güneş ve nesneyi çevreleyen ortam içerisindeki atmosferik etkilere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu sebeple, ışımının hesaplanabilmesi için güneşin

konumu ve ortamı çevreleyen atmosfere ait parametrelerin bilinmesi ve bu koşullar altında, atmosfer parametre değerlerinin eldesi amaçlı, MODTRAN (MODerate resolution TRANsmission, Orta çözünürlükte geçirgenlik) yazılımının koşturulması gerekmektedir. Eş. (2.49)'un tez kapsamında geliştirilen yazılım tarafından çözümlenen uyarlaması (implementation) Eş. (2.50)'de yer almaktadır.

$$L_{Isisal} = L_{SiyahCisim} (1 - \rho_{yansitma}) \tau_{atm_ortalama}, (Wcm^{-2}sr^{-1}) \quad (2.50)$$

2.3.4.1.1 Yaklaşım Ait Hata Kaynakları

- Matematiksel olarak, dalgaboyuna bağlı terimler integral dışına çıkartılamaz, çıkartıldığında ise belirli ölçülerde hata oluşur. Ancak eğer ortalama yansıtma katsayısı ($\rho_{yansitma}$) ve ortalama iletim katsayısı ($\tau_{atm_ortalama}$) ilgili dalgaboyu aralığında sabit iseler bu yaklaşım uygundur.
- Yaklaşımın, özellikle $8-12\mu m$ dalgaboyu aralığı için düşük, $3-5\mu m$ dalgaboyu aralığında ise yüksek hata üreteceği değerlendirilmektedir. Bunun sebebi olarak iki sebep gösterilebilir. İlk olarak, malzemeler kısa dalga boyu bantlarında uzun dalga boyu bantlarına kıyasla daha çok yansıtma değişimi içermektedirler. İkinci olarak, atmosferik iletim katsayısı $3-5\mu m$ dalgaboyu aralığında $8-12\mu m$ dalgaboyuna kıyasla daha çok değişim içermektedir. Özellikle $4.2\mu m$ dalgaboyu civarında yer alan CO_2 emilimi, diğer dalgaboylarına kıyasla, yüksek atmosferik zayıflatmaya sebep olmaktadır.
- Yüzey ve algılayıcı arasında yer alan yol boyunca atmosferik iletim katsayısının dalgaboyuna bağlı olarak değişiklik göstermesi sebebiyle hatalar oluşmaktadır.
- Malzemelerin saydam olmadığı (opak) veya Lambert yüzeylerine uymadığı durumlar altında hatalar oluşacaktır.

2.3.4.2 Yol Işıması Modeli

Yol ışıması ($L_{Yollışıması,\lambda}$) değeri, belirli geometriler için yazılım koşturmadan önce MODTRAN programı kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$L_{Yollışıması} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_{\lambda} L_{Yollışıması,\lambda} d\lambda, \quad (Wm^{-2}sr^{-1}) \quad (2.51)$$

Yazılım kapsamında kullanılacak olan yol ışıması modeli Eş. (2.52)'de yer almaktadır.

$$L_{Yollışıması} = \frac{L_{Yollışıması}^*}{(1 - \tau_{atm_ortalama}^*)} (1 - \tau_{atm_ortalama}), \quad (Wcm^{-2}sr^{-1}) \quad (2.52)$$

2.3.4.3 Gökyüzü Yansıma Modeli

Gökyüzü yansıması modelinde, algılayıcı tarafından algılanan ışımının eldesinde kullanılan denklem yarıküresel (hemispherical) yansıma teriminin tanımından türemektedir. Spektral yarıküresel (hemispherical) yansıma ($\rho_{h,\lambda}$), yarıküre üzerinden yansıyan toplam spektral ışımının yarıküre üzerine gelen toplam spektral ışımaya bölümü olarak tanımlanmaktadır.

$$\rho_{h,\lambda} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{r,\lambda}(\theta_r, \phi_r) \cos \theta_r \sin \theta_r d\theta_r d\phi_r}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{i,\lambda}(\theta_i, \phi_r) \cos \theta_i \sin \theta_i d\theta_i d\phi_i} \quad (2.53)$$

Yansıtan yüzeyin Lambert olduğu kabul edildiğinde ($L_{r,\lambda}$ değeri θ_r ve ϕ_r 'den bağımsız olduğunda) dağınık spektral yansıma ($\rho_{yansıma,\lambda}$) aşağıda yer aldığı üzere yazılabilir.

$$\rho_{yansıtma,\lambda} = \frac{L_{r,\lambda} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos \theta_r \sin \theta_r d\theta_r d\phi_r}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{i,\lambda}(\theta_i, \phi_i) \cos \theta_i \sin \theta_i d\theta_i d\phi_i} \quad (2.54)$$

Yansıyan yarıküre üzerinden integral alındığında pay da kalan terimin değeri π olacaktır. Böylelikle Eş. (2.54), Eş. (2.55)'de yer aldığı üzere yazılabilir.

$$\rho_{yansıtma,\lambda} = \frac{L_{r,\lambda} \pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{i,\lambda}(\theta_i, \phi_i) \cos \theta_i \sin \theta_i d\theta_i d\phi_i} \quad (2.55)$$

Eş. (2.55) yeniden düzenlendiğinde;

$$L_{r,\lambda} = \frac{\rho_{yansıtma,\lambda}}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{i,\lambda}(\theta_i, \phi_i) \cos \theta_i \sin \theta_i d\theta_i d\phi_i, \quad (Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}) \quad (2.56)$$

nesne ile algılayıcı arasında kalan atmosferik geçirgenlik ($\tau_{atm_ortalama}$) de göz önünde bulundurularak, algılayıcı üzerine gelen gökyüzü ışması ($L_{Gökyüzü,\lambda}$) Eş. (2.57)'de yer aldığı üzere yazılabilir.

$$L_{Gökyüzü,\lambda} = \frac{\rho_{yansıtma,\lambda} \tau_{atm_ortalama}}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{i,\lambda}(\theta_i, \phi_i) \cos \theta_i \sin \theta_i d\theta_i d\phi_i, \quad (2.57)$$

$$(Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$$

Algılayıcı tepkisi katkısı ile Eş. (2.58) yazılabilir.

$$L_{Gökyüzü} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\varphi_\lambda \rho_{yansıtma,\lambda} \tau_{atm,\lambda}}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{i,\lambda}(\theta_i, \phi_i) \cos \theta_i \sin \theta_i d\theta_i d\phi_i d\lambda \quad (2.58)$$

$$(Wm^{-2} sr^{-1})$$

Eş. (2.58)'de yer alan denklem, yazılım içerisinde Eş. (2.59)'da yer aldığı şekilde hesaba katılmaktadır.

$$L_{Gökyüzü} = L_{Ortam}^* \rho_{yansıtma} \tau_{atm_ortalama}, \quad (Wcm^{-2} sr^{-1}) \quad (2.59)$$

$$L_{Ortam}^* = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\phi_{\lambda} \tau_{atm,\lambda}^*}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{i,\lambda}(\theta_i, \phi_i) \cos \theta_i \sin \theta_i d\theta_i d\phi_i d\lambda}{\tau_{atm_ortalama}^*}, \quad (Wcm^{-2}sr^{-1}) \quad (2.60)$$

Burada $L_{i,\lambda}(\theta_i, \phi_i)$ terimi MODTRAN yazılımı kullanılarak hesaplanmaktadır. Yansıyan gökyüzü ışması hesaplanırken,

- Gökyüzünün tüm yarı küre boyunca yaptığı ışma değeri (MODTRAN),
- Algılayıcı tepkiselliği,
- Malzemenin yarı küresel yansıtırlık (hemispherical reflectivity) değeri,
- Benzetim başlangıcındaki atmosferik geçirgenlik değeri (MODTRAN),

gibi parametre değerleri göz önünde bulundurulmaktadır. Bununla birlikte ilgili yaklaşım altında, malzemelerin opak veya Lambert yüzeylerine uymadığı durumlar altında hatalar oluşabilmektedir.

2.3.4.4 Güneş / Ay Işımaları

Güneşten gelen KÖ ışma üzerinde, güneşin ışması önemli bir etken olarak yer almaktadır. Güneşten gelen ışma, MODTRAN yazılımı kullanılarak belirli geometri ve ortam koşulları için hesaplanmaktadır.

2.3.4.5 Güneş / Ay Yansımaları

Güneş / Ay yansıma modeli, benzetimin yapılacağı zamana bağlı olarak Güneş ve / veya Ayın KÖ banttaki yansımalarının benzetilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

$$L_{Güneş/Ay} = L_{Güneş/Ay,dağınık} + L_{Güneş/Ay,aynasal} \quad (2.61)$$

Yansıyan Güneş / Ay ışması dağınık ve aynasal yansımalar olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır.

2.3.4.5.1 Güneş / Ay Dağınık Yansımaya Modeli

Dağınık yansımaya, yansıyan ışımaya gelen ışımaya oranı olarak tanımlanmaktadır. Güneş / Ay sebebiyle oluşan (gelen) spektral ışımaya sabit olduğunda, ışımaya gücü, ışımaya ile katı açının çarpımı ile elde edilebilir. Yüzeğe ait dağınık olarak yansımaya, π yarıküreye üzerinden yansıyan katı açı olmak üzere,

$$\rho_{yansıtma,\lambda} = \frac{L_{r,\lambda}\pi}{L_{i,\lambda}\Omega \cos \theta_i} \quad (2.62)$$

olarak yazılabilir. Böylelikle, yansıyan ışımaya;

$$L_{r,\lambda} = \frac{\rho_{yansıtma,\lambda}}{\pi} L_{i,\lambda} \Omega \cos \theta_i, \quad (Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}) \quad (2.63)$$

olarak yazılabilir. Gelen ışımaya ($L_{i,\lambda}$), Güneş / Ay'a ait ışımaya bileşeni ($L_{Güneş/Ay,\lambda}$

) için yazıldığında ve katı açı yerine $\Omega = \frac{A_{Güneş/Ay}}{R_i^2} \cos \theta_i$ kullanıldığında

denklem;

$$L_{r,\lambda} = \frac{\rho_{yansıtma,\lambda}}{\pi} L_{Güneş/Ay,\lambda} \frac{A_{Güneş/Ay}}{R_i^2} \cos \theta_i, \quad (Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}) \quad (2.64)$$

halini almaktadır. Burada $A_{Güneş/Ay}$ görüntülenen alan (projected area) ve R_i ise güneş ile yansıyan yüzey arasındaki mesafeyi tanımlamaktadır. $f_{s,\lambda}$ gelen ışımaya aynasal olarak yansıyan bölümü olmak üzere, atmosferik geçirgenliğin katkısı da göz önünde bulundurularak eşitlik yeniden düzenlendiğinde, yansımaya yolu üzerindeki atmosferik iletim $\tau_{atm,yansıyan,\lambda}$ olmak üzere;

$$L_{r,\lambda} = \frac{\rho_{yansıtma,\lambda}}{\pi} \tau_{atm,yansıyan,\lambda} L_{Güneş/Ay,\lambda} \frac{A_{Güneş/Ay}}{R_i^2} \tau_{atm,\lambda} \cos \theta_i (1 - f_{s,\lambda}), \quad (2.65)$$

$(Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$

ifadesi elde edilebilmektedir. İlgili KÖ bant üzerindeki ışımaya elde edilebilmesi amacıyla, algılayıcı tepkiselliği de kullanılarak;

$$L_{Güneş/ay,dağınık} = \frac{A_{Güneş/Ay}}{\pi R_i^2} \cos \theta_i \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_\lambda L_{Güneş/ay,\lambda} \rho_{yansıtma,\lambda} \tau_{atm_yansıyan,\lambda} \tau_{atm,\lambda} (1 - f_{s,\lambda}) d\lambda \quad (2.66)$$

$(Wm^{-2}sr^{-1})$

ifadesi yazılabilir. Yazılım kapsamında kullanılan Güneş / Ay dağınık yansıma modeli,

$$L_{doğrudan}^* = \frac{A_{Güneş/Ay}}{\pi R_i^2} \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_\lambda L_{Güneş/ay,\lambda} \tau_{atm_yansıyan}^* \tau_{atm,\lambda} d\lambda}{\tau_{atm_yansıyan}^*}, (Wcm^{-2}sr^{-1}) \quad (2.67)$$

olmak üzere Eş. (2.68)'de yer almaktadır.

$$L_{Güneş/ay,dağınık} = L_{doğrudan}^* \cos \theta_i \rho_{yansıtma} (1 - f_s) \tau_{atm_ortalama}, (Wcm^{-2}sr^{-1}) \quad (2.68)$$

Dağınık yansıyan Güneş / Ay ışması hesaplanırken,

- Güneşten yama yüzeyine gelen ışma,
- Malzemenin aynasal yansıma oranı,
- Algılayıcı tepkiselliği,
- Yama yüzeyine gelen ışmanın normal ile yaptığı başucu açısı,
- Benzetim başlangıcındaki atmosferik geçirgenlik,

gibi parametre değerleri kullanılmaktadır.

2.3.4.5.2 Güneş / Ay Aynasal Yansıma Modeli

Güneş / Ay aynasal yansıma ifadesi Eş. (2.66) ifadesine benzerlik göstermektedir. Yansıtan yüzey üzerine gelen ışma gücü, atmosferik zayıflatma bileşeni de göz önünde bulundurularak,

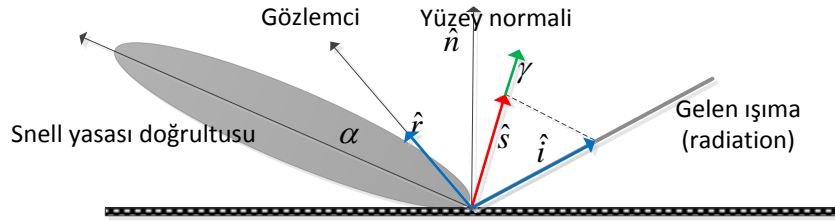
$$E_{i,\lambda} = L_{Güneş/Ay,\lambda} \frac{A_{Güneş/Ay}}{R_i^2} \cos \theta_i \tau_{atm,\lambda}, (Wm^{-2}\mu m^{-1}) \quad (2.69)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Eğer ışma gücünün $\rho_{yansıtma,\lambda} (1 - f_{s,\lambda})$ ile ifade edilen kısmı (Eş. (2.66)) dağınık olarak yansiyorsa, ışmanın $\rho_{yansıtma,\lambda} f_{s,\lambda}$ ile

verilen kısmı aynasal yansıma yapacaktır. Böylelikle aynasal yansıma yapan toplam ışımaya,

$$M_{r,\lambda} = L_{r,\lambda} \pi = L_{Güneş/Ay,\lambda} \frac{A_{Güneş/Ay}}{R_i^2} \cos \theta_i \tau_{atm,\lambda} \rho_{yansıtma,\lambda} f_{s,\lambda}, \quad (Wm^{-2} \mu m^{-1}) \quad (2.70)$$

olarak yazılabilir. Yarı küre içerisindeki algılayıcı konumuna bağlı olarak aynasal yansıma ışınması aynasal lob genişliği ve Snell yasası ile belirlenen yansıyan ışının yönelimine bağlıdır. Şekil 2.16'da aynasal yansıma lob genişliği kavramına ait bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 2.16 Aynasal yansıma lob genişliği

Aynasal yansıma lob genişliği, $f_{sl,\lambda}(\theta_r, \phi_r)$ ifadesi ile denklemde yer almaktadır. Bu parametre yarı küre içerisinde yansıyan ışımının lob genişliğini tanımlamaktadır. İfade Şekil 2.16'da görüleceği üzere Snell yasası yansıması doğrultusunda maksimum değerini almakta ve lob genişliğine bağlı olarak düşüş göstermektedir. Denklemde, enerjinin korunumu gereği normalizasyon faktörü ($N_{s,\lambda}$) bileşeni de yer almaktadır. Aynasal yansıma da ışımaya sadece aynasal bant genişliği ile belirlenen katı açı içerisinde yansımaktadır.

$$2\pi = N_{s,\lambda} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} f_{sl,\lambda}(\theta_r, \phi_r) d\theta_r d\phi_r \quad (2.71)$$

$$N_{s,\lambda} = \frac{2\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} f_{sl,\lambda}(\theta_r, \phi_r) d\theta_r d\phi_r}$$

Böylelikle verilen bir doğrultu için aynasal yansıyan spektral ışımaya Eş. (2.72)'de yer aldığı üzere yazılabilir.

$$M_{r,\lambda}(\theta_r, \phi_r) = L_{r,\lambda}(\theta_r, \phi_r) \pi = L_{Güneş/ay,\lambda} \frac{A_{Güneş/Ay}}{R_i^2} \cos \theta_i \tau_{atm,\lambda} \rho_{yansıtma,\lambda}^* f_{s,\lambda} N_{s,\lambda} f_{sl,\lambda}(\theta_r, \phi_r) \quad (2.72)$$

$$(Wm^{-2} \mu m^{-1})$$

Atmosferik zayıflatma katkısı da göz önünde bulundurularak aynasal yansıyan spektral ışımaya;

$$L_{r,\lambda}(\theta_r, \phi_r) = \frac{1}{\pi} L_{Güneş/ay,\lambda} \frac{A_{Güneş/Ay}}{R_i^2} \cos \theta_i \tau_{i,\lambda} \rho_{yansıtma,\lambda} f_{s,\lambda} N_{s,\lambda} f_{sl,\lambda}(\theta_r, \phi_r) \tau_{r,\lambda} \quad (2.73)$$

$$(Wm^{-2} \mu m^{-1})$$

olarak yazılabilir. Güneş / Ay aynasal yansımaları sebebiyle sensöre ulaşan ışımaya ise,

$$L_{Güneş/ay,aynasal,\lambda}(\theta_r, \phi_r) = \frac{A_{Güneş/Ay}}{\pi R_i^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_\lambda L_{Güneş/ay,\lambda} \rho_{yansıtma,\lambda} \tau_{atm_yansıyan,\lambda}^* \tau_{atm,\lambda} f_{s,\lambda} \cos \theta_i N_{s,\lambda} f_{sl,\lambda}(\theta_r, \phi_r) d\lambda \quad (2.74)$$

$$(Wm^{-2} sr^{-1})$$

olarak yazılabilir. Yazılım kapsamında uyarlanan Güneş / Ay aynasal yansıma ışımaya;

$$L_{doğrudan}^* = \frac{A_{Güneş/Ay}}{\pi R_i^2} \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_\lambda L_{Güneş/ay,\lambda} \tau_{atm,\lambda} \tau_{atm_yansıyan,\lambda}^* d\lambda}{\tau_{atm_yansıyan}^*}, \quad (Wcm^{-2} sr^{-1}) \quad (2.75)$$

olmak üzere Eş. (2.76)'da yer aldığı üzere yazılabilir.

$$L_{Güneş/ay,yayılı} = L_{doğrudan}^* f_{sl}(\theta_r, \phi_r) \rho_{yansıtma} f_s N_s \tau_{atm_ortalama}, \quad (Wcm^{-2} sr^{-1}) \quad (2.76)$$

İlgili ifade dağınık yansıma bileşeninin hesaplanmasında kullanılan parametrelerin yanı sıra malzemenin lob genişliği parametre değerini de kullanılmaktadır.

2.3.4.6 Deniz Yüzeyi Işınması

Deniz yüzeyinin yalın ışınması;

$$L_{deniz}(T, \lambda, R) = L_{atmosfer}(\lambda, R) + \tau_{atmosfer}(\lambda, R)L_{deniz}(T, \lambda, 0) \quad (2.77)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Bağıntı da $L_{deniz}(T, \lambda, 0)$ kaynak ışınması atmosfer içinde yayılarak $L_{deniz}(T, \lambda, R)$ ışınmasına sahip olmaktadır. Tüm deniz boyunca ışınma benzetim başlangıcında hesaplanmakta ve daha sonra yazılım tarafından deniz yüzeyine ait KÖ izin benzetimi amaçlı olarak kullanılmaktadır.

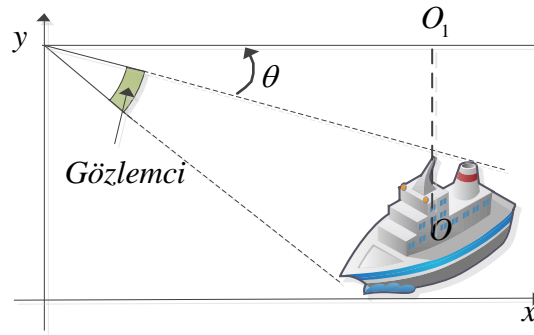
2.3.4.7 Güneş Pırlıtsı (Sunglint)

Güneş pırlıtsı, güneşin deniz yüzeyinden yansıması sebebiyle oluşan pırlıdama etkileridir. Bu etki özellikle deniz yüzeyine paralele yakın açılarda gözlemlenmektedir. Geliştirilen yazılım kapsamında güneş pırlıtsısının hesaplanmasında; gözlemcinin denize bakış açısı ve güneşin şiddeti gibi pırlıtı üzerinde önemi bulunan bileşenlerin katkıları göz önünde bulundurulmaktadır.

2.3.4.8 Lambert Kanunu

Platform ve gözlemcinin birbirlerine göre konumları algılanan ışınmayı etkilemektedir. Örnek olarak; bir platform ile onu görüntüleyen KÖ algılayıcının birbirlerine göre konumları Şekil 2.17'de yer almaktadır. Lambert

yasasına göre her yöne aynı miktarda ışımaya yapan bir kaynağın (Lambert yüzeyi) belirli bir açıda yaptığı ışımaya, aynı kaynağın yüzeye dik durumda yaptığı ışımaya kosinüsü ile orantılıdır [17]. Böyle bir yüzey, hangi açıdan bakılırsa bakılsın, aynı ışınımaya sahiptir. Bu ise ilgili nesnenin her açıdan aynı görünür ışımaya yoğunluğuna sahip olduğu anlamına gelmektedir. Bunun sebebi olarak, belirli bir alandan yayılan enerjinin, sahip olduğu açısının kosinüsü ile azaltılmasıdır.



Şekil 2.17 Platformun algılayıcıya göre konumu

Şekil 2.17’de verilen O_1 noktasında ışımaya yapan bir kaynağın KÖ algılayıcı ulaşan ışımaya E_0 ($\theta=0$) ise, aynı kaynağın O noktasında bulunması durumunda yapacağı ışımaya $E_0 \cos \theta$ değerindedir. KÖ algılayıcı, ışımaya yüzeyine dik konumda ise ($\theta=0$) algılanan ışımaya azami, paralel ise ($\theta=90^\circ$) asgari değerini (0) almaktadır.

2.3.4.9 Deniz Yüzeyi Dalga Modeli

Deniz yüzeyi dalgaları sahne de, köşe noktaları çeşitli yüksekliklerde olan yüzey elemanlarının birleşiminden oluşacak şekilde benzetilmektedir.

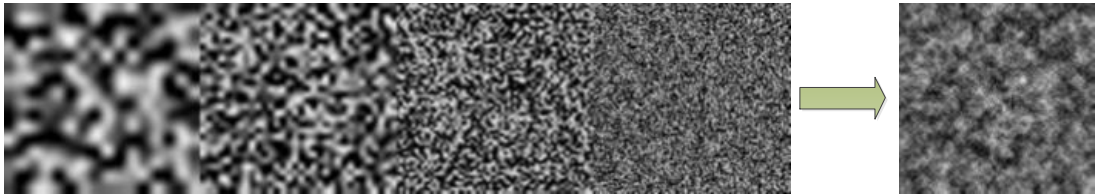
Yüzey elemanlarının yükseklik dağılımlarının belirlenmesinde, gürültü fonksiyonlarının toplanmasına dayanan Perlin Modeli kullanılmaktadır.

Perlin modeli ile deniz yüzeyinin benzetilmesi, uygun şekilde rastgele sayıların elde edilerek, bu sayıların dalga yüksekliklerine atanması ile gerçekleştirilmektedir. Yaklaşım literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Uygun rastgele sayıların, Perlin gürültüsü oluşturma teknikleri ile elde edilmesi sebebiyle yaklaşım Perlin modeli ismini almaktadır. Farklı frekans ve genliklere sahip olarak oluşturulan gürültü fonksiyonlarının toplanması ile deniz yüzeyi parçacıklarının köşe noktalarının yükseklikleri ve zamana göre değişimi elde edilebilmektedir. Gürültü fonksiyonları 3D oluşturulmakta ve iki boyut yüzeyi, üçüncü boyut ise zamanı temsil etmektedir.

Bununla birlikte deniz yüzeyinin modellenmesinde Perlin modeli fiziksel bir yaklaşımda bulunmamaktadır. Bu sebeple, deniz yüzey dalgalarının oluşumunda etkili olan rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü gibi fiziksel etkiler model içerisinde yer almamaktadır. Bununla birlikte model, uygun rastgele sayıların elde edilmesi ile görsel olarak kabul edilebilir bir model ortaya koymakta ve hızlı olması avantajı bulunmaktadır. Bu nedenle Perlin modeli, uygun girdi seti kullanılması ile birlikte hız kaygısının bulunduğu durumlarda kullanılabilir.

$$fraktal_gürültü(x) = \sum_{i=0}^{oktavsayısı-1} \alpha^i gürültü(2^i x) \quad (2.78)$$

Şekil 2.18'de Perlin gürültü modeline ait görselleştirme yer almaktadır. İlgili şeklin sol tarafı farklı oktav seviyelerini, sağ tarafı ise bu oktavların toplamı sonucu oluşan, sahne de kullanılan gürültüyü göstermektedir.



Şekil 2.18 Perlin gürültü modeli

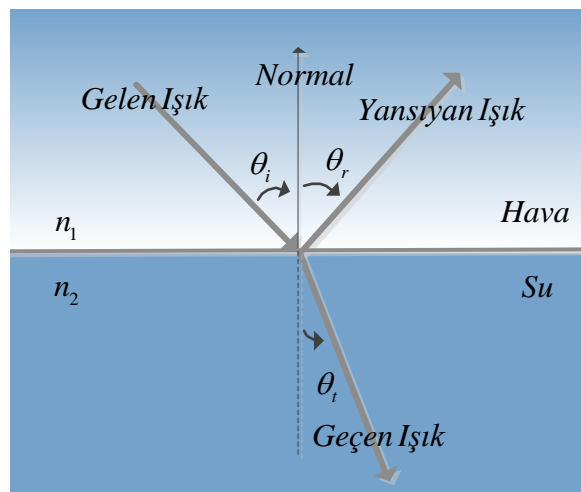
Gürültünün farklı oktav seviyelerinin toplanması ile oluşturuluyor olması sebebiyle benzetimde veya benzetim öncesinde kullanıcı hangi oktav seviyesinde gürültünün benzetileceğini belirleyebilmektedir. Yüksek oktav seviyesi ile oluşturulan deniz yüzeyi modeli daha detaylı bir benzetim sunması ile birlikte oktav seviyesi ile benzetim hızı ters orantılıdır.

2.3.4.10 Su Optiği

Deniz benzetimlerinde suyun ışık ile etkileşimlerinin hesaba katılması, gerçekçi bir benzetim elde etmek açısından önem taşımaktadır. Suyun kendisi ışığı geçirgen olmasına rağmen, havaya nazaran farklı kırılma indeksine sahip olması sebebiyle fotonlar su yüzeyinde yansıma, geçme veya benzeri olgulara maruz kalmaktadırlar. Snell yasası kapsamında θ_i ve θ_t açıları olmak üzere ($\theta_i = \theta_r$ ve $\theta_i = \theta_t$ olduğu varsayımı altında),

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (2.79)$$

eşitliği yazılabilmektedir. Şekil 2.19'da Su \rightleftharpoons Hava sınırı arasında geliş açısına bağlı olarak geçen ve yansıyan ışığa ait geometriler gösterilmektedir.

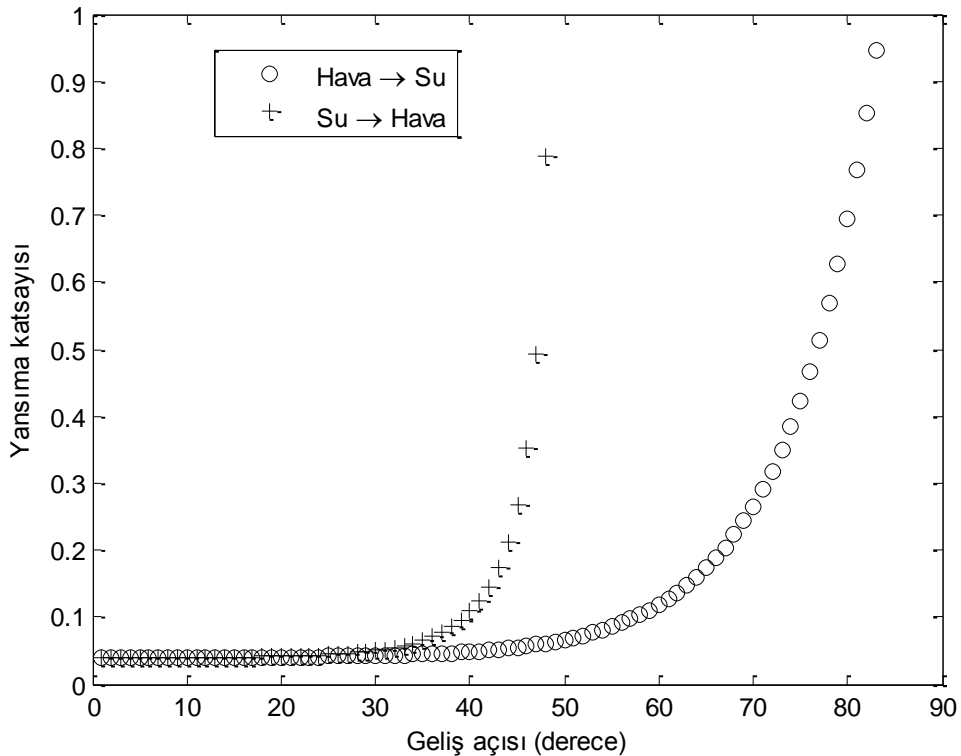


Şekil 2.19 Su-Işık etkileşimi

Snell yasası farklı kırılma indekslerine sahip iki ortam arasında, gelme açısına bağlı olarak geçen ışığın açısını belirleyebilmektedir. Su yüzeyine dik bir şekilde bakıldığında, görsel dalgaboylarında, suyun derinlikleri dahi net bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Ancak yüzey ile gözlemci arasındaki açı paralele (~90 derece) yakın olmaya başladığında yüzey ayna gibi davranmaya başlamaktadır. Su yüzeyinin farklı açılarda farklı görünmesinin temel sebebi budur. Bu olgu, Fresnel denklemleri ile ifade edilmektedir. Fresnel denklemleri yansımaya katsayısını hesaplayabilmektedirler. Yansımaya katsayısı aşağıda ifade edilmektedir.

$$R = \left(\frac{\sin(\theta_i - \theta_t)}{\sin(\theta_i + \theta_t)} \right)^2 + \left(\frac{\tan(\theta_i - \theta_t)}{\tan(\theta_i + \theta_t)} \right)^2 \quad (2.80)$$

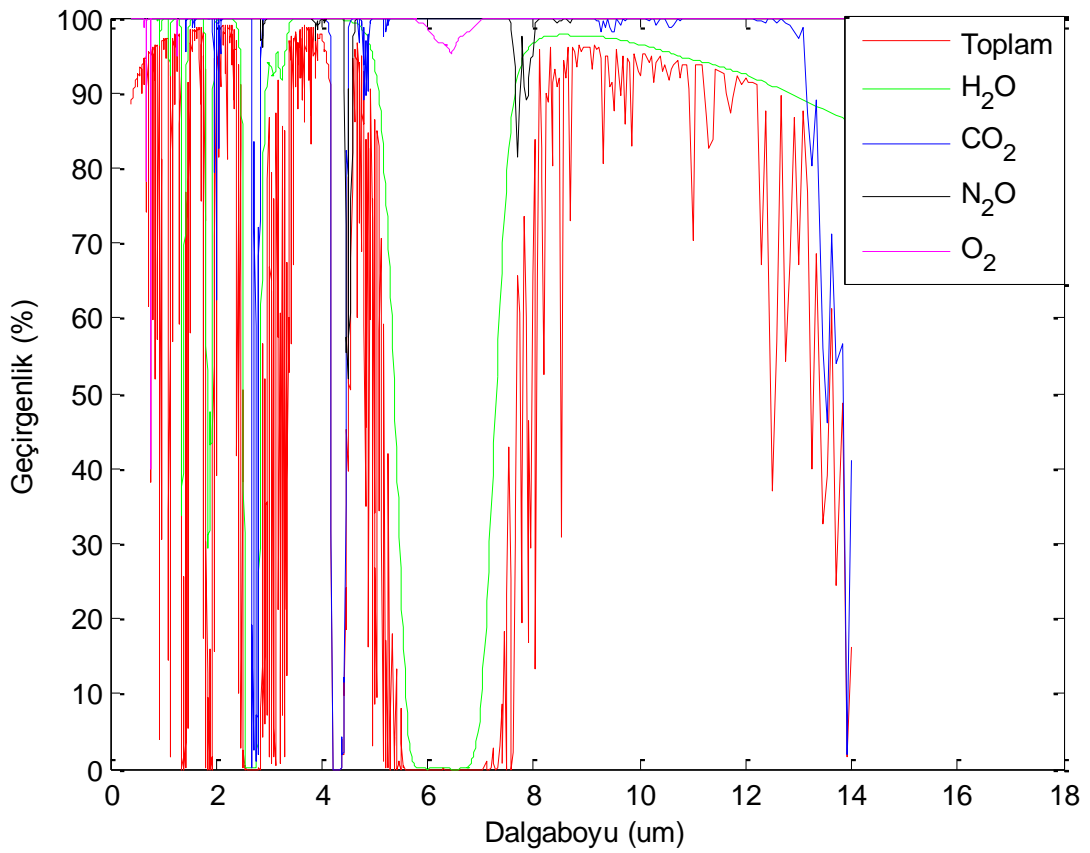
Şekil 2.20'de Su \rightleftharpoons Hava sınırı arasında geliş açısına bağlı olarak Fresnel yansımaya katsayısının değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.20 Fresnel yansımaya katsayısının değişimi; *Hava* → *Su* , *Su* → *Hava* sınırı

2.3.4.11 Atmosfer

Platform tarafından yayınlanan ışımının belirli bir atmosferik yol içerisinde algılayıcı sisteme ulaştığı yol boyunca atmosfer, ışımının şiddetini dalgaboyuna bağlı olarak azaltmaktadır. Işıma, algılayıcıya ulaşmaya kadar atmosfer içerisinde soğurma, yansıma, saçılım ve optik türbülans gibi etkilere maruz kalmaktadır [18]. Şekil 2.21'de 1 km mesafe için atmosferik geçirgenliğe ait bir grafik gösterilmektedir.



Şekil 2.21 Atmosferik geçirgenliğin gösterimi

Atmosferin KÖ ışıma üzerinde temel olarak iki önemli etkisi bulunmaktadır.

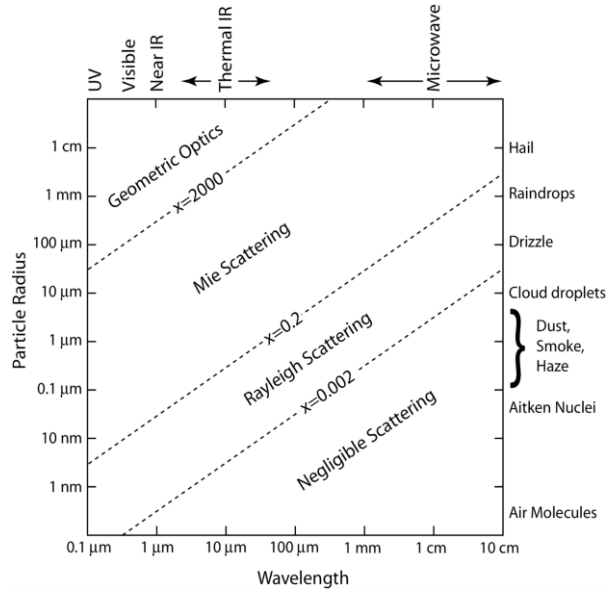
- Atmosferik iletim kayıpları
- Atmosferik yol ışıması

2.3.4.11.1 Atmosferik İletim Kayıpları

Atmosfer kabaca; çeşitli gaz molekülleri ve aerosollerden oluşmaktadır. Bu gaz molekülleri ve aerosoller, atmosferik iletimi dalga boyuna bağlı olarak farklı oranlarda etkilemektedirler.

Aerosoller, boyutlarının KÖ dalga boylarına yakın olmaları sebebiyle KÖ spektrumdaki yayılımı uzak mesafeler için önemli oranlarda etkilemektedirler. Özellikle yer yüzeyine yakın bölgelerde gaz molekülleri ve aerosollerin yoğunluklarının artması sebebiyle atmosferik iletim kayıplarında daha da etkili olabilmektedirler.

Şekil 2.22'de aerosollerin boyutlarına bağlı olarak etkili oldukları dalgaboyları ve saçılma türlerine ait bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 2.22 Aerosollerin boyutu & Dalgaboyu & Saçılma türleri

Atmosferin KÖ spektrumun belirli bölgelerinin kullanımını sınırlaması, KÖ görüntülemeye atmosferik iletim pencerelerinin ($0,25-2\mu m$, $3-5\mu m$, $8-12\mu m$ gibi) kullanımına yol açmıştır [19]. KÖ spektrumun $3-5\mu m$ ve $8-12\mu m$ atmosferik iletim pencereleri dışında kalan bölgelerinde

karbondioksit (CO₂) ve su buharının (H₂O) neden olduğu soğurma ve saçılımdan dolayı iletimdeki zayıflatma oldukça yüksektir.

Şekil 2.21’de görüldüğü üzere atmosferik iletim katsayısını yoğun olarak etkileyen başlıca gazlar oksijen (O₂), su buharı, karbondioksit ve nitroz oksit (N₂O) gazlarıdır. Bununla birlikte atmosferde bulunan azot (N₂), metan (CH₄), karbon monoksit (CO), argon (Ar) ve neon (Ne) gibi gazlar da asgari düzeyde iletimi zayıflatmaktadırlar.

Atmosferik iletimi belirleyen zayıflatma katsayısı $\alpha(\lambda)$; gaz molekülleri ($a_{mol}(\lambda)$) ve aerosollara ait soğurma katsayısı ($a_{aer}(\lambda)$) ile saçılım katsayısına $\gamma(\lambda)$ bağlı olarak Eş. (2.81) ‘deki gibi yazılabilmektedir.

$$\alpha(\lambda) = a_{mol}(\lambda) + \gamma_{mol}(\lambda) + a_{aer}(\lambda) + \gamma_{aer}(\lambda) \quad (2.81)$$

Çizelge 2.5 Atmosferde bulunan gaz moleküllerine ait değerler

Gaz Molekülü	Hacimsel Oran (%)	Parça sayısı (Milyon)
Azot (N ₂)	78,084	-
Oksijen (O ₂)	20,946	-
Argon (Ar)	0,934	-
Neon (Ne)	0,001818	18,18
Helyum (He)	5,24 x 10 ⁻⁴	5,24
Kripton (Kr)	1,14 x 10 ⁻⁴	1,14
Ksenon (Xe)	-	0,087
Hidrojen (H ₂)	-	0,5
Metan (CH ₄)	-	1,6
Nitroz oksit (N ₂ O)	-	0,5

Atmosferde yer alan başlıca gaz molekülleri ve özellikleri Çizelge 2.5’de verilmektedir.

2.3.4.11.2 Atmosferik Yol Işıması ve İletim Modeli

MODTRAN, kullanıcının belirlediği farklı atmosferik koşullar altında atmosferik geçirgenlik (iletim), ışınım, saçılma gibi birçok etkiyi modellemek amacıyla kullanılan ticari bir yazılım paketidir. MODTRAN yazılımı kullanıcı tarafından sağlanan parametre değerlerine bağlı olarak atmosferik geçirgenlik, ortamdaki atmosferik etkiler sonrası oluşan güneş ışınımı ve saçılma bağlı ışınım değerlerini hesaplayabilmektedir. Yazılım; hesaplamalarda, sürekli moleküler soğurma, moleküler saçılma, aerosol kaynaklı soğurma ve saçılma gibi zayıflatma bileşenlerini göz önünde bulundurmaktadır [20].

MODTRAN 0 – 50000 cm^{-1} frekans aralığında ya da 0.2 μm 'den daha büyük dalga boylarında çalışabilmektedir. MODTRAN yazılımındaki en yüksek spektral çözünürlük ise 1 cm^{-1} olarak belirtilmektedir (MODTRAN 5. sürüm için).

Yol uzunluğu iki nokta arasındaki kuş uçuşu uzaklığı göstermesine rağmen gerçekte fotonlar tarafından atmosferde kat edilen yol, atmosferin kırılma etkisinden dolayı, daha uzundur. Uzun mesafeler için bu katkı daha da fazla önem taşır. MODTRAN programında kullanılan geometri paketinin, atmosfer kırınımından ve dünya eğiminden kaynaklanan etkiler göz önünde bulundurularak fotonların gerçekte kat ettiği yolu hesaplayabildiği ifade edilmektedir.

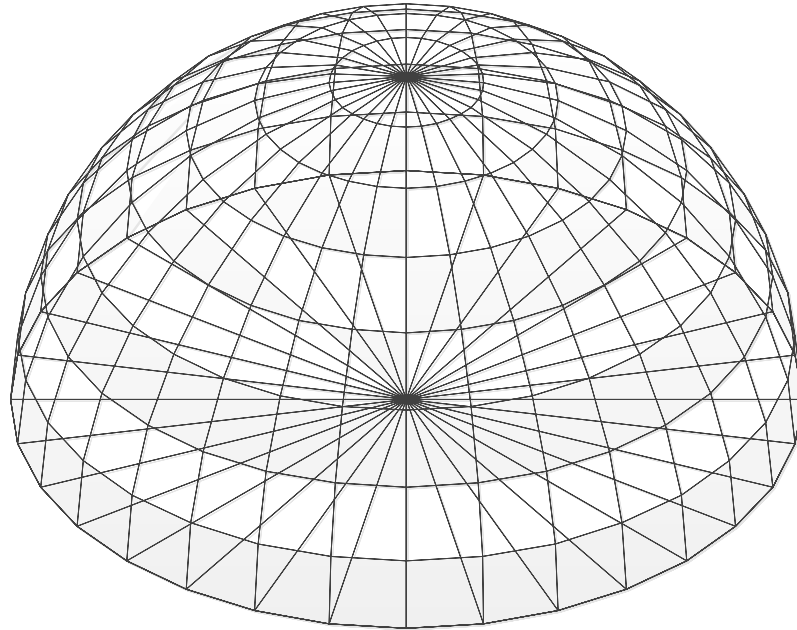
MODTRAN ile gerçekleştirilen atmosferik iletim katsayısı hesaplamalarında elde edilen sonuçlara ait hata oranının, düşey eksenle yapılan açıya bağlı olarak 3–5 μm bandı için yaklaşık % 5, 8–12 μm bandında ise yaklaşık % 20 değerleri civarında olabileceği belirtilmektedir [21].

MODTRAN yazılımında meteorolojik ölçümler sonrası elde edilen parametre değerleri doğrudan kullanılabilmesi gibi hazır jenerik modellerde kullanılabilir. Örneğin, kullanıcı yazılıma kendi ölçtüğü basınç ve sıcaklık değerlerini girip, ihtiyaç duyulan diğer parametre değerlerini jenerik modeller üzerinden atayabilmektedir. Bu kabiliyet özellikle eksik veri setlerinin kullanımında büyük kolaylık sağlamaktadır.

Tez kapsamında geliştirilen yazılım, belirli mesafelerdeki atmosferik iletim, Güneş / Ay ışınması ve saçılma bağlı ışınma değerlerinin hesaplanmasında MODTRAN yazılımını kullanmaktadır.

2.3.4.12 Arkaplan Modeli

Arkaplanı oluşturan bileşenler; Güneş ve Gökyüzü & Arkaplan, olarak gösterilebilir. Bu bileşenler yazılımda, Şekil 2.23'de gösterim amaçlı olarak verilen bir yapı dâhilinde görselleştirilmekte / benzetilmektedir.



Şekil 2.23 Arkaplan geometrisi

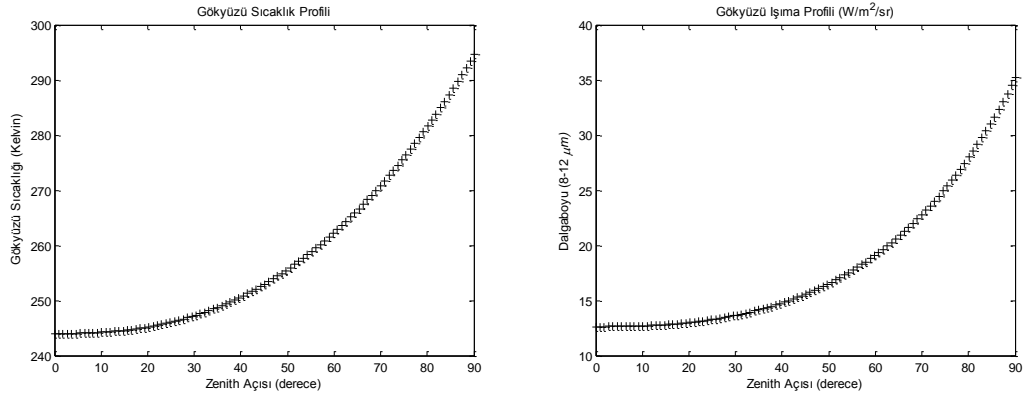
2.3.4.12.1 Güneş Modeli

Güneşin konumuna bağlı olarak deniz yüzeyi / platform üzerinden algılanan ışınma değişebilmektedir. Güneşin platforma bağlı olarak konumu ise platformun yeryüzündeki konumu (enlem ve boylam gibi) ve zamana (yıl, ay, gün ve dakika gibi) bağlı olarak değişebilmektedir. Yazılım, güneşin

günün zamanına ve platformun dünya üzerindeki konumuna (enlem ve boylam gibi) bağılı olarak oluşturduğu güneş ışımalarını MODTRAN yazılımı yardımıyla hesaplamaktadır.

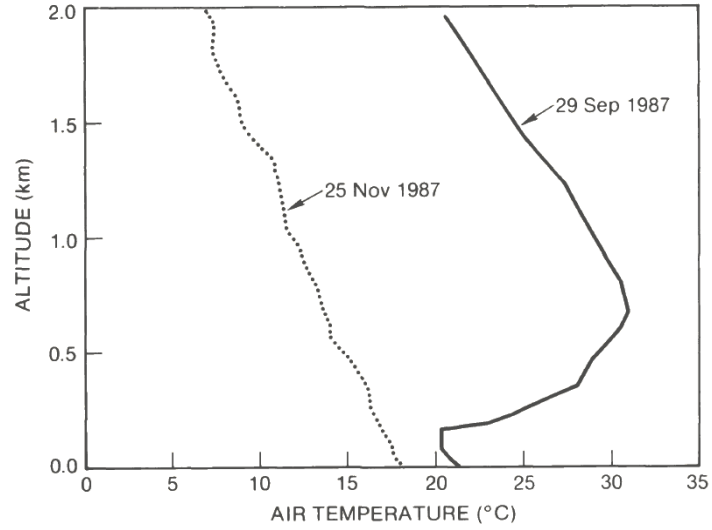
2.3.4.12.2 Gökyüzü & Arkaplan Modeli

Gökyüzü & Arkaplan ışımaları değerlerinin hesaplanmasında Şekil 2.24'de sonuçları yer alan bir çalışmadan [22] yararlanılmaktadır. Şekil 2.24 içerisinde ilgili çalışma dâhilinde oluşturulan model tarafından başucu açısı ve gökyüzü sıcaklığına bağılı olarak üretilen gökyüzü sıcaklığı ile bu sıcaklıklar kullanılarak elde edilmiş belirli dalgaboyundaki ışımalar gösterilmektedir.



Şekil 2.24 Çalışma kapsamında kullanılan model

Şekil 2.25'de ise bir teknik rapor dâhilinde yer alan, farklı tarihlerde ölçümü gerçekleştirilmiş, deniz üstü ufuk çizgisinden itibaren sıcaklık değişimi gösterilmektedir [23].



Şekil 2.25 Yüksekliğe bağlı olarak hava sıcaklığı ölçümleri

İlgili şekil içerisinde yer alan ölçüm sonuçları ile tez çalışması kapsamında kullanılan gökyüzü modeli dâhilinde yer alan model karşılaştırılmış ve uyumlu oldukları gözlenmiştir. Gökyüzünün, bir senaryo dâhilinde, elde edilen başucu açısı & sıcaklık ve başucu açısı & ışımaya bağlı olarak değerleri Şekil 2.24'de verilmektedir. Senaryo dâhilinde görselleştirilmiş gökyüzü modeline ait 2D gösterim ise Şekil 2.26'de verilmektedir.



Şekil 2.26 Gökyüzü & Arkaplan modeli

Geliştirilen yazılım kapsamında farklı başucu açılarında hesaplanan gökyüzü ışımları bir küp-haritası (Cubemap) yardımıyla gerçek zamanlı olarak benzetilebilmektedir.

2.3.4.13 Arazi Modeli

Tez kapsamında geliştirilen arazi modeli SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verilerini kullanmaktadır.

2.3.4.13.1 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)

SRTM (Space Radar Topography Mission) NASA tarafından yaklaşık 60° kuzey ve güney enlemleri arasında kalan kara parçalarının sayısal yükseklik modelini elde etmek amacıyla gerçekleştirilmiş bir projedir [24]. Bu amaçla geliştirilen uzay mekiği 2000 yılı Şubat ayında uzaya fırlatılmış ve yapay açıklıklı radar (SAR) yöntemi ile 11 gün boyunca veri toplamıştır. Bu yöntemde yeryüzüne mikrodalga sinyaller gönderilerek veri toplanması hedeflenmiştir. SRTM uzay mekiğinde 60 m açıklıkta monte edilmiş olan ikinci alıcı (anten) ile yeryüzüne ait yükseklik bilgileri elde edilmiştir.

CGIAR-CSI (Consultative Group for International Agriculture Research Consortium for Spatial Information) tarafından Dünya'nın tamamı için işlenmiş 90 metre çözünürlüğündeki SRTM sayısal yükseklik modeli verisi derlenmiş ve ücretsiz olarak kullanıma açılmıştır.

Literatürde SRTM verilerinin doğruluklarının belirlenmesine yönelik olarak yapılmış birçok çalışma yer almaktadır. Literatürde, SRTM verilerinin düşey ve yatay mutlak konum doğruluğunun % 90 güvenle sırasıyla 16 m ve 20 m hata değerlerinin altında olduğu belirtilmektedir [25]. SRTM veri seti üzerinde gerçekleştirilen bazı çalışmalarda ise mutlak ortalama düşey hatanın 4.07 m ile 7.58 m aralığında olduğunu, web sitesinde SRTM verileri için belirtilen standart düşey doğruluk değeri olan 16 m'den daha iyi doğruluk değerlerine ulaştıkları belirtilmektedir. SRTM ile 1/25000 ölçekli topografik

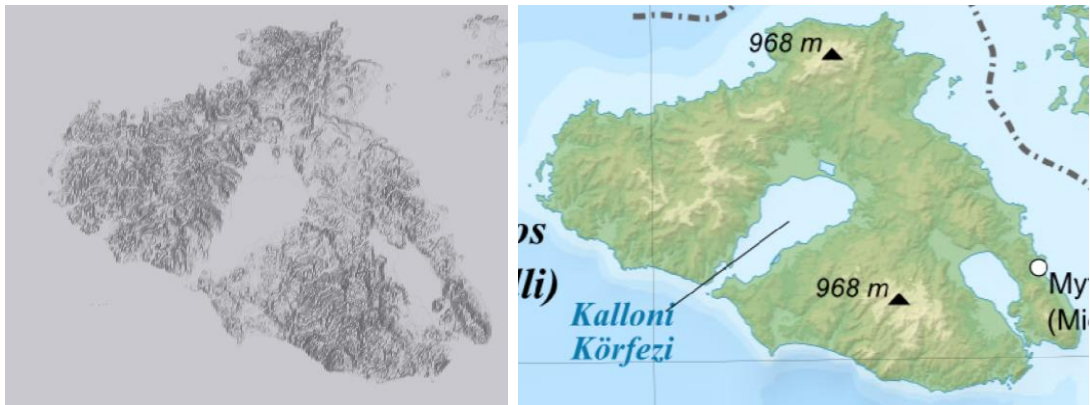
haritadan elde edilen topografik veriler karşılaştırılmış ve her iki verinin arazi ortalama eğimi açısından % 7 oranında, yükselti sınıfları açısından karşılaştırıldığında ise yaklaşık % 3 oranında alansal farklılıkları olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

SRTM verileri kullanılarak arazinin eğim ve yükseklik gibi topoğrafik özelliklerine ait bilgiler, SRTM verilerinin işlenmesiyle elde edilebilen sayısal modeller üzerinden sağlanabilmektedir.

Bu kapsamda; SRTM verilerinin yüksek hassasiyetin gerekmediği durumlar için çok geniş bir alandaki yükseklik bilgilerinin tespitinde kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Tez çalışması kapsamında, CIAT-CSI web sitesinden [24] elde edilen, 90 metre çözünürlüğündeki SRTM verileri kullanılmıştır.

2.3.4.13.2 SRTM Verilerinin Hazırlanması

SRTM verilerinin tez kapsamında geliştirilen yazılım kapsamında kullanılabilmesi amaçlı olarak, CIAT-CSI web sitesinden [24] istenilen çalışma alanına ait elde edilen yükseklik verileri yüksek çözünürlükte (6000 x 6000 piksel gibi) düzenlenerek uygun formatta kaydedilmiştir. Daha sonra bu sayısal yükseklik modeli verisi 3dsMax yazılımına aktarılarak 3D geometri dosyası oluşturulmuştur.



Şekil 2.27 Midilli adasına ait 3D geometri ve topografik harita karşılaştırılması

Şekil 2.27’de 3dsMax yazılımı yardımıyla SRTM verileri kullanılarak oluşturulmuş Midilli adasına ait 3D geometri ve midilli adasının topografik haritası gösterilmektedir.

2.4 Görüntü Bozulmaları

Bir görüntüleme sisteminde görüntü bulanması ve gürültü, görüntüde bozulmalara sebep olmaktadır. Bu görüntü bozulmalarının oluşturulan KÖ Sahne imgeleri içerisinde yer alması, benzetilen sentetik imgenin doğruluğunun / benzerliğinin artırılması kapsamında büyük önem taşımaktadır.

Görüntüde bulanma sebebiyle bir noktasal ışık kaynağı, ideal koşullar altında yine noktasal olarak algılanması gerekirken, görüntüleme sistemi tarafından belirli bir genişliği olan bir benek (blur spot) olarak algılanabilmektedir. Bu beneğin genişliği görüntüleme biriminin içerdiği optik sistem, algılayıcı ve algılayıcı sonrası elektronik birimlerin karakteristiklerine ve sistemin çalıştığı atmosferik koşullara bağlı olarak değişebilmektedir [26]. Görüntüde bulanmayı belirleyen net modülasyon transfer fonksiyonu (MTF), görüntüleme sisteminin kayma değişmesiz (shift invariant) ve izoplanatik (isoplanatic) olduğu kabul edildiğinde başlıca; atmosfer, optik sistem ve algılayıcı MTF’lerin çarpımıdır.

Bir görüntüleme sistemine ulaşan görüntünün bulanmasında etkili olan dış bileşenler (atmosfer) ve görüntüleme sistemine ait alt bileşenlere ait akış şeması kabaca, Şekil 2.28’de gösterilmektedir.



Şekil 2.28 Algılayıcı tarafından algılanan görüntüyü etkileyen unsurlar

2.4.1 Atmosferik Bozulma

Görüntüleme sistemlerinde özellikle uzak mesafelerden algılanan görüntülerde sınırlayıcı etken atmosfer koşullarıdır. Atmosfer, optik yol boyunca dalga yüzeyini bozunuma uğratarak özellikle uzak mesafelerden algılanan görüntülerin bulanık veya dans ediyor gibi görünmesine sebep olabilmektedir [26]. Atmosferden kaynaklanan görüntü bulanmaları, optik türbülans ve ortamdaki parçacıkların saçılma ve soğurulma etkileri sebebiyle oluşmaktadır.

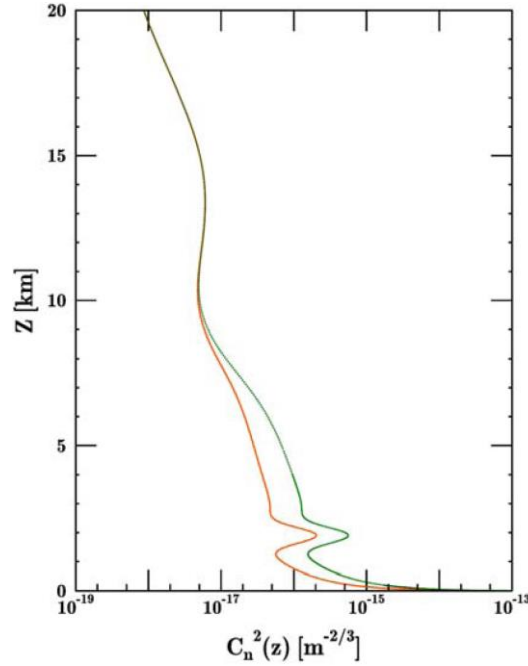
2.4.1.1 Optik Türbülans

Optik türbülans, ortama ait kırılma indeksi değişimleri dolayısıyla optik yol boyunca ilerleyen dalga cephesinin bozulmasına sebep olan etki olarak tanımlanmaktadır [27].

Optik türbülans atmosferik kırılma indeksinin atmosfer üzerinde rasgele değişen hava basıncı ve sıcaklığın etkisiyle değişiminden dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu değişimler ışık hüzmesinin bir noktadan diğer bir noktaya ilerlerken alıcıya olan varış açısının farklı açılarda oluşması ile sonuçlanmaktadır. Optik türbülans nedeniyle genel olarak görüntü üzerinde meydana gelen etkiler görüntünün dans etmesi, bozulması ve / veya bulanıklaşmasıdır. Bir nesne optik türbülans etkilerinin yüksek olduğu atmosfer ortamında görüntülendiğinde görüntü içerisinde yer alan nesneye ait keskin kenarlar dalgalı olarak görüntülenmektedir [28]. Ayrıca türbülans görüntü içerisindeki detayların kaybolmasına yol açmakta ve buna bağlı olarak görüntünün bulanıklaşmasına sebep olmaktadır [29].

Literatürde, optik türbülansın benzetimi amaçlı yaklaşımlar bulunmaktadır [30]. Bu yaklaşımlarda kırılma indeksi değişimlerini hesaba katmak için kırılma indeksi yapı parametresi (C_n^2) kullanılmaktadır. C_n^2 parametresi türbülansın miktarını nitelemektedir. C_n^2 parametresi uygun düzenekler kullanılarak dış ortamdan optik sonda, balon gibi birçok yöntemle ölçülebilmese rağmen atmosferin düzensiz bir yapıda olması ve anlık

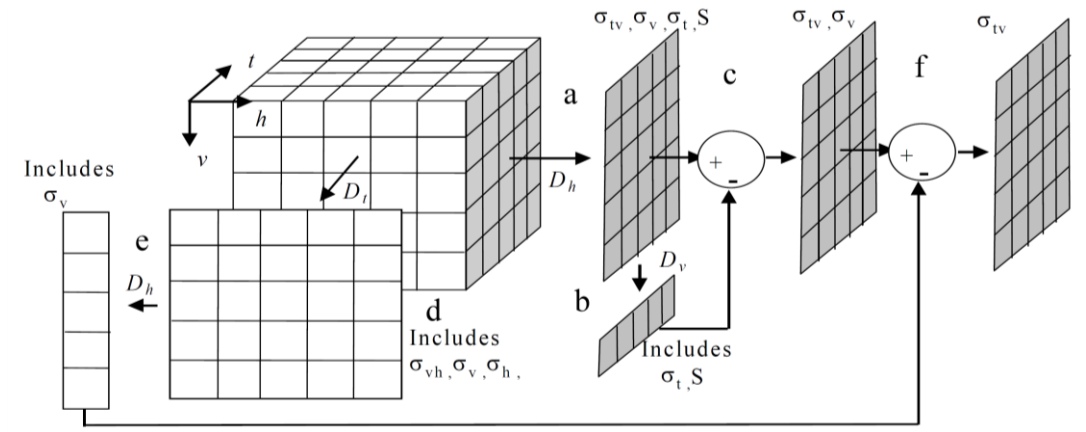
olarak değişim göstermesi sebebiyle; ölçüm sonuçları sadece anlık sorulara cevap verebilmektedirler. Bu yüzden bu parametrenin etkilendiği belirli değişkenlerin sayısallaştırıldığı yaklaşımların kullanılması daha doğru olmaktadır. Genel olarak C_n^2 , serbest atmosferik dikey yolda üstel bir düşüş göstermektedir. Dikey veya belirli açılı bir yol için C_n^2 sabit olmadığından C_n^2 'yi tanımlamayı sağlayan ve dikey yol boyunca değişen fonksiyonlar oluşturulmuştur. C_n^2 parametresi yerden yükseklik, kara veya deniz yüzeyi ile atmosfer arasındaki sıcaklık farkı, güneşin konumu gibi birçok değişkene bağlı olarak değişebilmektedir. Değeri, atmosferik etkinliğin yüksek olduğu güçlü türbülans durumlarında yaklaşık olarak $10^{-12} \text{ m}^{-2/3}$ ve açık hava koşullarında ise $10^{-16} \text{ m}^{-2/3}$ olmaktadır. Şekil 2.29'da belirli yüksekliklerdeki C_n^2 değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.29 Belirli bir bölgedeki C_n^2 değerleri

2.4.2 Gürültü

Görüntüde bozulmaların hesaplanmasında bulanmanın yanısıra, görüntüleme bileşenine bağlı olarak gürültü bileşeninin de hesaba katılması gerekmektedir. Görüntü de meydana gelen gürültü algılayıcı öncesi elektronik, optik vb. bileşenlere bağlıdır [29]. Şekil 2.30'da 3D gürültü modeli ve bileşenlerine ait bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 2.30 3D gürültü modeli

Çizelge 2.6 3D gürültü modeli için parametre isim ve tanımlamaları

Parametre	Tanımlama
σ_{ZDY}	Rastsal 3D gürültü (NETD)
σ_{DY}	Sabit zamanda uzamsal gürültü/ Sabit desen gürültüsü (FPN)
σ_{ZY}	Sütunlardaki ortalamaların zamanla değişen oynamaları (yağmur)
σ_{ZD}	Satırdaki ortalamaların zamanla değişen oynamaları
σ_D	Satırdaki ortalamaların sabit zamanda oynamaları
σ_Y	Sütundaki ortalamaların sabit zamanda oynamaları
σ_Z	Zamanla değişen oynamalar (titreşim)
S	Toplam ortalama

Çizelge 2.6'da 3D gürültü modeline ait bileşenler ve tanımlamaları yer almaktadır.

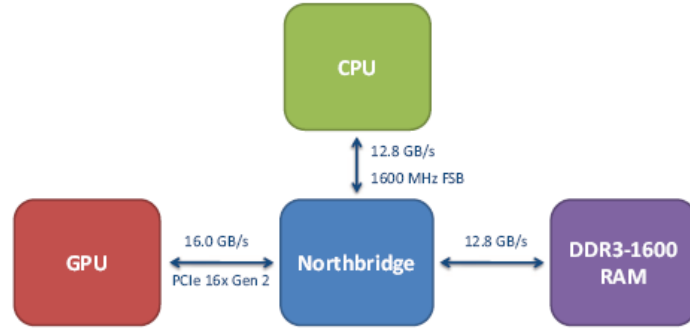
2.5 Grafik Kartı Üzerinde Paralel Veri İşleme

Paralel bilgisayar kavramı, bu güne kadar vektör makineler veya çok sayıda yüksek performanslı bilgisayarların bir araya getirilmesiyle oluşan bilgisayar kümeleri için kullanılmıştır. Özellikle son yıllarda kişisel bilgisayarlar üzerinde paralel veri işleme kavramı gelişmeye başlamıştır. Bu sistemler, kişisel bilgisayarların merkezi işlemci birimleri yerine grafik kartı işlemci birimlerini (GPU, Graphical Processing Unit) kullanmaktadırlar. Yüksek paralel veri işleme kapasitesine sahip bu sistemler, kullanıcıların doğrudan grafik kart üzerinde hesaplama yapabilmelerini imkân kılan uygun bir yapı olmadığından, uzun yıllar sadece grafik kartı üreticilerinin yayınladığı sürücüler üzerinden grafik üretmek için kullanılmıştır. Günümüzde GPU üreticilerinin son kullanıcıları da GİB üzerinde işlem yapmaya zorlamaları ile birlikte GPU; yüksek işlem kapasitesine sahip, paralel, aynı anda birden fazla iş işleyebilen, çok çekirdekli bir işlemci haline gelmişlerdir. Çizelge 2.7'de örnek olarak merkezi işlemci birimi (CPU, Central Processing Unit) ve GPU işlemcilerinin işlem hızlarının gösterilmesi amacıyla bir tablo verilmiştir. Tablo da GPU işlemcilerinin CPU işlemcilerine nazaran çok daha yüksek işlem hızı vaat ettikleri açıkça görülmektedir.

Çizelge 2.7 İşlem hızı (GFLOPS, floating point operations per second)

CPU		GPU	
Intel Pentium 4 3.2 GHz	6	NVIDIA GeForce FX 5900	20
Intel Core 2 X6800	23	ATI Radeon X1900	426
Intel Core 4 Quad QX6700	43	NVIDIA GeForce 8800 Ultra	576
Intel Core i7-965	51	NVIDIA GeForce GTX 280	933

Bilgisayar bileşenleri arasında yer alan GPU \rightleftarrows CPU ve / veya CPU \rightleftarrows RAM (Random Access Memory) bileşenleri, günümüzde farklı mimariler üzerinde çalışılmaya başlanmış olmasına rağmen, çoğunlukla birbirlerine doğrudan veri aktarımı sağlamamaktadırlar. Bu bileşenlerin birbirleri arasındaki veri aktarımları anakart üzerinde yer alan kuzey köprüsü (North Bridge) tarafından sağlanmaktadır. Kuzey köprüsü ise bileşenler arasındaki veri aktarımının sağlanması adına PCIe bağlantısını kullanmaktadır. Bu sebeple bu bileşenler arasında yer alan veri aktarımının belirli sınırları bulunmaktadır. Şekil 2.31’de GPU \rightleftarrows CPU \rightleftarrows RAM veri aktarımına ait bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 2.31 GPU \rightleftarrows CPU \rightleftarrows RAM veri aktarımı yolları / hızları gösterimi

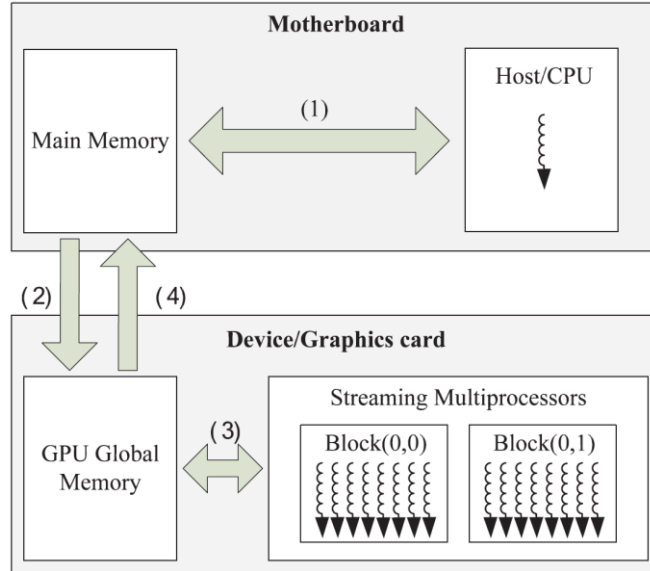
GPU üzerinde veri işleme de, GPU \rightleftarrows CPU veri aktarımı gerçekleşmesi planlanan algoritmaya bağlı olarak önem taşıyabilmektedir. GPU işlemcilerin işlem süresi bakımından artıları imge boyutları büyüdükçe ortaya çıkmaya başlamaktadır. Çizelge 2.8’de CPU ile Sistem RAM’i, GPU ile Video RAM’i ve Sistem RAM ile Video RAM arasındaki veri erişim hızları yer almaktadır.

Çizelge 2.8 Hafıza erişim hızları (GB/s)

CPU ↔ Sistem RAM		GPU ↔ Video RAM	
Intel Pentium 4 3.2 GHz	5.96	NVIDIA GeForce FX 5900	25.3
Intel Core i7-965	25.5	NVIDIA GeForce GTX 280	141.7
Sistem RAM ↔ Video RAM			
PCI Express 2.0		16	
PCI express 3.0		32	

*1 GB/s = 10.2 Mbyte / milisaniye

Şekil 2.32’de bir anakart içerisinde yer alan CPU ↔ RAM ↔ GPU bileşenleri arasındaki veri aktarımları detaylı olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.32 CPU ↔ RAM ↔ GPU veri aktarımı gösterimi

2.5.1 NPP Kütüphanesi

NPP™ (NVIDIA Performance Primitives) kütüphanesi, NVIDIA® firması tarafından görüntü ve sinyal işleme uygulamalarında kullanılması amacıyla

geliştirilmiş, optimize birçok yöntemi içeren bir GPU kütüphanesidir [31]. Kütüphane, bünyesinde kullanıcı tarafından herhangi bir eniyileme (optimizasyon) ihtiyacı duymadan doğrudan GPU üzerinde yer alan çekirdekleri paralel olarak koşturulabilen yöntemler barındırmaktadır.

2.5.2 CUDA Kütüphanesi

CUDA™ (Compute Unified Device Architecture) kütüphanesi NVIDIA® firması tarafından grafik kartı üzerinde paralel veri işlemenin sağlanabilmesi amacıyla geliştirilmiş, optimize birçok yöntem içeren bir GPU kütüphanesidir [32]. CUDA™, NVIDIA® firması üretimi grafik kartlar üzerinde paralel hesaplama yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. CUDA™; C ve Fortran gibi dilleri, belirli ek komut seti ve kısıtlamalarla desteklemektedir. Ayrıca CUDA™, DirectX ve OpenGL gibi yaygın grafik kütüphaneleri ile ortak kullanılabileceği yapıları da (interoperability) beraberinde sunmaktadır.

Günümüzde CPU üzerinde yer alan en yüksek iş parçacığı (thread) sayısına (16) nazaran GPU üzerinde yer alan çekirdek (CUDA cores) sayısı (3072) çok daha fazladır. Paralel olarak gerçekleştirilebilen hesaplamalarda, hesaplamanın kaç tane birim tarafından gerçekleştirildiği ve kaç döngü (cycle) süresinde tamamlandığı önemlidir. GPU üzerinde yer alan çekirdek sayısının yüksek olması, paralelliği yüksek hesaplamaların çok daha hızlı gerçekleştirilebilmesi ile sonuçlanmaktadır. CUDA™ kütüphanesi özellikle; C yazılım diline benzer kullanım rutinlerine sahip olması, gölgelendirici (HLSL, GLSL ve CG gibi) tabanlı oluşturulan yazılımlara göre kolay okunabilir / anlaşılabilir olması, geliştirme sürelerinin kısa olması, hazır rutinler bulundurması ve benzer performans değerlerine sahip olması sebebiyle tercih edilmektedir [33].

CUDA™ destekleyen grafik işlem birimleri, çoğunlukla 8'er çekirdeğe sahip çok çekirdekli birden fazla işlemcinin bir araya gelmesiyle oluşur. Çekirdeklerin 32KB'lik saklayıcıları dışında 16KB'lik çok hızlı çalışan ve sadece blok içerisindeki çekirdeklerin erişebileceği bir paylaşılan bellek ve bir de aygıt belleğine sahiptir. Aygıt belleği üzerinde genel bellek, değişmez

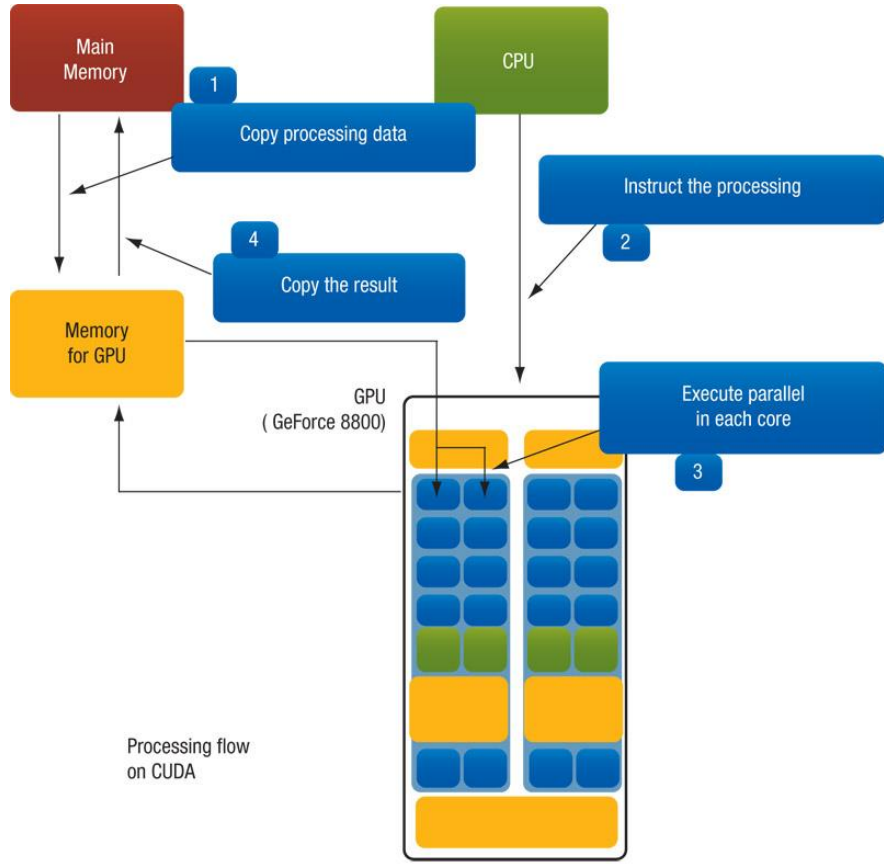
bellek, yerel bellek ve doku belleği alanları bulunur. Aygıt belleği genel olarak yavaş çalışmakla birlikte, önbelleğe sahip olan değişmez bellek diğer alanlara göre daha yüksek bir hıza sahiptir.

2.5.3 Bellek Kullanımının İyileştirilmesi

Bilgisayar belleğinden grafik kartı belleğine aktarılan veriler, aygıt belleği üzerinde bulunan genel bellekte saklanır. Yürütülen bütün hesaplamalar bu belleğe erişebilirler ancak hem genel belleğin yavaş çalışması, hem de birçok (binlerce) işlemin aynı anda aynı bellek gözlerine ulaşmaya çalışmasından dolayı oluşan yoğun trafik sebebiyle bellek kullanımında bir darboğaz oluşabilmektedir. Bu durumda; darboğaz, paralelleştirmeden istenen verimin alınmasını engelleyebilmektedir.

Şekil 2.33'de GPU üzerinde veri işleme adına bir bilgisayar üzerinde gerçekleştirilen işlemler sırasıyla gösterilmektedir. Bu işlemler sırasıyla;

1. Ana Hafıza (RAM, Random Access Memory) zerinde yer alan verinin GPU RAM'ine aktarılması,
 2. CPU tarafından gerçekleştirilecek olan işlem dizisinin GPU'ya belirtilmesi,
 3. GPU üzerinde işlemin gerçekleştirilmesi,
 4. GPU üzerinde elde edilen sonuçların Ana Hafızaya aktarılması
- olarak sürmektedir.



Şekil 2.33 GPU üzerinde veri işleme akış şeması

Bu işlem dizisi genel olarak gerçekleştirilen algoritmaya ve kullanılan işlemci mimarisine bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Örnek olarak bu işlemler Nvidia Kepler mimarisine kadar olan NVIDIA işlemciler için geçerli iken 2014 yılı sonlarında çıkması beklenen Maxwell mimarisindeki NVIDIA işlemcilerde yer alan Unified Virtual Memory yapısı sayesinde işlemlerin ana hafızaya anlık olarak aktarılma gereği ortadan kaldırılmıştır (Şekil 2.34).



Şekil 2.34 NVIDIA yol haritası

CUDA™ kütüphanesi üzerinde çalışan yazılımlarda en çok dikkat edilmesi gereken noktalardan biri, genel bellek kullanımının en aza indirilerek mümkün olduğunca saklayıcıların ve paylaşılan belleğin kullanılmasıdır. Özellikle fazla üçgene sahip geometrilere, üçgenlerin kapladığı büyük alanlar nedeniyle yapının tamamının paylaşılan belleğe aktarılması imkânsızdır. Bununla birlikte üçgenler hariç olmak üzere sadece yapıyı (trees) oluşturan düğümlerin paylaşılan belleğe aktarılması, uygulamanın başarısını önemli ölçüde artırabilmektedir.

2.6 FRAPS yazılımı

FRAPS yazılımı özellikle oyun teknolojilerinde oyunun ilgili bilgisayar üzerindeki performansını ölçmek amaçlı olarak kullanılan bir yazılımdır. Yazılım ilgili oyunun / yazılımın ilgili imgeyi saniyede kaç kere yenilediğini ölçerek saniyede işlenebilen çerçeve sayısı (FPS, Frame per second) değerini ortaya koyabilmektedir. Yazılım ilgili performans ölçümlerini yansız bir şekilde ortaya koyması sebebiyle ticari KÖ Sahne Üreteci yazılımlarının performans ölçümlerinde de kullanılmaktadır (OKTAL-SE, PRESAGIS, JRM

vb. firmalar gibi). Bu kapsamda tez dâhilinde oluşturulan yazılım(lar)ın performans ölçümlerinde FRAPS yazılımı kullanılmaktadır.

3. YAZILIM BİLEŞENLERİ

Genel olarak, bir sahnenin grafik kartı yardımıyla işlenmesi / görselleştirilmesi işlevini yerine getirmek amacıyla oluşturulmuş, en çok bilinen, 2 adet kütüphane bulunmaktadır. Bu kütüphanelerden DirectX™ kütüphanesi Microsoft firması tarafından geliştirilmekte olup OpenGL (Open Source Graphics Language) ise açık kaynak bir kütüphanedir. DirectX kütüphanesinin Windows™ işletim sistemi ile kullanım gereksinimi dışında (bu kısıtın kaldırılması adına geliştirilen yöntemler bulunmakta), iki kütüphane de yaklaşık olarak aynı fonksiyonları farklı rutin isimleri ile sunmaktadırlar. Bu kütüphanelerin içerisinde yer almayan ancak ilgili kütüphane ile birlikte çalışacak olan diğer fonksiyonların oluşturulması amacıyla DirectX için HLSL (High-Level Shader Language), OpenGL için ise GLSL (OpenGL Shader Language) yazılım dili kullanılmaktadır.

Tez kapsamında geliştirilen yazılım dahilinde DirectX™ kütüphanesi içerisinde yer alan Direct3D rutinleri ve HLSL kullanılmaktadır. Bununla birlikte görüntü işleme uygulamalarında özelleşmiş OpenCV (Open source Computer Vision) ve GPU üzerinde optimize fonksiyonlar bulunduran CUDA ve NPP gibi kütüphaneler de kullanılmaktadır.

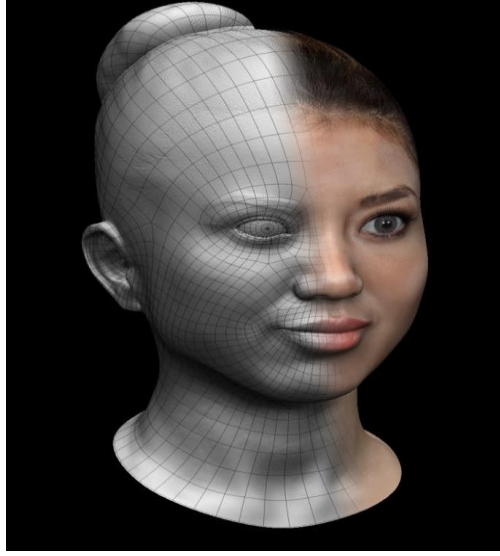
3.1 KÖ Sahnenin Oluşturulması

Bu bölümde tez kapsamında geliştirilen yazılıma ait detaylar verilmektedir.

3.1.1 Tel Örgü (Mesh)

Gerçek hayatta var olan nesnelerin bilgisayar ortamında sayısallaştırılması, nesne üzerinde yer alan her bir elemanın tel örgüler (mesh) ile tanımlanması yoluyla gerçekleştirilmektedir. Nesnenin

tanımlanmasında kullanılan elemanların sayısı (mesh yoğunluğu) çözülmek istenen probleme göre değişebilmektedir. Gerçek zamanlı uygulamalarda tel örgü sayısı çözümün çok uzun zaman almayacağı kadar az, çözüme ait doğruluğun sağlanabilmesi adına ise çok olması gerekliliği bulunmaktadır. Tel örgüler, iki boyutta üçgen ve dörtgen yapıları kullanılarak oluşturulabilmektedir. Şekil 3.1’de sol tarafı tel örgü sağ tarafı ise bu tel örgüler dokulandırılarak oluşturulmuş bir görselleştirme yer almaktadır.



Şekil 3.1 3D bir modele ait tel örgü gösterimi

Geliştirilen Kızılötesi sahne üretici yazılımında yer alan platformlara ait 3D tel örgü dosyaları CAD (Computer Aided Design) programları kullanılarak oluşturulmuş “*.x” (DirectX geometri dosyası) uzantısına sahip dosyalardan oluşmaktadır.

3.1.2 Gölgeleme (Shading)

Gölgelendiriciler (shader) her bir verteks (vertex) / piksel (pixel) elemanını kullanabilen küçük programlardır. Bu programların

oluşturulmasında HLSL benzeri ortamlar kullanılmaktadır. HLSL, DirectX kütüphanesi ile birlikte kullanılabilen c yazılım dili benzeri yüksek seviye bir gölgeleme (shading) dilidir.

3.1.3 Benzetim Aşamaları

Benzetim kapsamında görüş (view vector) ve yansıma vektörünün (reflection vector) yanısıra özellikle deniz yüzeyi benzetimlerinde fresnel yansıma terimi gibi parametrelerin değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Yazılımda herbir verteks için, yüzeye ait herbir noktanın yönelimi (görüş vektörü) Eş. (3.1) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$viewvec = normalize(surface_pos - camera_pos) \quad (3.1)$$

Yansıma vektörü, yüzey normali tarafından tanımlanan düzleme karşı yönde aynalanmış görüş vektörüdür. Bu vektör, ışığın yüzeyden hangi doğrultuda yansıtıldığını belirlemektedir. Yazılımda yansıma vektörü Eş. (3.2) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$R = reflect(viewvec, N) \quad (3.2)$$

3.1.3.1 Fresnel Yansıma Terimi

Fresnel yansıma terimi, gerçekçi su benzetimi elde etmek için gereklidir. Yazılım kapsamında herbir piksel için fresnel yansıma teriminin hesaplanmasında LUT (Look-up-table) tablosu / tek boyutlu bir doku (texture) kullanılmaktadır. Geliş açısının belirlenmesi amacıyla, normal ve yansıma vektörü (veya görüş vektörü) arasındaki nokta çarpımı (dot-product) kullanılmaktadır. Yazılım da fresnel yansıma terimi, Eş. (3.3) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$fresnel = tex1D(fresnelmap, dot(N, R)) \quad (3.3)$$

3.1.3.2 Yansımalar

Benzetim içerisinde yer alan yansımalar, küresel (global) ve yerel (local) olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.

Küresel yansıma, sonsuzdaki nesnelere (gökyüzü gibi) gelen yansımaların benzetiminde kullanılmaktadır. Gökyüzü yansımalarının benzetimi, küresel yansımalar kullanılarak, gökyüzünün sonsuz uzaklıkta olduğu varsayımı altında gerçekleştirilmektedir. Yansıtan yüzeyin sonsuz uzakta olduğu kabulü altında, yüzeyin hangi kısmından gelen yansımanın görüleceği yüzeyin yansıma vektörüne bağlı olacaktır. Yazılım da küresel yansımalar bir küp-haritası (cube-map) ve LUT yardımıyla, Eş. (3.4) kullanılarak benzetilmektedirler.

$$refl_global = texCUBE(sky, R) \quad (3.4)$$

3.1.3.3 Güneş Işığı (Sunlight)

Güneş ışığının doğrudan yansıması, gökyüzü benzetimlerinde kullanılan yaklaşıma benzer şekilde bir küresel yansıma olarak kabul edilebilir. Benzetim, güneş ışığının gökyüzü için kullanılan küp-haritası içerisinde eklenmesi ile gerçekleştirilebilmektedir.

Bununla birlikte küresel yansımalar, ortam nesnelere (gökyüzü gibi) için iyi bir temsil olsa da, sahne içerisinde yer alan nesnelere (platform gibi) için iyi bir temsil değildir. Yerel yansımalar, sonsuz uzaklıkta olmayan nesnelere gelen yansımaların benzetiminde kullanılmaktadırlar.

Su yüzeyindeki yerel yansımaların benzetimi, yüzeyin düz olduğu kabulü altında gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilebilmektedir. Yüzeyin düz olduğunun kabulü ise ilgili yüzeyin sadece bir ayna gibi yansımaları 1D olarak benzetmesi anlamına gelmektedir. Ayna düz olduğunda, açısal değişkenlerin katkısı olmamakta ve bu değişkenler yüzey konumu kullanılarak elde edilebilmektedirler. Mükemmel bir ayna olmayan bir yüzey için ise bu yansımalarının benzetiminde bazı yaklaşımlar kullanılmaktadır.

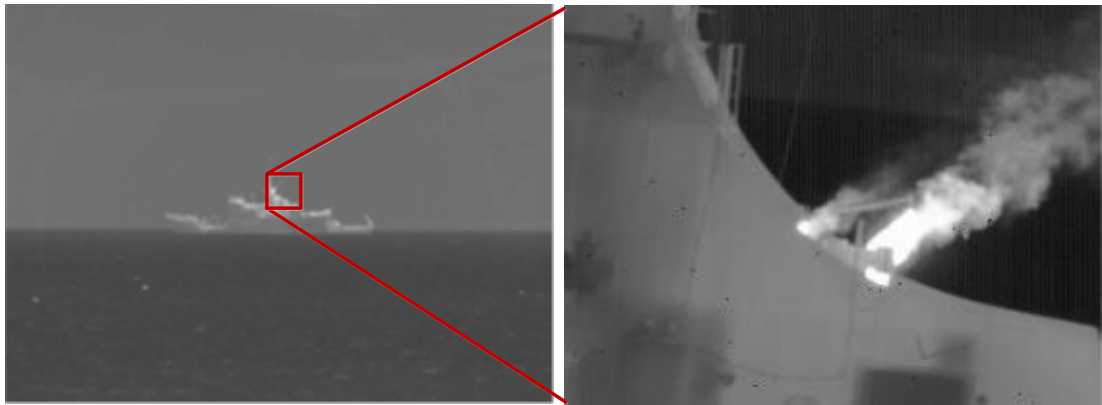
3.1.3.4 Kırılmalar (Refractions)

Kırılmalar yaklaşık olarak, yerel yansımalarda kullanılan yaklaşıma benzer bir şekilde hesaplanmaktadır. Kırılmaların benzetiminde de, yansımalarda olduğu üzere, yüzeyin tamamen düz olduğu kabul edilmektedir. Bir dokuya kırılmanın eklenme işlemi, kırılma indeksinin sınır doğrultusunda değişiminden dolayı ilgili sahnenin yükseklik doğrultusunda ölçeklendirilmesi ile gerçekleştirilebilmektedir. Kırılma durumunda doku koordinatlarının bozulması yansımaların benzetiminde kullanılan yaklaşıma benzer bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

3.1.4 Baca Gazı

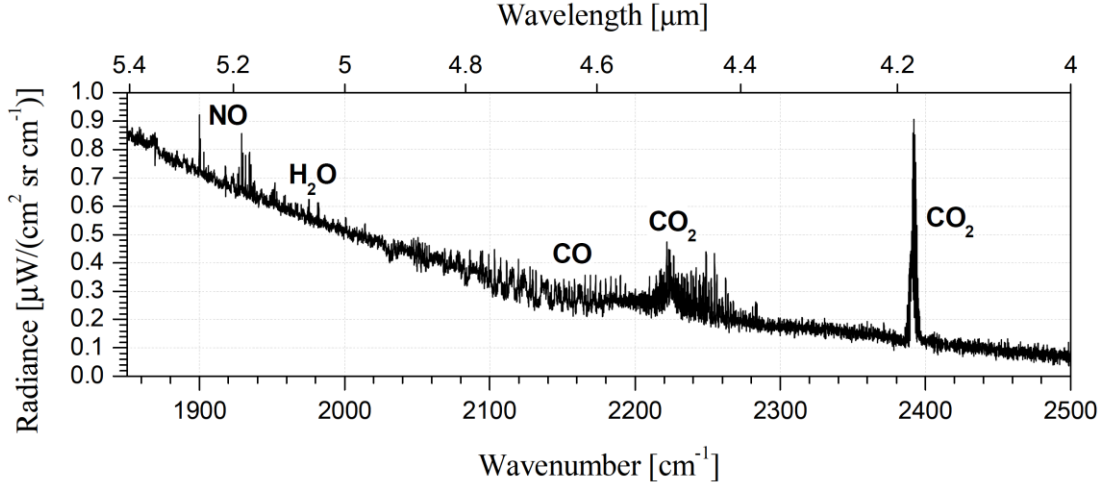
Baca gazı, hareketli platform(lar)ın diğer ışımaya bölgelerine nazaran daha yüksek KÖ ışımaya değerlerine sahip olması sebebiyle KÖ izine katkıda bulunan önemli kaynakların başında gelmektedir.

Şekil 3.2'de bir deneme kapsamında CFAV QUEST gemisine ait MWIR dalgaboylarında elde edilen platform ve baca gazı ışımaya ölçümleri yer almaktadır [34]. İlgili şekil dikkatlice incelendiğinde baca gazının diğer KÖ ışımaya bölgelerine nazaran yüksek ışımaya sahip olduğu açıkça görülebilmektedir.



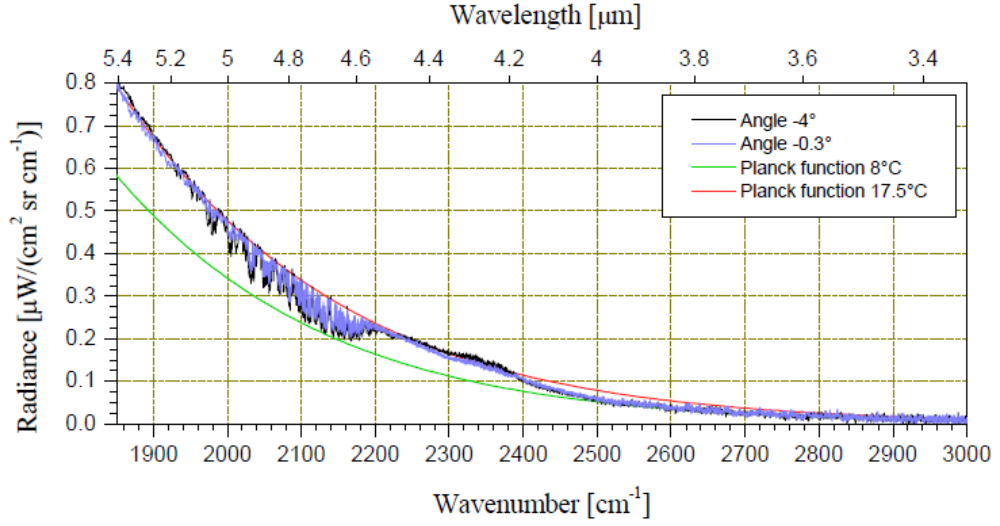
Şekil 3.2 MWIR dalgaboyu için elde edilen platform ve baca gazı ışımaları

Şekil 3.3'de, Şekil 3.2'de verilen baca gazına ait bir bölgenin $4-5.4\mu m$ dalgaboyu aralığında FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) spektro-radyometre ile elde edilen spektral ışıması gösterilmektedir [34], [35]. Şekil üzerinde de yer aldığı üzere ilgili ışıma içerisinde H_2O , CO_2 , CO ve NO gibi moleküller etkili olmaktadır.



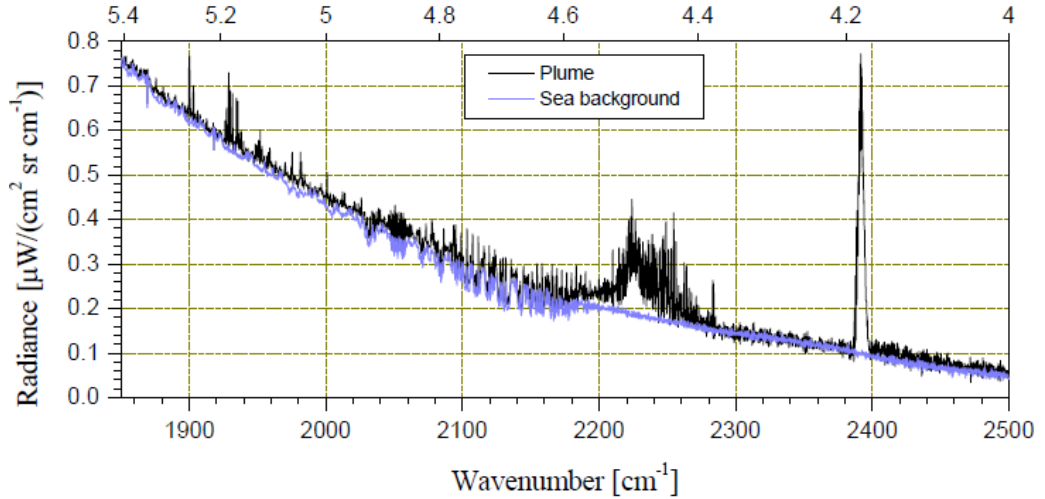
Şekil 3.3 Baca gazı için FTIR spektro-radyometre ile elde edilen spektral ışıma

Şekil 3.4'de, Şekil 3.2'de elde edilen imge ile benzer zamanlar da elde edilmiş olan farklı açılardaki (angle) deniz yüzeyi ışımaları ve bu ışımalara denk gelen siyah cisim (Planck equation) sıcaklık ve grafikleri verilmektedir.



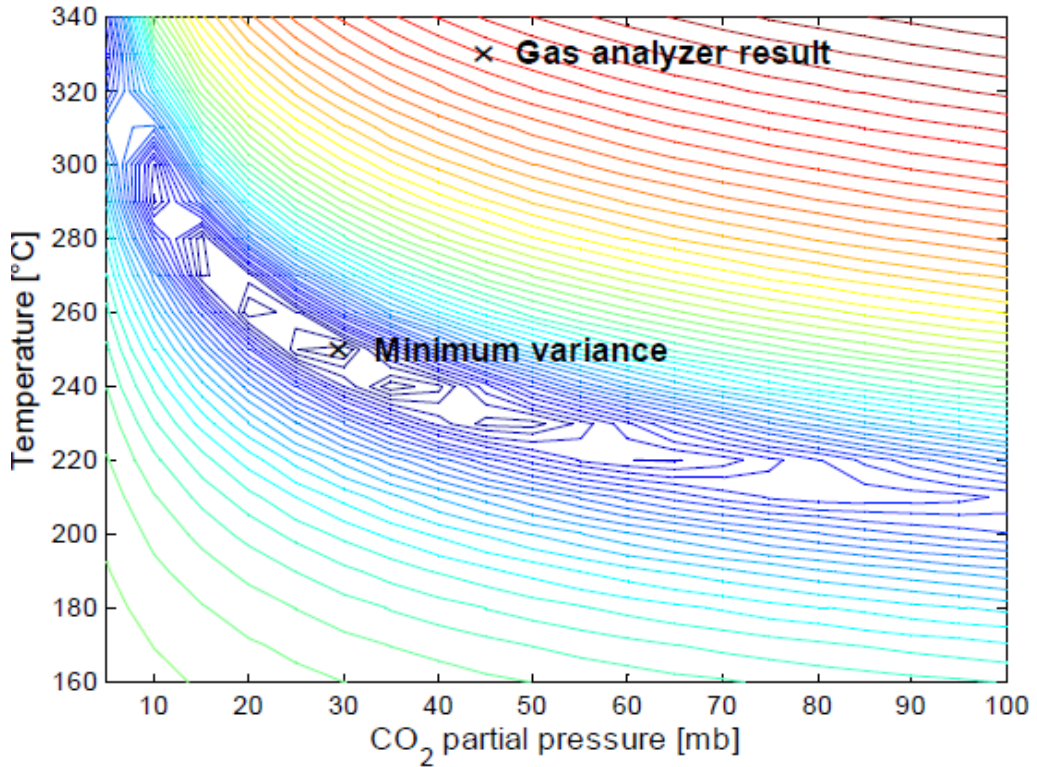
Şekil 3.4 Deniz yüzeyi için spektral ışım

Şekil 3.5’de ise Şekil 3.2’de elde edilen imge ile benzer zamanlar da elde edilmiş olan deniz ve baca gazı ışımaları arasındaki ışım farkının gösterildiği grafik yer almaktadır.



Şekil 3.5 Deniz yüzeyi ve baca gazı spektral ışım karşılaştırması

Davis gaz analiz cihazı tarafından gerçekleştirilen baca gazı ölçümlerinde (Şekil 3.6) baca gazlarına ait sıcaklık değerinin 328 °C derece olarak tespit edildiği belirtilmektedir. Işımayı oluşturan gazların sıcaklıkları ile ilgili olarak yapmış oldukları tahminlerde ise ışımayı oluşturan baca gazının 250 °C sıcaklıklarında olabileceği belirtilmiştir [34]. Bu sıcaklık değeri geminin diğer bölgelerine nazaran yüksek olup, gemiye ait yüksek ışıma değerleri asıl olarak bu bölgelerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.6 Moleküler konsantrasyon & Sıcaklığa bağlı ölçüm ve model verileri

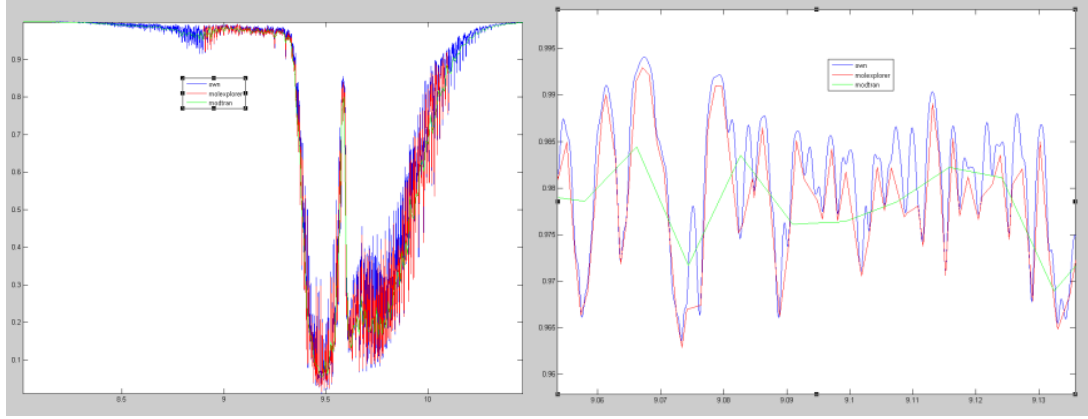
Günümüzde bu sıcaklıkların indirgenmesi amacı ile kullanılan soğutma sistemleri bulunmasına rağmen bu sistemlerin etkinliklerinin yüksek olmaması, toplam platform gücünü azaltması (döner kanatlı platformlar için <3%), maliyetleri ve ilgili platform dâhilinde yer alan diğer sistemleri etkileyebilme olasılıkları sebebiyle özellikle eski nesil sistemlerde yer almamaktadırlar. Günümüzde özel olarak tasarlanmış platformların dışında baca gazı çıkışı genellikle gemilerin yüksek konumlarında bulunmakta ve bu

sebeple, KÖ algılayıcılar tarafından, gemi baca dumanı ufuk noktasının üzerinde ilk tespit edilen bölge olmaktadır.

Bu kapsamda baca gazının benzetimi, KÖ Sahne üretici yazılımlarında öncelikle yer alması gereken benzetim bileşenlerinin başında gelmektedir. Bir platform üzerinde yer alan baca gazının 'fiziksel olarak doğru' KÖ izinin benzetiminde, birçok parametrenin bilinmesi gerekliliği ile birlikte Navier-Stokes gibi yüksek karmaşıklıkta akışkanlar dinamiği denklemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Bu kapsamda; parametre değerlerinin doğru olarak temin edilmesi ve ilgili denklemlerin gerçek zamanlı olarak çözülmesi bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ve benzer sebeplerle birçok KÖ sahne üretici geliştiren firma, baca gazı benzetimlerinde, belirli yaklaşımlar altında oluşturulan parçacık sistemlerini kullanmaktadırlar.

3.1.4.1 Benzetim Yaklaşımı

Tipik bir gemi için baca gaz içeriği N_2 , O_2 , H_2O , CO_2 , NO_x , SO_2 ve CO gibi gazların bileşiminden oluşmaktadır. HITRAN veritabanı bu gaz bileşenlerinin spektral olarak yutulma (absorption) değerlerini barındırmaktadır. Bu kapsamda, bu gaz bileşenlerinin oluşturdukları spektral izin tayini amaçlı olarak HITRAN veritabanı kullanılabilir. HITRAN veritabanı yardımıyla; sıcaklık, basınç ve konsantrasyona bağlı olarak platformların baca türbününde spektral olarak yayılan baca gazının ışımaya tayini yapılabilmektedir. HITRAN veritabanı ile elde edilen değerler ile MODTRAN yazılımı tarafından üretilen değerlerin karşılaştırılması amaçlı olarak farklı gaz konsantrasyonları için deneyler düzenlenmiş ve Şekil 3.7'de gösterildiği üzere yüksek hassasiyette doğruluk elde edilmiştir.



Şekil 3.7 Geliştirilen yazılım kapsamında elde edilen sonuçlar & MODTRAN

Baca gazı benzetiminin gerçekleştirilmesi amaçlı geliştirilen yazılımın girdisi olarak bir ölçüm kapsamında CFAV Quest platformuna ait elde edilen ölçüm sonuçları kullanılmaktadır. Bu kapsamda farklı platformlar üzerinde yapılacak olan gaz içerik / konsantrasyon ölçüm değerlerinin sağlanması ile yazılımın farklı platformlar içinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

3.1.4.1.1 Parçacık Sistemi (Particle System)

Parçacık sistemi, birden fazla parçacığın benzetim içerisinde yer alarak, parçacıkların oluşturduğu topluluk tarafından baca gazı, ısı fişegi gibi kaotik ortamların benzetiminde kullanılabilen bir yöntemdir. Yöntem, hızlı olması ve görsel bir sunum ortaya koyması sebebiyle özellikle günümüz oyun teknolojilerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte yöntem, görselliğin ötesine geçememektedir. Bu sebeple parçacık sistemi kullanılarak benzetimi gerçekleştirilecek olan baca gazlarının benzetimi öncesinde bir takım varsayımlarda bulunmak gerekmektedir.

İdeal olarak baca gazı / ısı fişegi gibi kaotik ortamların benzetiminin de, Navier-Stokes gibi akışkanlara ait birçok olguyu gözönünde bulunduran denklemlerin kullanılması gerekmektedir. Ancak bu tür denklemlerin çözümünün uzun sürmesi (saatler) ve uygun girdilerin sağlanmasında ki

güçlükler sebebiyle, ilgili benzetimler çoğunlukla bazı yaklaşımlar altında gerçekleştirilmektedir.

KÖ Sahne Üretici yazılımı adı altında ticari olarak ürünleri bulunan OKTAL-SE, JRM, Presagis gibi firmalar baca gazı / ısı fişegi / ateş / duman gibi etkilerin benzetimde belirli yaklaşımlar altında oluşturulan parçacık sistemlerini kullanmaktadırlar. Bununla birlikte akademik olarak da KÖ Sahne Üretici yazılımlarında parçacık sistemlerinin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır [36], [37].

3.1.4.1.2 Model Varsayımları

Parçacık sistemi kullanımı ile ilgili birtakım varsayımlarda bulunmaktadır. Bunlar;

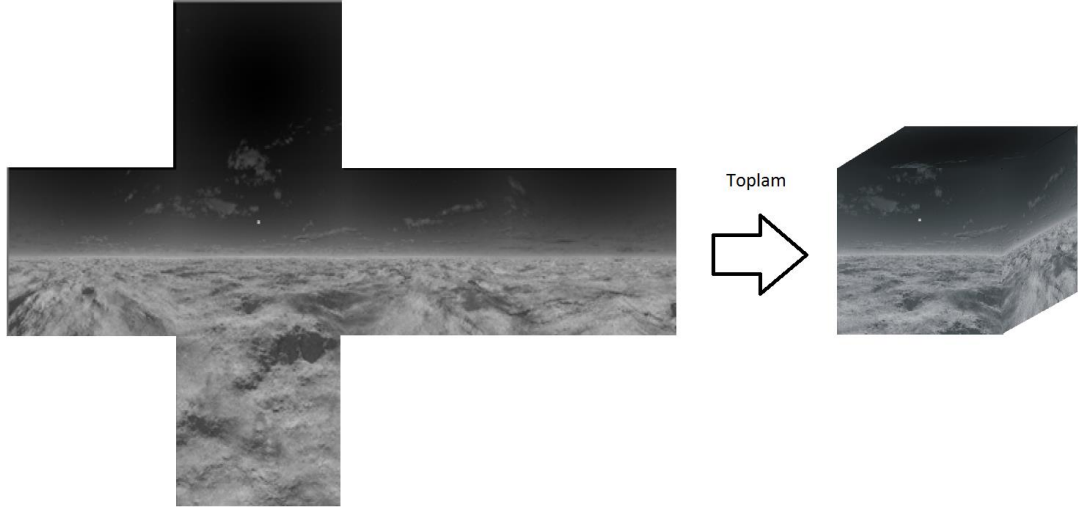
- Platformun farklı güç seviyelerinde oluşturduğu baca gazı çıkış içeriği / sıcaklıklarının bilindiği varsayılmaktadır. Bununla birlikte ilgili platform üzerinde bu tür değerlerin ölçümü / ölçümlerinin kullanımı ile oluşturulacak olan benzetimin doğruluk seviyesi artırılabilir.
- Benzetimde yer alan parçacıkların rüzgâr ve gemi hızına bağlı olarak yönelimleri ile deniz yüzeyi gibi dinamik değişen bileşenler üzerindeki etkileri hesaba katılmaktadır. Bununla birlikte, benzetimde yer alan parçacıkların, sahne içerisinde yer alan diğer nesnelere ile sıcaklık / ışınma kapsamında etkileşiminin detaylandırılma ihtiyacı bulunmaktadır.

olarak verilebilmektedir.

3.1.5 Küp-Haritası (CubeMap)

Küp-haritası; özellikle gökyüzü, bulut gibi dış ortam sahnelerinin benzetimlerin de yoğunlukla kullanılan bir tekniktir [38]. Önceki yıllarda bu teknik yerine küresel (spherical) teknik kullanıyor olmasına rağmen küresel tekniğin yol açtığı bulanma, bozulma gibi etkiler sebebiyle günümüzde küp-

haritası tekniği daha çok tercih edilmektedir. Kp haritası özellikle belirli bir anın benzetimlerinde kullanılıyor olmasına rağmen dinamik benzetimlerde de yer aldığı uyarlamalar bulunmaktadır. Bir küp-haritasını oluşturan bileşenler ile bu bileşenlerin oluşturduğu kp-haritasının gösterimi Şekil 3.8'de yer almaktadır.



Şekil 3.8 Kp-haritası bileşenleri ve küp-haritası gösterimi

3.1.6 Veri İhtiyacı

İlgili yazılım kapsamında 3 tipte veri ihtiyacı bulunmaktadır.

- Malzemeye özgü veriler
- Atmosfere özgü veriler
- Algılayıcı verileri

3.1.6.1 Malzemeye zg Veriler

Algılayıcıya ulaşan ışımının eldesinde ilgili nesneye ait malzeme özellikleri nesne tarafından yayınlanan ışımayı doğrudan etkilemektedir. Bu kapsamda, ilgili nesnelere ait KO ışımının doğru olarak benzetilebilmesi

amaçlı olarak nesneyi oluşturan malzeme bilgisinin bilinmesi gerekmektedir.

Yazılım kapsamında malzemeye ait bilinmesi gereken malzeme özellikleri kabaca; Yayıcılık ve Yansıtıcılık, olarak yer almaktadır.

3.1.6.2 Atmosfere Özgü Veriler

Atmosfer, özellikle uzak mesafelerden algılanan nesnelere ışımalarını belirli ölçülerde sönmülemektedir. Bu sönmülemelerde; Atmosferik geçirgenlik, Atmosferik yutulum (absorptance) ve Atmosferik yansıtma / saçılım etkileri yoğun olarak gözlemlenmektedir. Bu kapsamda, atmosfer etkilerinin benzetimde yer alması benzetilecek sahneye ait ışımaların doğruluğu / geçerliliği açısından önemlidir. Benzetimde atmosfere özgü olarak;

- Atmosfer geçirgenlik,
- Yol ışması (Path radiance),
- Doğrudan güneş ışması (Direct solar radiance),

verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Atmosferik geçirgenlik ve yol ışması verilerine ilgili nesne yüzeyleri tarafından yayımlanan ışımaya üzerinde özellikle uzak mesafelerde etkili olan atmosfer etkilerinin benzetilmesi kapsamında ihtiyaç duyulmaktadır. Doğrudan güneş ışması verilerine ise sahne içerisinde yer alan yansıma ışımalarının eldesinde ihtiyaç duyulmaktadır.

3.1.6.2.1 Atmosfere Özgü Verilerin Temini

MODTRAN yazılımı atmosfere özgü verileri hesaplama kabiliyetine sahiptir. Ayrıca, MODTRAN yazılımı tarafından üretilen çıktılar; AFRL (The Air Force Research Laboratory) tarafından ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak yazılımın geçerliliği gösterilmiştir. Bu sebeple, KÖ sahne üretici yazılımlarında yoğun olarak kullanıldığı üzere, tez çalışması kapsamında da MODTRAN yazılımı kullanılmaktadır.

Tez kapsamında geliştirilen yazılım kapsamında ihtiyaç duyulan atmosfere özgü verilerin temini amaçlı olarak MODTRAN yazılımı kullanılarak;

- Atmosferik geçirgenlik ve yol ışınması verilerinin temini amaçlı,
- Güneş ışınma (solar radiance) verisinin temini amaçlı,

koşullar gerçekleştirilmektedir.

Geçirgenlik ve yol ışınması verilerinin elde edilmesinde kullanılan parametreler aşağıda gösterilmektedir.

- Gözlem yüksekliği
- Son gözlemci yüksekliği
 - Son gözlemci yüksekliği deniz seviyesinden yüksekliği belirtmektedir. Bu sebeple deniz senaryoları için bu değer 0 olarak alınmaktadır.
- Mesafe

Güneş ışınmasının hesaplanmasında başucu açısı göz önünde bulundurulmaktadır. Yazılım kapsamında ilgili hesaplamalar başucu açısının 0 ile 90° aralığında belirli adım aralıklarında değiştirilmesi ile hesaplanmaktadır.

MODTRAN yazılımının ilgili hesaplamaları uzun sürelerde (dakika mertebesinde) gerçekleştirmesi dolayısıyla, MODTRAN yazılımı koşu başlamadan önce ön hesaplama bloğunda bütün olası durumlar için koşturulmaktadır.

3.1.6.2.2 Arkaplan Benzetimi

Arkaplan benzetiminde gerekli parametreler toplam ışınma, gözlemci üzerindeki Güneş / Ay ışınması ve toplam geçirgenliktir. Arkaplan benzetimi amaçlı olarak; belirli bir yarım küre içerisindeki,

- Platform ile algılayıcı arasındaki toplam ışınma değeri; algılayıcı yüksekliği, menzil, başucu açısı ve Güneş / Ay konumuna bağlı olarak,
- Algılayıcı üzerindeki toplam Güneş / Ay ışınması; algılayıcı yüksekliği, menzil ve başucu açısına bağlı olarak,

- Algılayıcı üzerindeki platformdan gelen toplam ışıma değeri; algılayıcı yüksekliği, menzil ve başucu açısına bağlı olarak MODTRAN yazılımı ile hesaplanmaktadır.

3.1.6.3 Algılayıcı Verileri

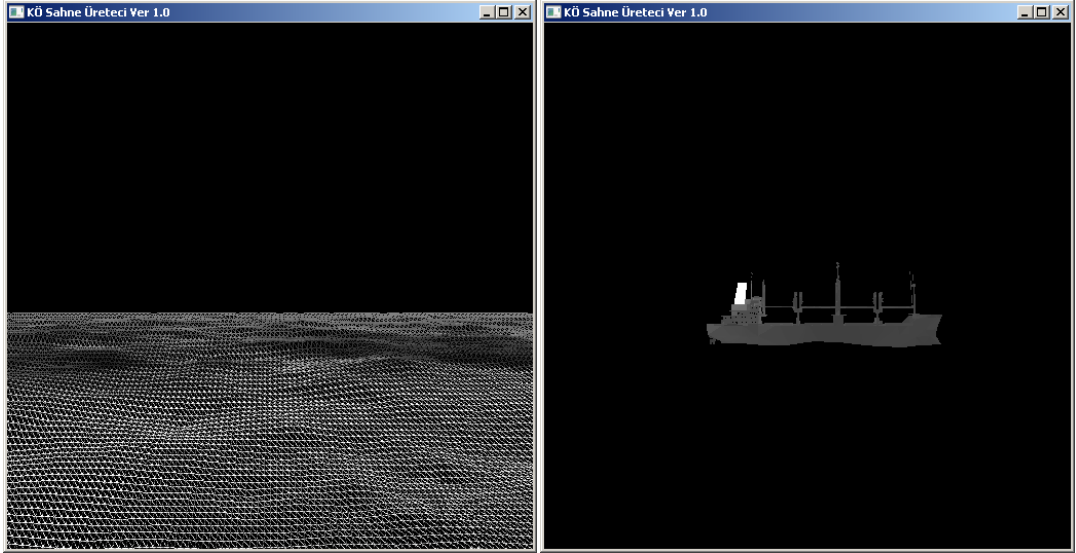
Algılanan sahnenin benzetilmesinde algılayıcının algılanan imge üzerindeki etkilerinin benzetilmesi, KÖ sahne üretici yazılımlarında ihtiyaç duyulan ara basamaklardan bir tanesidir. Algılayıcı etkilerinin benzetilmesinde ihtiyaç duyulan parametrelerden bazıları;

- Odak düzlem dizisi (FPA) bilgisi (640x480 piksel gibi),
- Algılayıcı duyarlılığı,
- Çalışma dalgaboyu aralığı (MWIR gibi),
- Bakış açısı (Odak uzunluğu, f sayısı gibi),
- Gürültü seviyesi,

olarak yer almaktadır.

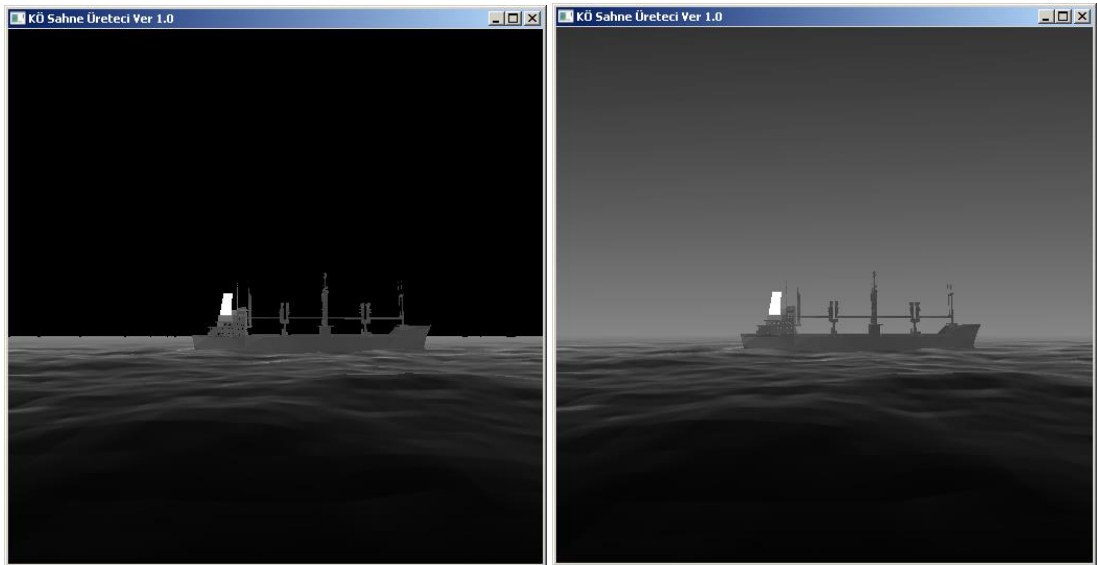
3.1.7 Benzetim

Şekil 3.9'da tez çalışması kapsamında geliştirilen yazılım yardımıyla üretilen deniz sahnesine ait bir tel ızgara ve bu tel örgü üzerinde yer alan bir platform gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.9 Deniz benzetimi tel ızgara / deniz üzerinde platform görselleştirilmesi

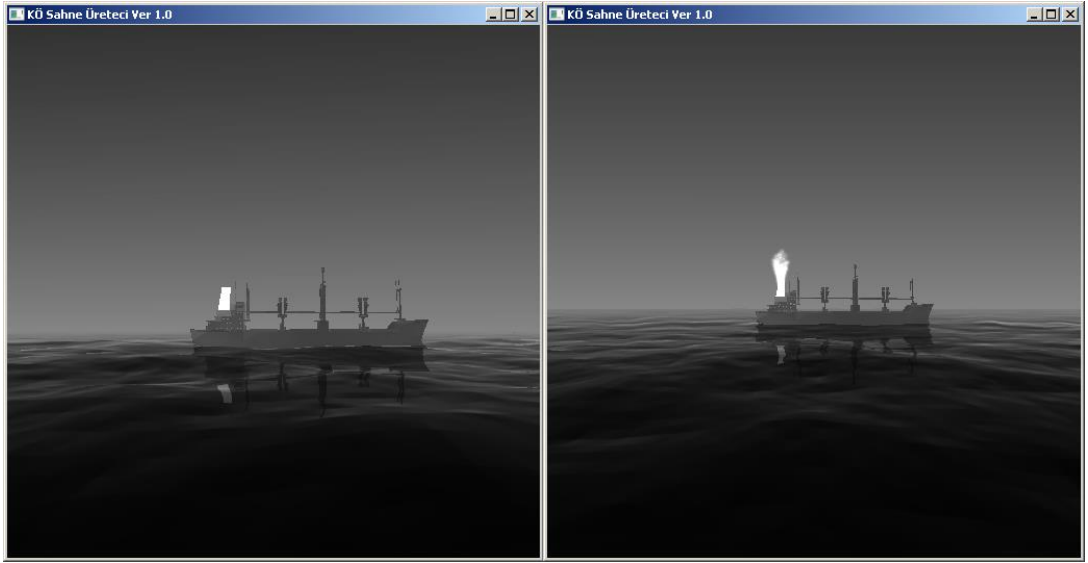
Deniz benzetimi gerçekleştirilirken kullanılan tek örgü sayısı 128x128 olarak belirlenmiştir. Deniz yüzeyi üzerinde yer alan platforma ait yüzey sıcaklıkları KÖ-ISIT yazılımı kullanılarak elde edilmektedir. Şekil 3.9'da yer alan benzetimde küp-haritasının ve yansımalarının (küresel yansımalar) yer almaması sebebiyle deniz yüzeyi siyah olarak gözükmemektedir.



Şekil 3.10 Deniz sahnesi küp-haritası yansımaları ve küp haritası gösterimi

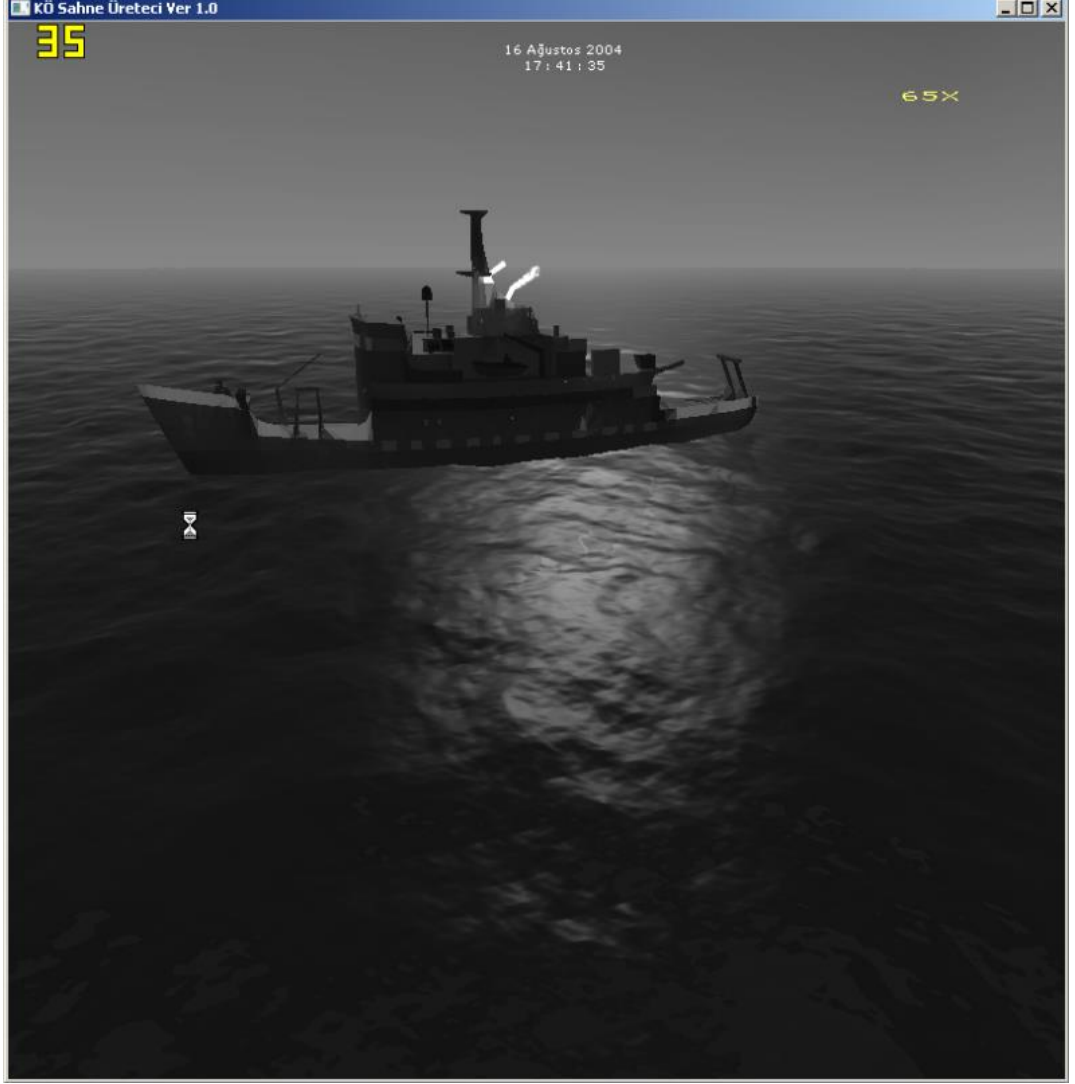
Şekil 3.10'da yer alan benzetimde gökyüzü ve ortam ile birlikte bunlardan kaynaklanan yansımalarda benzetime katılmaktadır. Şekil 3.10'da yer alan benzetim içerisinde küresel yansımalar (gökyüzü gibi) yer almasına rağmen deniz üzerinde yer alan platformun deniz yüzeyinden yansıması dolayısıyla oluşan etkiler (yerel yansımalar) benzetimde yer almamaktadır.

Şekil 3.11'de ise yerel yansımaların da benzetim içerisinde yer aldığı imge ile yerel yansımalar ile birlikte baca gazlarının da benzetimi sonrası elde edilen bir imge yer almaktadır.



Şekil 3.11 Yazılım kapsamında; yerel yansıma ve baca gazı benzetimi gösterimi

Şekil 3.12'de ise bir KÖ Sahnenin oluşturulması adına yer alan etkilerin yanısıra özellikle MWIR dalgaboylarında büyük bir önemi bulunan deniz yüzeyinden güneşin yansıması dolayısıyla oluşan güneş pırıltılarının da benzetimi sonrası elde edilen imge gösterilmektedir.



Şekil 3.12 KÖ Sahne (CFAV Quest Platformu) benzetimi

3.2 Yazılım Varsayımları

Tez çalışması ile geliştirilen yazılım kapsamında gerçekleştirilmesi gereken işlemlerin karmaşıklığı sebebiyle gerçek zamanlı olarak bahsi geçen hesaplamaların kişisel bilgisayarlar üzerinde nasıl hesaplanacağı bir problemdir. Bu sebeple, yazılımın geliştirilmesi aşamasında kullanılan modeller kapsamında, doğruluk, performans ve kullanılabilirlik (fazla veri ihtiyacı olmaması) gibi kıstaslar göz önünde bulundurularak, belirli varsayımlarda bulunmaktadır.

3.2.1 Atmosfer

Atmosfer ile ilgili parametreler, gerçekte dalgaboyuna bağlı olarak değişebilmektedir. Ancak geliştirilen yazılım dâhilinde, dalgaboyuna bağlı olarak MODTRAN yazılımı yardımıyla hesaplanan ilgili parametre değerlerinin ağırlıklandırılmış ortalaması kullanılmaktadır.

3.2.2 Yansıma

Yazılım kapsamında kullanılan yansıma modelinde dağınık ve aynasal yansıma olmak üzere iki parçalı bir yansıma modeli kullanılmaktadır.

3.2.3 İntegral

Yazılım kapsamında yer alan integral hesaplamalarının gerçekleştirilmesinde numerik integrasyon yöntemi yerine Riemann toplaması yöntemi kullanılmaktadır.

3.2.4 Optik Geçirgenlik

Optik geçirgenlik sahne içerisinde yer alan nesnelere ait ışımaların algılayıcıya ulaşmadan önce azaltılmaya uğradığı mercek / mercek dizisine ait geçirgenliğin benzetilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Gerçekte, bu değerler dalgaboyuna bağlı olarak değişmesine rağmen geliştirilen yazılım kapsamında bu değerlerin ağırlıklandırılmış ortalaması kullanılmaktadır.

3.3 KÖ Sahne Üretici (KÖ-SÜ)

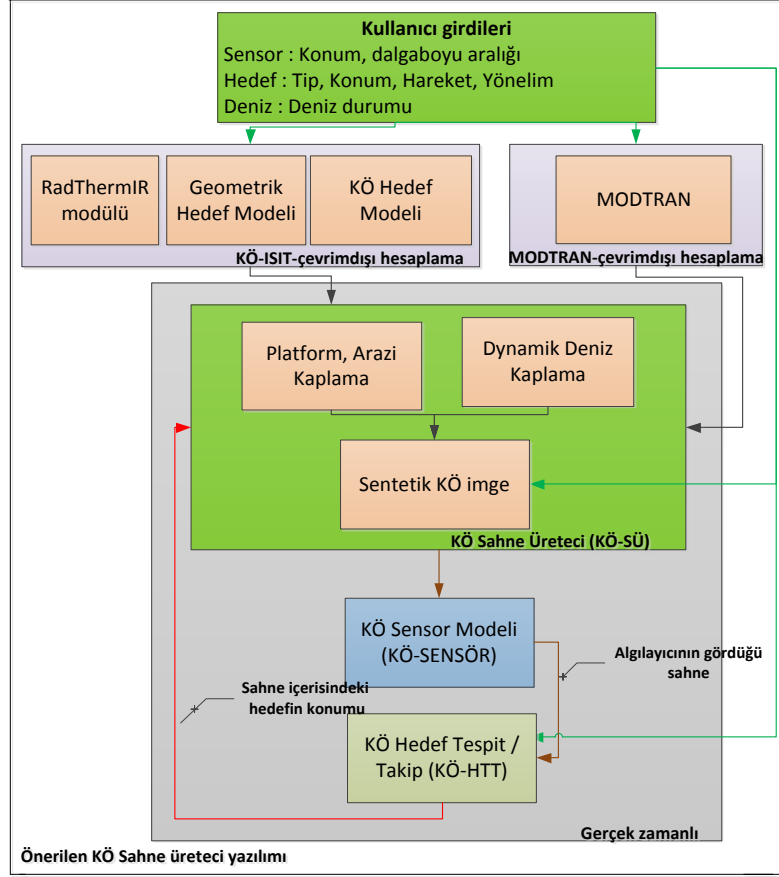
KÖ-SÜ yazılımı, KÖ-ISIT tarafından sağlanan ilgili nesne(ler)in belirli bir ana ait yüzey sıcaklık / ışımaya verilerini kullanarak,

- Anlık ışımaya verisinin ilgili nesne yüzeylerine atanması,
- Deniz ortamının görselleştirilmesi,
- Deniz sahneleri için, nesnenin dalgaların şiddetine ve yönelimine bağlı olarak maruz kaldıkları salınma hareketlerinin benzetilmesi,
- Gökyüzünün görselleştirilmesi,
- Ufuk çizgisi ve gökyüzüne bağlı olarak su yüzeyi üzerinde oluşan yansıma etkilerinin benzetimi,
- Parçacık sistemi,
- Güneş pırıltısı

gibi KÖ sahne ışımaları açısından önemli katkıları bulunan bileşenlerin benzetimi / hesaplanması ve görselleştirilmesi işlevlerini yerine getirmektedir.

Ayrıca yazılım, KÖ-SENSÖR ve KÖ-HTT yazılımı tarafından ihtiyaç duyulan verilerin temini / aktarılması ile bu yazılımlar sonrası elde edilen sahne imgelerinin / hedef tespit kapasitesinin görselleştirilmesinden de sorumludur.

Şekil 3.13'de KÖ-SÜ yazılımı yardımıyla bir KÖ Sahne imgesinin oluşturulmasına ilişkin aşamaların temsili bir gösterimi ve KÖ-SENSÖR, KÖ-HTT gibi modüllerin, gerçek zamanlı olarak, döngüde yer aldığı bir şematik gösterilmektedir.

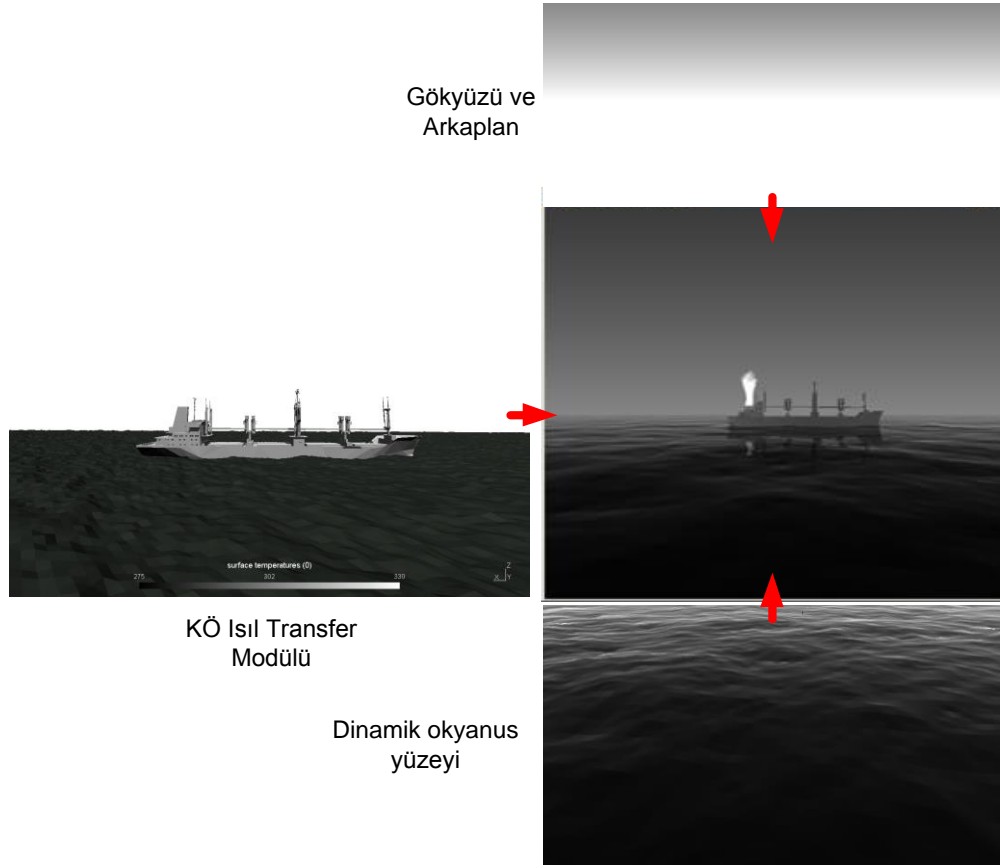


Şekil 3.13 KÖ-SÜ yazılımı ve alt bileşenlerinin şematik gösterimi

Yazılım, nesnenin dünya üzerindeki konumuna (enlem ve boylam gibi) ve yerel saate bağlı olarak güneşin konumunun belirlenmesi amacıyla SPA (Solar Position Algorithm) algoritmasından [39] faydalanmaktadır.

Yazılım, KÖ-İSIT yazılımı tarafından sağlanan her bir ana ait sıcaklık / ışımaya verilerini kullanabildiğinden nesne üzerinde yer alan ışımalar, KÖ ışımaya üzerinde etkisi bulunan bileşenlere bağlı olarak, koşu süresi boyunca dinamik olarak benzetilebilmektedir. Böylelikle ilgili nesne tarafından oluşan ısısal gölge (thermal shadow) gibi dinamik etkilerde benzetim içerisinde yer alabilmektedir.

Şekil 3.14'de KÖ-SÜ yazılımı yardımıyla bir KÖ Sahne imgesinin oluşturulması kapsamında yer alan alt modüller ve çıktıları temsili olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.14 KÖ-SÜ yazılımı yardımıyla bir KÖ sahnenin oluşturulması

3.3.1 Arabellekleme (Buffering)

Sahne üretici yazılımlarında, özellikle kapalı döngü kabiliyeti bulunanlarda, sahne verisinin (imge) bir yazılımdan diğerine gerçek zamanlı olarak nasıl aktarılacağı bir problemdir. DirectX ve OpenGL gibi yazılım kütüphaneleri, oluşturdukları sahne imgelerini kendilerine özgü bir formatta tutmaktadırlar. Bu imge verisinin, senkronize bir şekilde, tez kapsamında kullanılan DirectX kütüphanesi üzerinden, gerçek zamanlı olarak KÖ-SÜ yazılımı alt bileşenlerine aktarılması gerekmektedir. Bu kapsamda, KÖ-SÜ yazılımı tarafından üretilen her imge arabellek üzerinden, gerçek zamanlı olarak, CPU üzerine alınmakta ve daha sonra KÖ-SENSOR ve KÖ-HTT modüllerine aktarılmaktadır.

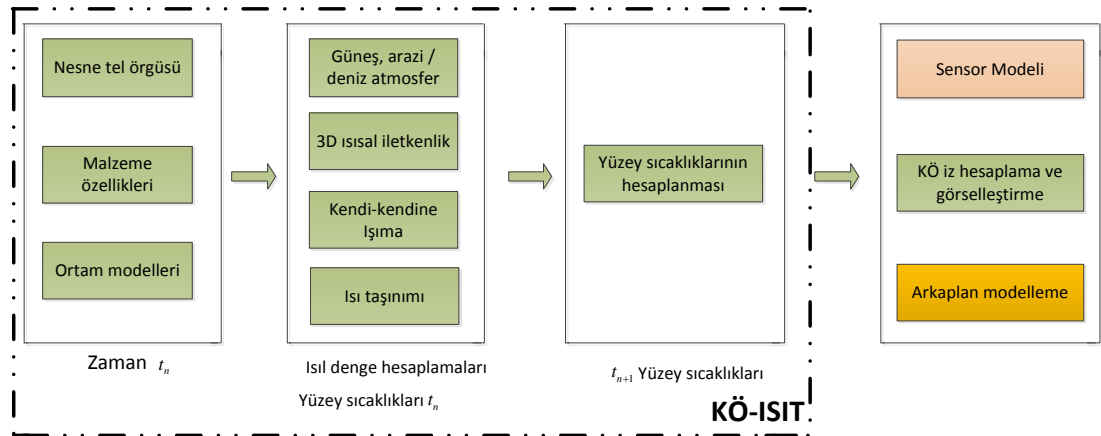
3.4 Isıl Transfer Yazılımı (KÖ-ISIT)

Isıl Transfer Yazılımı (KÖ-ISIT), kullanıcı tarafından belirlenen; platform(lar)a ait parametreler (iletkenlik ve yayıcılık gibi), güneşin / platformun konumu, ortam ve zaman gibi parametrelerin değerlerine bağlı olarak platform-ortam (hava sıcaklığı ve rüzgâr gibi), platform-deniz (deniz suyu sıcaklığı gibi) ve platform yüzeylerinin birbirleri arasındaki (iletim ve ışınım gibi) etkileşimler altında, sıcaklık / ışınım dağılımının hesaplanması amacıyla kullanılmaktadır.

Yazılım, platforma ait KÖ ışınımının belirlenmesinde, iletim, ışınım, taşınım olguları ile birlikte ışınallık denklemlerini göz önünde bulundurmaktadır.

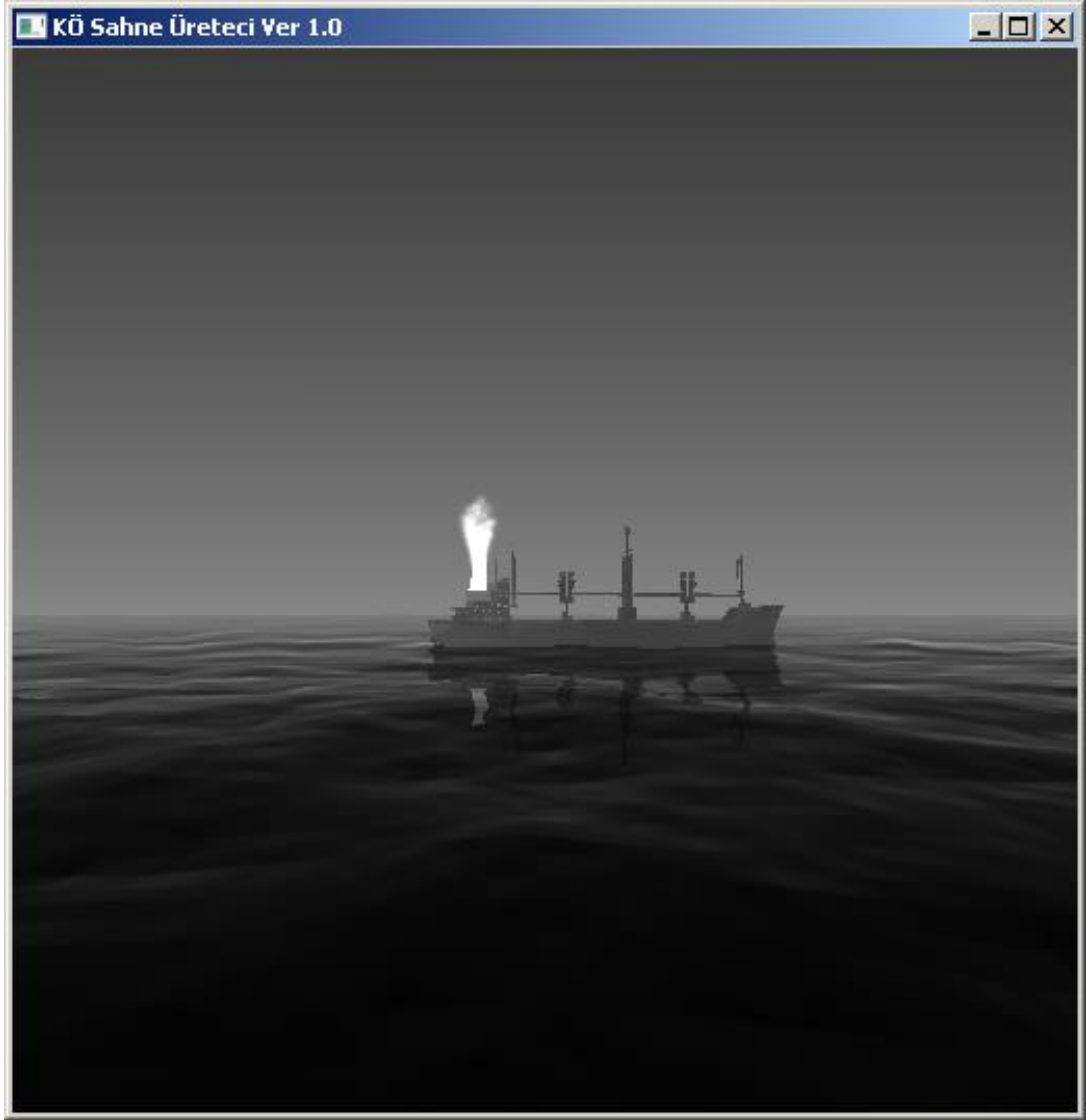
Yazılım yardımıyla, ilgili platforma ait uygun veri setinin (yayıcılık ve iletkenlik gibi) bir kez belirlenmesi ile birlikte ortama ait meteorolojik parametrelerin değişimi altında belirli bir ana ait sıcaklık / ışınım dağılımı hesaplanabilmektedir.

Şekil 3.15'de KÖ-ISIT yazılımı kapsamında yer alan modellerin şematik olarak gösterimi ve çalışma şeması yer almaktadır.



Şekil 3.15 KÖ-ISIT yazılımı kapsamında yer alan modellerin gösterimi

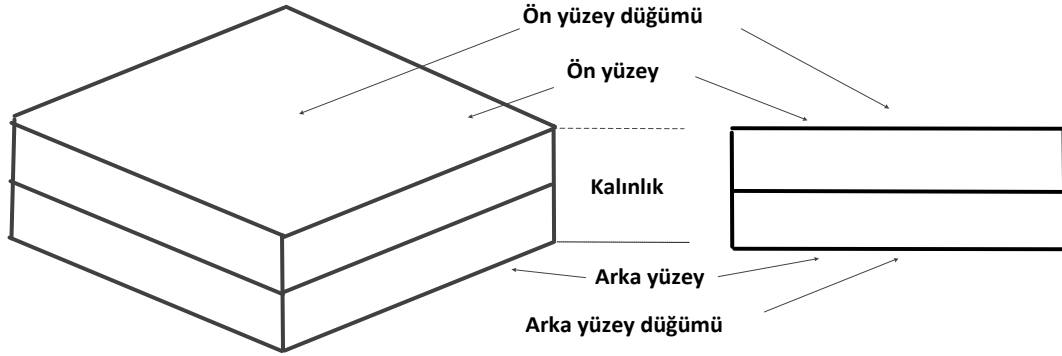
Şekil 3.16'da KÖ-ISIT yazılımı tarafından sağlanan platform yüzey ışımalarının, KÖ-SÜ yazılımı tarafından görselleştirilmesine dair bir imge gösterilmektedir (Baca gazı benzetimi KÖ-ISIT yazılımı kapsamında yer almamaktadır).



Şekil 3.16 KÖ-ISIT Yazılımı çıktılarının, KÖ-SÜ yazılımı tarafından görselleştirilmesi

3.4.1 Çözümleme Yöntemi

KÖ-ISIT yazılımı ilgili nesneye ait yüzeyleri kabaca, 3-farklı katman (ön-orta-arka) altında incelemektedir.



Şekil 3.17 İzometrik ve yan görüntü

Her yüzeye ait ısı düğüm (node) üzerine Eş. (3.5) ile verilen denklem uygulanmaktadır.

$$mC_p \frac{\partial T}{\partial t} = Q_{\text{taşınım}} + Q_{\text{iletim}} + Q_{\text{ışınım}} + Q_{\text{verilen}} \quad (3.5)$$

Eşitlikte, m düğüm kütlesini, T düğüm sıcaklığını ve C_p malzemenin ısı yoğunluğunu göstermektedir. Taşınım ısı geçiş katsayısı (h_k), düğüm yüzey alanı (A_k), düğümüne taşınım ile ısı enerjisi ileten akışkanın sıcaklığı (T_f), malzemenin ısı iletkenliği ($k_{k,j}$), k ve j düğümü arasındaki temas yüzey alanı ($A_{k,j}$) ve $L_{k,j}$, k ile j düğümü arasındaki mesafe olmak üzere $Q_{\text{taşınım}}$ ve $Q_{\text{ışınım}}$ terimleri k . düğümü de içerecek şekilde ifade edildiğinde;

$$m_k C_{p,k} \frac{\partial T_k}{\partial t} = h_k A_k (T_f - T_k) + \sum_{j=1}^{N_k} \left(-k_{k,j} A_{k,j} \frac{T_k - T_j}{L_{k,j}} \right) + Q_{\text{taşınım},k} + Q_{\text{verilen},k} \quad (3.6)$$

eşitliği elde edilmektedir. N sayıdaki dağınık-gri yüzey arasındaki net ışıma; j yüzeyinin yayıcılığı (ε_j), k yüzeyinden j yüzeyine görüş faktörü (F_{k-j}), Stefan-Boltzmann sabiti (σ), yüzey alanı (A_j) ve Kronecker delta ($\delta_{k,j}$) olmak üzere Eş. (3.7) ile verilmektedir.

$$\sum_{j=1}^N \left(\frac{\delta_{k,j}}{\varepsilon_j} - F_{k-j} \frac{1-\varepsilon_j}{\varepsilon_j} \right) \frac{Q_j}{A_j} = \sum_{j=1}^N \sigma F_{k-j} (T_k^4 - T_j^4) \quad (3.7)$$

Eş. (3.7) ifadesi Q_k (k . yüzeyden net ışıma kaybı) için yeniden düzenlendiğinde Eş. (3.8) yazılabilir.

$$Q_k = \frac{\varepsilon_k A_k}{1 - F_{k-k} (1 - \varepsilon_k)} \left[\sum_{j=1}^N \sigma F_{k-j} (T_k^4 - T_j^4) + \sum_{j=1}^N \left((1 - \delta_{k,j}) F_{k-j} \frac{1 - \varepsilon_j}{\varepsilon_j} \right) \frac{Q_j}{A_j} \right] \quad (3.8)$$

Q_k , Eş. (3.6)'daki $-Q_{ışınım,k}$ 'ya eşittir. Eş. (3.6)'daki $Q_{ışınım,k}$ yerine $-Q_k$ yazıldığında,

$$Q_k = -m_k C_{p,k} \frac{\partial T_k}{\partial t} + h_k A_k (T_f - T_k) + \sum_{j=1}^{N_i} \left[-k_{k,j} A_{k,j} \frac{T_k - T_j}{L_{k,j}} \right] + Q_{verilen,k} \quad (3.9)$$

eşitliği elde edilir. Eş. (3.8) ve (3.9) eş zamanlı olarak zaman ortalamalı Crank-Nicholson örtük sonlu farklar yöntemiyle çözülebilmektedir. Crank-Nicholson yöntemi Eş. (3.8)'e uygulanırsa,

$$Q_k = \frac{\varepsilon_k A_k}{1 - F_{k-k} (1 - \varepsilon_k)} \left[\sum_{j=1}^N \sigma F_{k-j} (T_k^2 + T_j^2) (T_k + T_j) \left(\frac{T_k' + T_k}{2} - \frac{T_j' + T_j}{2} \right) + \sum_{j=1}^N \left((1 - \delta_{k,j}) F_{k-j} \frac{1 - \varepsilon_j}{\varepsilon_j} \right) \frac{Q_j}{A_j} \right] \quad (3.10)$$

Eş. (3.10) elde edilir. Crank-Nicholson örtük sonlu farklar yöntemi Eş. (3.9)'a uygulanırsa,

$$Q_k = -m_k C_{p,k} \frac{(T'_k - T_k)}{\Delta t} + h_k A_k \left(\frac{T'_f + T_f}{2} - \frac{T'_k + T_k}{2} \right) + \left[\sum_{j=1}^{N_i} \frac{k_{k,j} A_{k,j}}{L_{k,j}} \left(\frac{T'_j + T_j}{2} - \frac{T'_k + T_k}{2} \right) + \frac{Q'_{verilen,k} + Q_{verilen,k}}{2} \right] \quad (3.11)$$

Eş. (3.11) elde edilir. T' şimdiki zaman aralığı değerlerini ifade ederken, T bir önceki zaman aralığı değerlerini belirtmektedir. Eş. (3.10) ve (3.11) birlikte çözümlerse, nümerik analiz yöntemleri ile çözülebilen aşağıdaki denklem elde edilir.

$$T'_k = \frac{\frac{2m_k C_{p,k}}{\Delta t} T_k + \sum_{j=1}^{N_i} C_{k,j} (T'_j + T_j - T_k) + Q'_{verilen,k}}{\frac{2m_k C_{p,k}}{\Delta t} + \sum_{j=1}^{N_i} C_{k,j}} + \frac{Q_{verilen,k} - \frac{2\varepsilon_k A_k}{1 - F_{k-k} (1 - \varepsilon_k)} \sum_{j=1}^N \left((1 - \delta_{k,j}) F_{k-j} \frac{1 - \varepsilon_j}{\varepsilon_j} \right) \frac{Q_j}{A_j}}{\frac{2m_k C_{p,k}}{\Delta t} + \sum_{j=1}^{N_i} C_{k,j}} \quad (3.12)$$

Düğüm k 'dan j 'ye iletkenlik $C_{k,j}$ olmak üzere, ışınım, taşınım ve iletim için Eş. (3.12) yazılabilir. İletim iletkenliği; Isıl iletkenlik katsayısı ($k_{k,j}$, W / mK), Temas alanı ($A_{k,j}$, m^2) ve Uzunluk ($L_{k,j}$, m) olmak üzere;

$$C_{k,j} = \frac{k_{k,j} A_{k,j}}{L_{k,j}} \quad (3.13)$$

olarak yazılabilir. Taşınım iletkenliği; k düğümü için taşınım katsayısı (h_k) ve düğüm yüzey alanı (A_k , m^2) olmak üzere

$$C_{k,j} = h_k A_k \quad (3.14)$$

eşitliği ile yazılabilmektedir. Işınım iletkenliği; düğüm yayıcılığı (ε_k), Stephan-Boltzman sabiti (σ , $W / m^2 K^4$), k düğümünün kendi görüş faktörü (F_{k-k}), k düğümünden j düğümüne görüş faktörü (F_{k-j}), k düğümünün sıcaklığı (T_k ,

K), j düğümünün bir önceki zaman aralığındaki sıcaklığı (T_j, K) olmak üzere;

$$C_{k,j} = \frac{\varepsilon_k A_k}{1 - F_{k-k}(1 - \varepsilon_k)} \sigma F_{k-j} (T_k^2 + T_j^2) (T_k + T_j) \quad (3.15)$$

olarak yazılabilir.

Görüş faktörü, ışın izleme yöntemiyle elde edilmektedir. Işımanın bir yüzeyden ayrılıp, çevresindeki tüm yüzeylere yansıtılmasıyla görüş faktörü hesaplanmaktadır.

Geçici düğüm sıcaklıklarını hesaplamak için örtük çözüm yöntemi kullanılmaktadır. Modellenen geometrinin etrafı çevrelenerek, nesne ve nesneyi çevreleyen geometri kapalı bir sistem olarak ele alınmaktadır. Bu kapalı sistem düzgün olarak ışımaya yayan ve ışınması dalga boyundan bağımsız yüzeylerden oluşmaktadır. Yüzeyler arasındaki net ışımaya ısı geçişi; Çoklu görüş faktörü $(B_{i,j})$, i yüzeyinden yayılan ve j yüzeyinde yutulan enerji, A_i alan, ε_i yayıcılık ve T_i ise sıcaklık olmak üzere;

$$Q_{i,j} = B_{i,j} A_i \varepsilon_i \sigma (T_i^4 - T_j^4) \quad (3.16)$$

eşitliği ile yazılabilmektedir.

3.4.1.1 1D Isı İletim Denklemi

Belirli bir doğrultu için 1D (1 boyutlu) ısı iletimi yayılım denklemi, Eş. (3.17)'de yer aldığı üzere yazılabilmektedir.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T, \quad T_i^j = T_i^{j-1} + \Delta t \left(\alpha \frac{T_{i-1}^{j-1} + T_{i+1}^{j-1} - T_i^{j-1}}{(\Delta x)^2} + \frac{q}{\rho C_p \Delta x} \right) \quad (3.17)$$

Eşitlikte yer alan $\frac{q}{\rho C_p \Delta x}$ terimi ilgili geometriye sağlanan akı olarak

tanımlanmaktadır. Bu ifadenin (Eş. (3.17)) çözümü ile bilinen bir t anındaki sıcaklık dağılımı için belirli sınır koşulları altında konuma, ısıl yayılım

katsayısına ve zamana bağlı olarak sıcaklık dağılımı (1D) belirlenebilmektedir.

3.4.1.2 2D Isı İletim Denklemi

2D (2 boyutlu) ısı iletimi yayılım denklemi, Dirichlet sınır koşulları kullanılarak, Eş. (3.18)'de yer aldığı üzere yazılabilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t}T(t, x, y) = \alpha \Delta^2 T(t, x, y) = \alpha \left(\frac{\partial^2 T(t, x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(t, x, y)}{\partial y^2} \right) \quad (3.18)$$

Taylor serisi yardımıyla zamana bağlı olarak sıcaklık dağılımı,

$$\frac{\partial}{\partial t}T(t, x, y) \cong \frac{T(t + \Delta t, x, y) - T(t, x, y)}{\Delta t} \quad (3.19)$$

olarak yazılabilir. İlgili ifadelerin, konuma bağlı olarak, 2. dereceden türevleri alındığında,

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial x^2}T(t, x, y) &\cong \frac{T(t, x + \Delta x, y) - 2T(t, x, y) + T(t, x - \Delta x, y)}{\Delta x^2} \\ \frac{\partial^2}{\partial y^2}T(t, x, y) &\cong \frac{T(t, x, y + \Delta y) - 2T(t, x, y) + T(t, x, y - \Delta y)}{\Delta y^2} \end{aligned} \quad (3.20)$$

elde edilir. Eş. (3.19) ve Eş. (3.20) ifadeleri kullanılarak Eş. (3.18) ifadesi,

$$T(t + \Delta t, x, y) = T(t, x, y) + \Delta t \alpha \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}T(t, x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2}T(t, x, y) \right) \quad (3.21)$$

olarak yazılabilir. Bu ifadenin çözümü ile bilinen bir t anındaki sıcaklık dağılımı için belirli sınır koşulları altında konuma, ısı yayılım katsayısına ve zamana bağlı olarak 2D sıcaklık dağılımı belirlenebilmektedir.

3.4.1.3 3D Isı İletim Denklemi

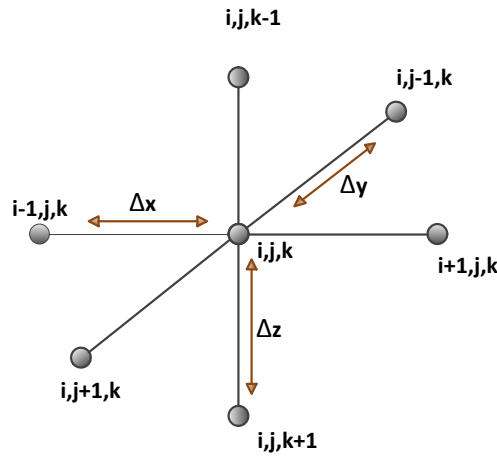
2D denklemin çözümüne benzer şekilde 3D ısı iletim yayılımı;

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} T(t, x, y, z) \cong \frac{T(t, x, y, z - \Delta z) - 2T(t, x, y, z) + T(t, x, y, z + \Delta z)}{\Delta z^2} \quad (3.22)$$

ifadesinden de yararlanılarak,

$$\begin{aligned} T(t + \Delta t, x, y, z) &= T(t, x, y, z) \\ &+ \Delta t \alpha \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} T(t, x, y, z) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} T(t, x, y, z) + \frac{\partial^2}{\partial z^2} T(t, x, y, z) \right) \\ &= T(t, x, y, z) + \Delta t \alpha \left(\frac{T_{x-1,y,z} - 2T_{x,y,z} + T_{x+1,y,z}}{\Delta x^2} + \right. \\ &\quad \left. \frac{T_{x,y-1,z} - 2T_{x,y,z} + T_{x,y+1,z}}{\Delta y^2} + \right. \\ &\quad \left. \frac{T_{x,y,z-1} - 2T_{x,y,z} + T_{x,y,z+1}}{\Delta z^2} \right) \end{aligned} \quad (3.23)$$

Eş. (3.23)'de yer aldığı şekilde yazılabilmektedir. Bu ifadenin çözümü ile bilinen bir t anındaki sıcaklık dağılımı için belirli sınır koşulları altında konuma, ısı yayılım katsayısına ve zamana bağlı olarak 3D sıcaklık dağılımı belirlenebilmektedir. Şekil 3.18'de 3D ısı iletim denkleminin çözümünde kullanılan indisleme yapısına ait bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 3.18 3D ısı iletim denkleminin çözümünü oluşturan yapı

3.4.1.4 Görüş Faktörü

Görüş faktörü ($F_{i,j}$), i yüzeyinden yayılan ve j diğer yüzeylere ulaşan enerji anlamına gelmektedir. Çoklu görüş faktörü ($B_{i,j}$) için ilk tahmin, i yüzeyinden yayılan bir kısım enerjinin j yüzeyi tarafından doğrudan yutulmasıdır.

$${}^0B_{i,j} = F_{i,j}\varepsilon_j \quad (3.24)$$

İfade içerisinde yer alan “0”, i yüzeyinden ayrılan enerjinin kaç defa yansıtıldığıdır. i yüzeyinden ayrılan enerjinin tümü, j tarafından yutulduğundan yansıma 0'dır. i yüzeyinden ayrılan ve diğer tüm k yüzeylerinden yansıtılan enerji:

$${}^1R_{i,k} = F_{i,k}(1-\varepsilon_k) \quad (3.25)$$

i yüzeyinden ayrılan bir kısım enerji, diğer k yüzeyleri tarafından yansıtılır ve j yüzeyi tarafından yutulur. Çoklu görüş faktörünün hesaplanmasında ikinci tahmin ise i yüzeyinden ayrılan bir kısım enerjinin doğrudan j yüzeyinden yutulmasıdır:

$${}^1B_{i,j} = {}^0B_{i,j} + {}^1R_{i,k}F_{k,j}\varepsilon_j \quad (3.26)$$

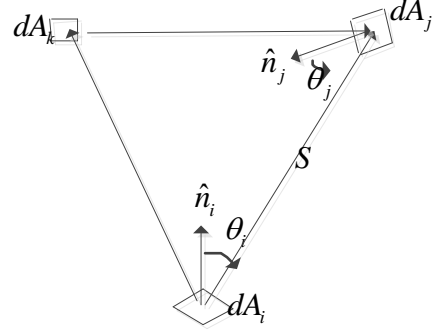
i yüzeyinden yayılan, diğer bütün j ve k yüzeylerinden de yansıtılan enerji:

$${}^2R_{i,k} = {}^1R_{i,j}F_{j,k}(1-\varepsilon_k) \quad (3.27)$$

N sayıdaki yansımadan sonra tahmini çoklu saçılma ışınma faktörü:

$${}^NB_{i,j} = {}^{N-1}B_{i,j} + {}^NR_{i,k}F_{k,j}\varepsilon_j \quad (3.28)$$

olarak yazılabilmektedir. ${}^NB_{i,j}$ değeri ve ${}^{N-1}B_{i,j}$ değerine yakın bir değer olduğunda (tolerans dâhilinde) tahmin süreci sonlandırılmaktadır.



Şekil 3.19 Görüş faktörü geometrisi

Şekil 3.19’da görüş faktörü geometrisi gösterilmektedir.

3.4.1.5 Sıcaklığın Hesaplanması

Belirtik (explicit) ve örtük (implicit) çözüm methodu, kısmi türevli denklemlerin çözümünde kullanılan nümerik yöntemlerdir. Belirtik method, “merkezi fark” nümerik metodu olarak örtük method ise, “ileri fark” nümerik methodu olarak adlandırılmaktadır. Bununla birlikte, belirtik çözümün kararsızlığı dolayısıyla nümerik hesaplamalarda çoğunlukla örtük method tercih edilmektedir. Yazılım, geçici düğüm sıcaklıklarını belirlemek için örtük tekniği kullanmaktadır.

3.4.1.5.1 Örtük Çözüm

Örtük çözüm yönteminde yeni sıcaklıklar (T_i'), kendi zaman aralığındaki sıcaklıkların kullanılmasıyla bulunur. Örtük fark ifadesi Eş. (3.29) 'de verilmektedir.

$$\frac{CAP_i}{\nabla t}(T_i T_i) = \sum_{j=1}^N \left[C_{i,j} \left(\frac{T_j' + T_j}{2} - \frac{T_i' + T_i}{2} \right) \right] + Q_i \quad (3.29)$$

Bilinmeyen T_i' sıcaklığı, diğer bilinmeyen T_j' sıcaklığına bağlı olduğundan, her yeni adım için matris veya iteratif çözüm tekniği kullanılmaktadır.

$$T_i' = \frac{\left[\sum_{j=1}^N C_{i,j} T_j + \sum_{j=1}^N C_{i,j} T_j' + 2Q_i - T_i \sum_{j=1}^N C_{i,j} \left(1 - \frac{2}{STAB_i} \right) \right]}{\sum_{j=1}^N C_{i,j} \left(1 + \frac{2}{STAB_i} \right)} \quad (3.30)$$

Yakınsaklık, mevcut iterasyon ile bir önceki iterasyon arasındaki sıcaklık farkı belirli bir tolerans seviyesinin altında olduğunda sağlanmaktadır. Belirlenen tolerans seviyesi, doğrudan hesaplama zamanını etkilemektedir. Tolerans değerinin düşük seçilmesi hesaplama zamanını artırmaktadır.

KÖ-ISIT yazılımı, RadThermIR yazılımı tarafından üretilen ilgili platform(lar)a ait sıcaklık / ışımaya verilerini de görselleştirebilmekte ve bu kapsamda KÖ-SÜ yazılımına arayüz sağlama işlevlerini de yerine getirebilmektedir.

3.4.2 RadThermIR Yazılımı

RadTherm(IR) yazılımı, belirli geometriler ve ilgili senaryolar altında kararlı hal ve geçici ısı ısı aktarım hesaplamalarının gerçekleştirilmesinde kullanılabilen bir yazılım paketidir. RadThermIR yazılımı kara, hava ve deniz platformlarının ısı benzetimini gerçekleştirmekte ve sıcaklık ve / veya KÖ ışımaya öngörüsü amacıyla kullanılmaktadır. RadThermIR yazılımı, 3D iletim, taşınım, ışımaya ile akışkan akışıyla ısı geçişine dair hesaplamaları gerçekleştirebilmektedir.

RadThermIR yazılımı ile kullanıcı, ilgili geometriye ait fiziksel sıcaklık, görünen sıcaklık ile bant içi ışınımı hesaplayabilmektedir. Yazılım, yansıma

ve ısı gölge gibi etkilerin benzetimini gerçekleştirebilmektedir. Yazılım araziler için; farklı bitki ve toprak çeşidi altında sıcaklık / ışımaya öngörüsünde bulunabilmektedir.

Yazılım, gökyüzü ve karasal yansımaların, arka planların, iki yönlü yansıma dağılım fonksiyonu (BRDF) sayesinde de spektral boyalı yüzeylerin KÖ ışımaya öngörüsünü gerçekleştirebilmektedir.

Yazılım kapsamında görüş faktörü hesaplanması ile birlikte birbirlerine bakan yüzeylerin birbirlerine olan ışımaya etkileri hesaba katılabilmektedir. Görüş faktörü, güneş aydınlatmalı alanlar, ışınsallık (radiosity) ve görünen sıcaklık hesaplamalarında ışın izleyici kullanılmaktadır. Konuma dayalı, güneş ve hava durumu verileri ile doğal çevre koşulları da hesaplamalarda göz önünde bulundurulabilmektedir. Çevresel etmenler (güneş, gökyüzü, yağış, dış ısı ve yeryüzü yayılımı gibi) kullanıcı girdisi olarak veya içsel olarak da hesaplanabilmektedir. Çevresel sınır koşulları; çekirdek (core) sıcaklığı, nem, yağmur hızı, gökyüzü sıcaklığı, doğrudan ve saçılmış güneş ışımaya gibi veriler ile belirlenmektedir. Yazılımın içerisinde;

- Malzeme özellikleri (fiziksel ve ısı),
 - Yüzey özellikleri (ısı yayılım ve güneş yutulması),
 - Boya özellikleri, bant ışımaya için spektral yüzey verisi,
- gibi verileri, yaygın olarak kullanılan malzemeler için, içeren bir kütüphane bulunmaktadır.

Yazılım ısı iletimi, ısıyayım ve ışınım hesaplamalarına dayalı enerji dengesi sergilemektedir. Tüm sıcaklık ve ısı yükü verileri sabit veya zamanla değişen fonksiyon olarak kullanıcının takdirine göre girdi olarak belirlenebilmektedir.

Yazılım, ek modüller dâhilinde atmosfer verilerini MODTRAN yazılımından elde ederek kullanabilmektedir.

Yazılım; FLUENT, STAR-CFD gibi HAD yazılımları tarafından sağlanan ısı taşınım katsayısı gibi hesaplama sonuçlarını kullanabilmektedir.

3.5 KÖ Sensör Modeli Yazılımı (KÖ-SENSÖR)

KÖ dalgaboyunda çalışan algılayıcıların sebep olduğu imgede bozulmaların benzetime katılması benzetimin sadakat seviyesini artırmak açısından önemlidir. KÖ görüntüleme sisteminin algıladığı şekilde imgelerin benzetimini yapma kabiliyetinde olan KÖ Sensör Modeli yazılımları, sentetik KÖ Sahne üreteçi yazılımlarının önemli bir parçasıdır.

KÖ sahne imgesi içerisinde, ilgili sahenin algılanmasında kullanılan KÖ algılayıcı sistemine bağlı olarak ortaya çıkan bozulmalar (bulanma ve gürültü), hedef tespit algoritmalarının başarımını önemli oranda etkileyebilmektedir. Özellikle, atmosferik etkilerin baskın olduğu durumlar altında imge bozulmalarına bağlı olarak platformun uzak mesafelerden tespit edilebilme olasılığı önemli ölçülerde azalabilmektedir [40]. İmgede bozulmalara bağlı olarak hedef tespit algoritmaları üzerinde kontrollü gerçekleştirilecek deneyler, ilgili algoritmalara ait parametre değerlerinin iyileştirilmesi açısından önem arz etmektedir [41].

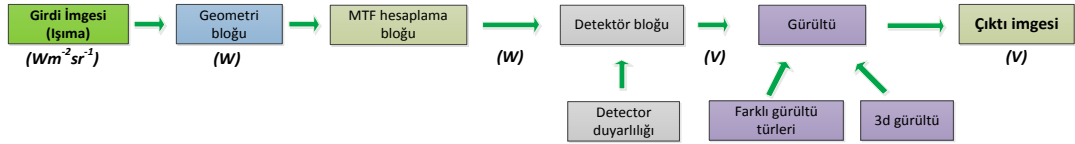
İmgede bulanma miktarı görüntüleme biriminin içerdiği optik sistem, algılayıcı ve algılayıcı sonrası elektronik birimlerin karakteristiklerine; atmosferik etkilere ve görüntülenen platforma göre görüntüleme biriminin hareketlerine bağlıdır [42].

KÖ-SENSÖR yazılımı, bulanmanın benzetilmesi amacıyla MTF tabanlı bulanma modellerinden [29] ve gürültünün benzetilmesi amacıyla 3D gürültü modelinden [43] yararlanmaktadır. 3D gürültü modeli, özellikle KÖ bandında çalışan sezimcileri içeren görüntüleme birimlerinde etkin olan tüm gürültü tiplerini (sabit desende gürültü - FPN - fixed pattern noise veya zamanda rastlantısal gürültü gibi) modelleme kabiliyetine sahiptir.

İmgede bulanmanın benzetimi yapılırken; sentetik imgenin Fourier dönüşümü gerçekleştirilmekte, daha sonra imgede bulanma miktarını Fourier alanında nicelendiren Optik Transfer Fonksiyonu (OTF) bu dönüşümle çarpılmakta ve daha sonra ise ters Fourier dönüşümü ile uzamsal koordinatlara dönülmektedir [29]. Tüm bu işlemlerin hesapsal yükü oldukça yüksek olmakta ve gerçek zamanlı çalışabilen KÖ-SENSÖR modülü için hız kapsamındaki başarımlarını ağırlıklı olarak bu işlemler oluşturmaktadır.

Yazılımın yüksek çözünürlükteki (yüksek imge boyutlarındaki) imgeler için yüksek hızlarda (gerçek zamanlı) çalışmasının sağlanabilmesi amacıyla, paralelliği yüksek hesaplamalar GPU üzerinde gerçekleştirilmektedir [32]. Yazılım kapsamında, veri aktarımı gereksiniminin (özellikle GPU \rightleftharpoons CPU) en aza indirgenmesi ve koşu süresinin azaltılması amacıyla CUDA™ kütüphanesi, OpenCV ve NPP kütüphanesine ait veri tiplerinin ortak kullanılabilirdiği bir yapı oluşturulmuştur [40].

KÖ-SENSÖR modülü, KÖ-SÜ yazılımı tarafından oluşturulan sentetik imgeler üzerinde; fizik tabanlı modellere dayalı olarak, bir KÖ görüntüleyicisinin algıladığı imgelerin benzetimini yapmaktadır [29]. Modül, ilgili benzetimlerde, kullanıcı tarafından belirlenen parametre değerlerine bağlı olarak; optik sistem, sezimci, sezimci sonrası elektronik, atmosfer ve hareketin sebep olduğu imgede bozulmaları benzetmektedir [44]. Modül, hesapsal olarak maliyeti yüksek olan imgede bozulmaları yüksek çerçeve hızlarında uygulayabilmektedir.



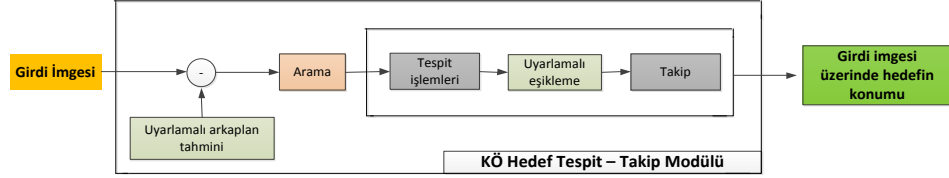
Şekil 3.20 KÖ-SENSÖR yazılım bileşenlerinin gösterimine ait şematik

Şekil 3.20’de KÖ-SENSÖR modülü yazılımı dâhilinde yer alan bileşenlerinin şematik olarak gösterimi ile modüle girdi olarak sağlanan sentetik imgenin çıktı olarak üretebilmesi adına yer alan ara basamaklar, sırasıyla, gösterilmektedir.

3.6 KÖ Hedef Tespit - Takip Yazılımı (KÖ-HTT)

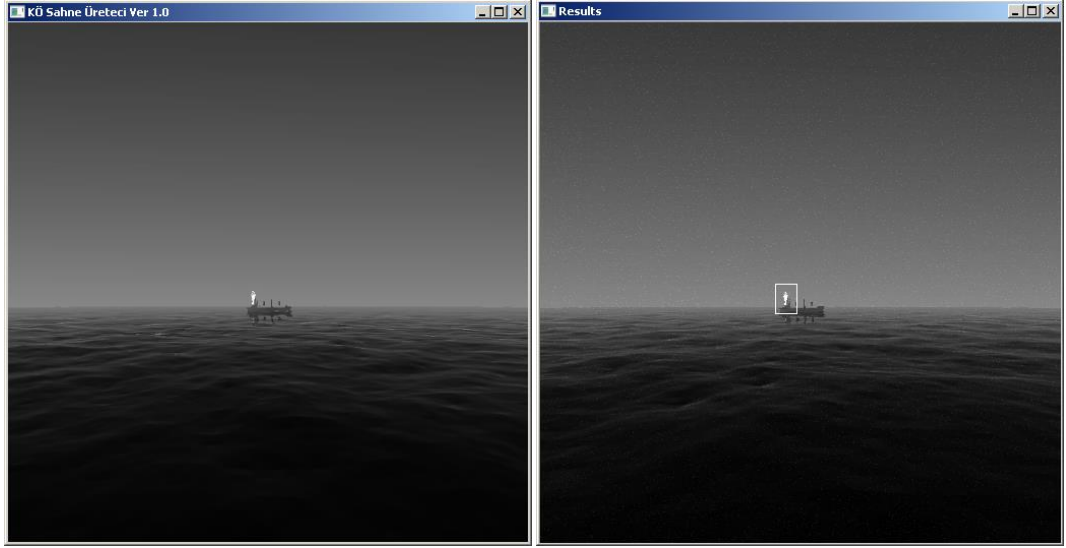
KÖ Hedef Tespit - Takip Yazılımı (KÖ-HTT), sahne içerisinde yer alan platform(lar)ın tespit ve takibi amacıyla kullanılmaktadır. Algoritma ilgili platform(lar)ın tespitinde, arkaplan çıkarımı ve basit morfolojik işlemleri kullanmaktadır.

Şekil 3.21'de KÖ-HTT yazılımı dâhilinde yer alan bileşenlerinin şematik olarak gösterimi ile modüle girdi olarak sağlanan sentetik imgenin çıktısı olarak üretebilmesi adına yer alan ara basamaklar, sırasıyla, gösterilmektedir.



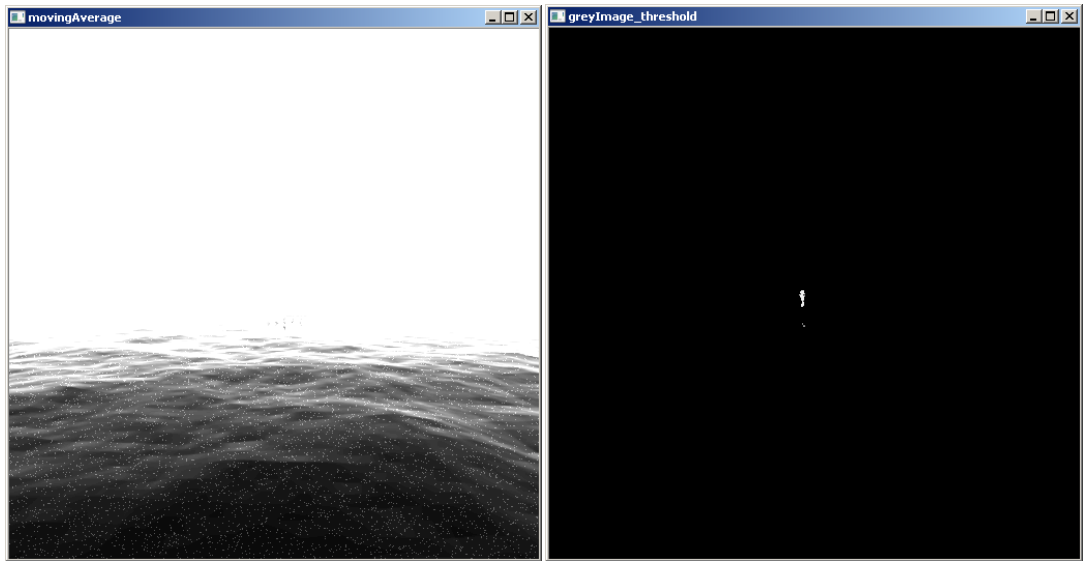
Şekil 3.21 KÖ-HTT yazılım bileşenlerin gösterimine ait şematik

Şekil 3.22'de KÖ-HTT yazılımı kapsamında yer alan algoritmanın girdi ve çıktısı yer almaktadır.



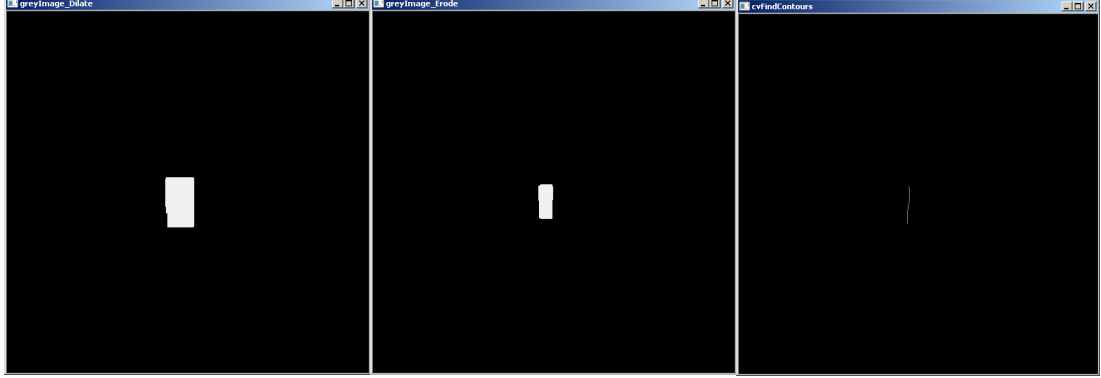
Şekil 3.22 KÖ-HTT yazılımı girdi ve çıktısının gösterimi

KÖ-HTT yazılımının çalışma aşamaları ve ürettiği çıktılar sırasıyla Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de yer almaktadır. KÖ-HTT algoritması öncelikle ilgili imge piksel değerlerinin belirli bir değer aralığında ortalamasını almakta, daha sonra ilgili imge piksel değerlerini belirli bir eşik seviyesi değer aralığına getirmektedir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 KÖ-HTT algoritması ortalama ve eşikleme çıktıları

Algoritma daha sonra ilgili imgeyi, belirli bir değerde genişletmekte (dilate) ve aşındırmaktadır (erode) (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 KÖ-HTT algoritmasına ait genişletme, aşındırma ve konturlama işlemi

En son olarak girdi imgesi üzerinde tespit edilen hedefin üzerine bir hedef tespit kapısı çizdirilmekte ve bu imge çıktı imgesi olarak sunulmaktadır (Şekil 3.22). Yazılım bütün bu işlemleri gerçekleştirmek adına, 256x256 imge boyutu için, ortalama bir bilgisayar üzerinde, yaklaşık 3 milisaniye zaman (300 Hz) harcamaktadır.

3.7 Sahnenin Geçerlenmesi

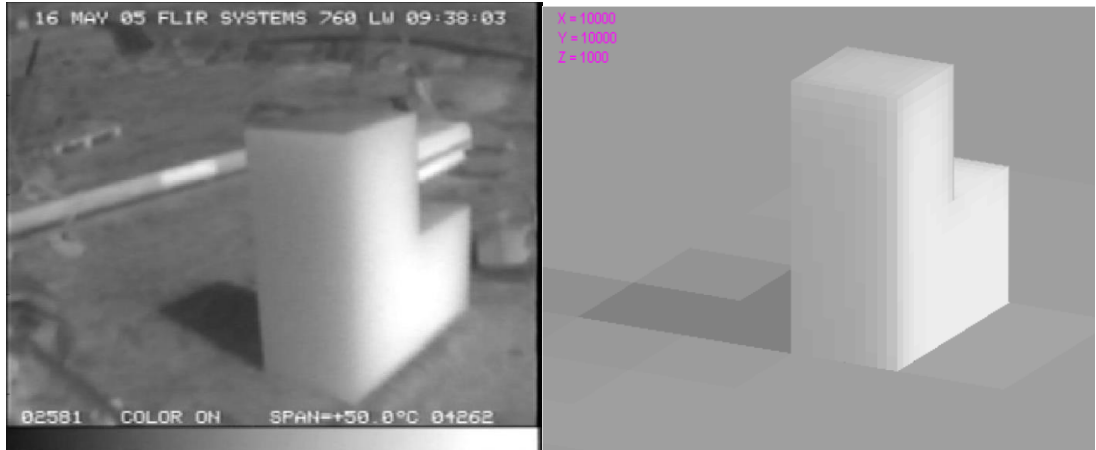
Tez kapsamında geliştirilen yazılımın doğruluğunun / geçerliliğinin belirlenmesi amacıyla elde edilen sonuçların karşılaştırılması ve elde edilen sonuçlara göre yazılımın güncellenmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Bu kapsamda CUBI;

- Karmaşık bir geometriye sahip olmaması, buna karşın ışıma açısından önemi bulunan bileşkelerin etkisinin tahmininde kullanılabilmesi,
- Üzerinde yer alan malzemelerin / kaplamaların ısısal ve optik özelliklerinin yüksek doğrulukta bilinmesi sebebiyle deneylerin kontrollü olarak yapılabilmesine imkân sağlaması,

- Güneşin günün zamanına ve platformun dünya üzerindeki konumuna (enlem ve boylam gibi) bağlı olarak oluşturduğu güneş ışınları kendi kendine gölgeleme, kendi kendine ışıma (görüş faktörü gibi), ısı aktarım mekanizmaları (iletim, taşınım ve ışıma) gibi bileşenlerin etkilerini barındırması,

gibi sebepler dolayısıyla ısı aktarımlara ait çalışmalarda yoğun olarak kullanılmaktadır.

Yazılım (KÖ-ISIT) tarafından üretilen çıktılar, CUBI üzerinde bulunan sıcaklık algılayıcıları tarafından elde edilen veriler ile karşılaştırılarak yazılımının doğrulanması / geçerlenmesi faaliyetleri yürütülmektedir. Günün farklı koşullarında CUBI üzerinde oluşan sıcaklık farklılıkları sonrasında elde edilecek veriler ile birlikte nesnenin dünya üzerindeki konumuna ve zamana bağlı olarak ortaya çıkan etkiler incelenebilmektedir. Şekil 3.25'de bir ısı aktarım yazılımının geliştirilmesi aşamasında kullanılmak amacıyla tasarlanmış olan bir düzenek kapsamında 16 Mayıs 2005 tarihi saat 09.38'de LWIR kamera ile elde edilen CUBI görüntüsü ve RadThermIR yazılımı kullanılarak o anki meteoroloji parametre değerleri için gerçekleştirilen benzetim gösterilmektedir [45].

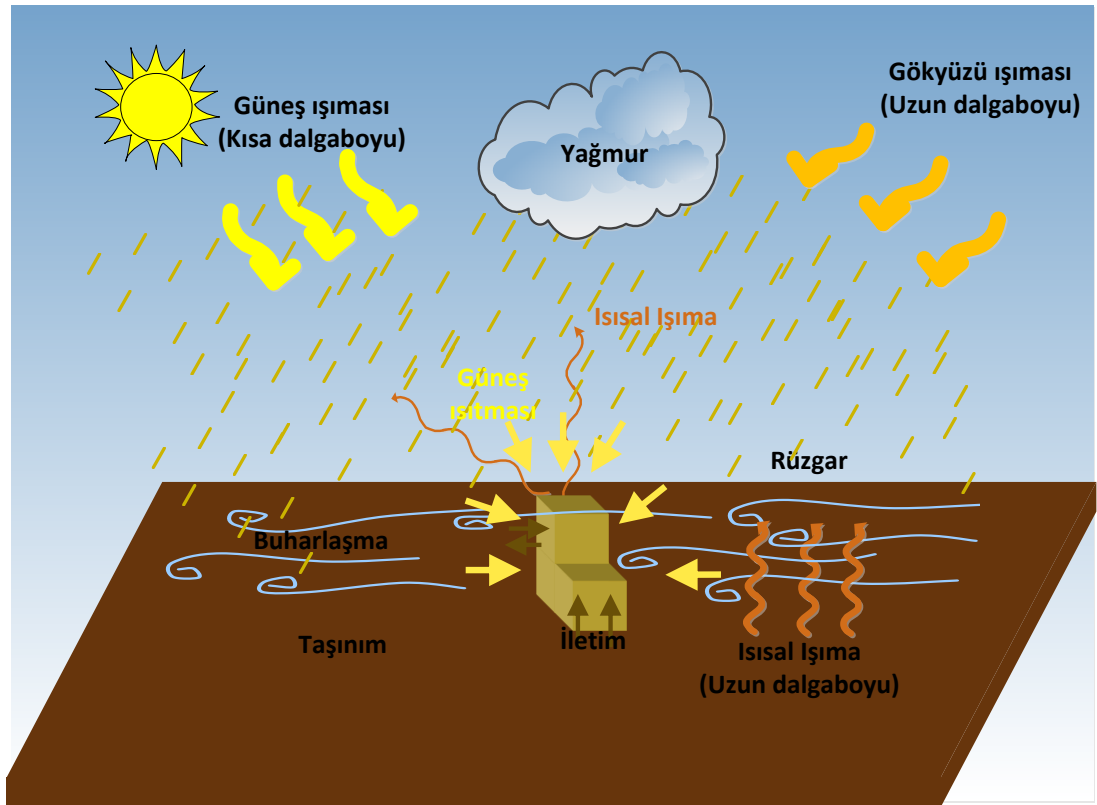


Şekil 3.25.a. CUBI ölçümü **b.** RadThermIR CUBI benzetimi

3.7.1 CUBI Düzeneği

CUBI, 1995 yılında ilk olarak PRISM yazılımının elde ettiği sonuçların test edilmesi amaçlı olarak ortaya atılmış bir geometridir [46]. Şekil 3.26'da CUBI nesnesinin, dış ortamda, sıcaklığı / KÖ ışması üzerine etkisi bulunan bileşenler şematik olarak gösterilmeye çalışılmaktadır. Platform üzerinde yer alan her bir yüzey parçacığının (yama) sıcaklıkları / ışmaları;

- Yüzey özellikleri (yayma / yansıtma özellikleri gibi),
 - Ortam özellikleri (güneşin ısıtması, rüzgârın ısı iletimi, atmosferik soğurma gibi),
- bağlı olarak değişebilmektedir.



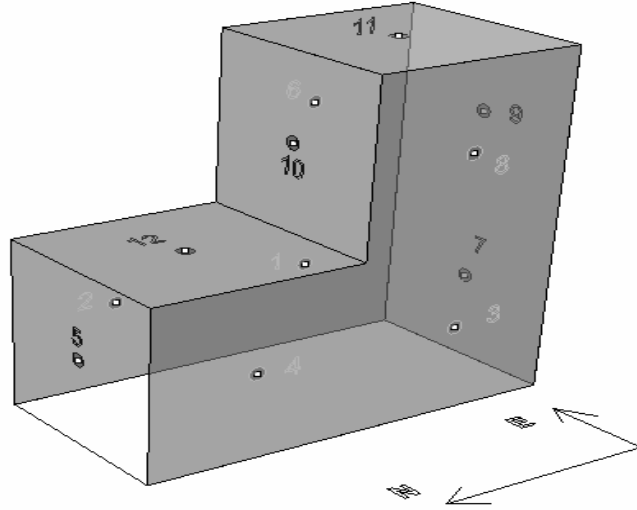
Şekil 3.26 Bir nesne (CUBI) üzerinde ışıma katkısı olan bileşenlerin gösterimi

Sistem, birçok ülke tarafından ısı etkileşim çalışmaları kapsamında kara veya deniz üzerinde konumlandırılmış belirli bir platformun, dış ortam etkileri (atmosferik ortam, güneş ve gökyüzü gibi) sebebiyle maruz kaldığı ısınma ve soğuma gibi olguların anlaşılmasında kullanılmıştır [45]. Çalışmalarda yer alan karşılaştırmalar sonucunda elde edilen sonuçların, mevcut bulunan yarı-deneysel ve / veya deneysel olmayan hesaplama yöntemlerinin doğruluğunun belirlenmesi, geçerlenmesi ve / veya yeniden gözden geçirilmesi kapsamında öneminin büyük olduğu vurgulanmaktadır.

Literatürde,

- ThermoAnalytic firması tarafından geliştirilen MuSES 6.0 (2001) [46] ile RadThermIR [47] yazılımının kabiliyetlerinin gösterilmesi ve hali hazırda bulunan modellerinin geliştirilmesi kapsamında,
- Belçika Royal Military Academy (RMA), İsrail-IARD, Almanya FGAN-TOM [45] gibi kurum ve kuruluşlar yazılımlarının elde ettiği sıcaklık verilerinin ve modellerinin doğrulanması, geçerlenmesi ve geliştirilmesi faaliyetleri kapsamında [47],
- OKTAL-SE firması tarafından geliştirilen IR-Workbench yazılımı içerisinde yer alan SE-THERMAL modülünün geçerlenmesi kapsamında [47],

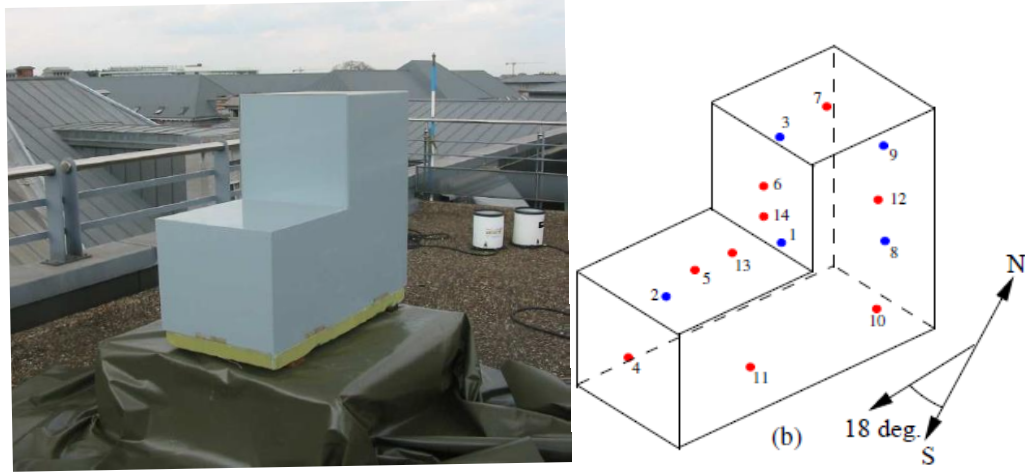
CUBI düzeneğinin kullanıldığı belirtilmektedir. Bu kapsamda yazılımlarının üretmiş oldukları çıktılar (ışınırılık ve / veya sıcaklık) farklı ortam koşulları altında CUBI düzeneği üzerinden elde edilen değerler ile karşılaştırılarak doğrulama ve geçerleme faaliyetlerinin yürütüldüğü belirtilmektedir.



Şekil 3.27 CUBI ve üzerinde barındırdığı sıcaklık ölçer uç konumlarının gösterimi

3.7.1.1 Belçika

Belçika tarafından yapılan test Brüksel'de gerçekleştirilmiştir. CUBI düzeneği, Çizelge 3.1'de detayları yer alan ve Şekil 3.28'de gösterildiği üzere 4 mm çelik (mild steel), ısısal yalıtımın sağlanabilmesi için arka tarafında 50 mm kalınlığında poliüretan ve 20 mm kalınlığında OSB'den oluşturulmuştur [47]. Testin, açık gökyüzü şartlarında gerçekleştirildiğinden bahsedilmektedir. Sisteme ait yüzey sıcaklıkları, 14 adet Alumel – Chromel K-tipinde ısı çifti (thermocouple) yardımıyla ölçülmüştür.

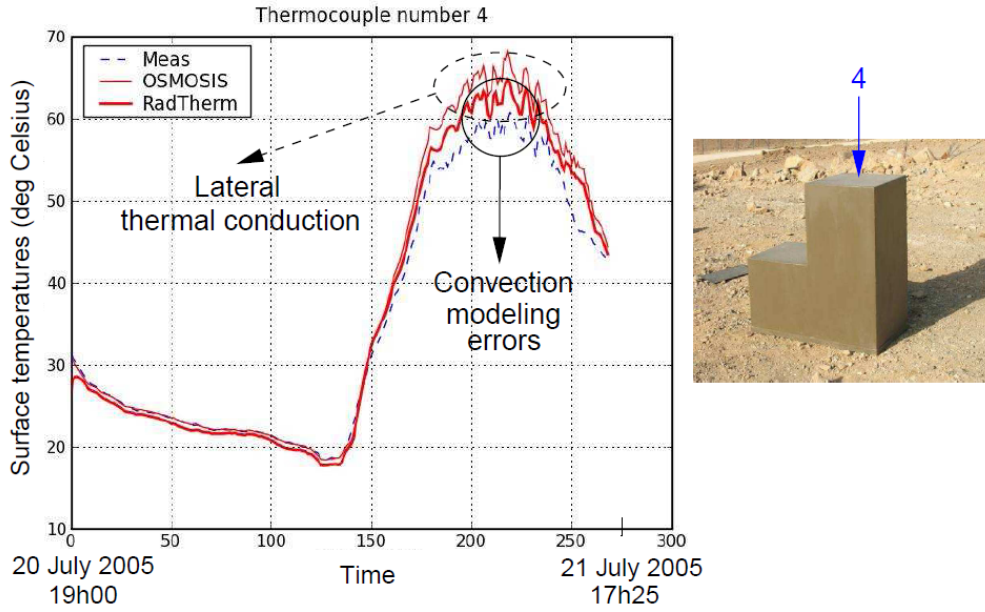


Şekil 3.28 CUBI düzeneği ve sıcaklık ölçer uç konumlarının gösterimi

3.7.1.2 İsrail

İsrail tarafından yapılan deney Negev çölünde gerçekleştirilmiştir. Sistem, 4 mm çelik ve ısısal yalıtımın sağlanabilmesi için arka tarafında 10 mm kalınlığında “köpüklü poliüretan” dan oluşturulmuştur [47]. Oluşturulan test düzeneği açık gökyüzü şartlarında ve CUBI düzeneği kuru çakıl üzerine konumlandırılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi amacıyla 18 adet Alumel – Chromel K-tipinde ısı çifti kullanılmıştır.

Şekil 3.29’da İsrail tarafından oluşturulan CUBI düzeneği üzerinde 4 numaralı algılayıcı için ölçüm sonuçları ile OSMOSIS ve RadTherm tarafından elde edilen sıcaklık sonuçlarının karşılaştırılması ve olası hata kaynaklarının gösterimi yer almaktadır.

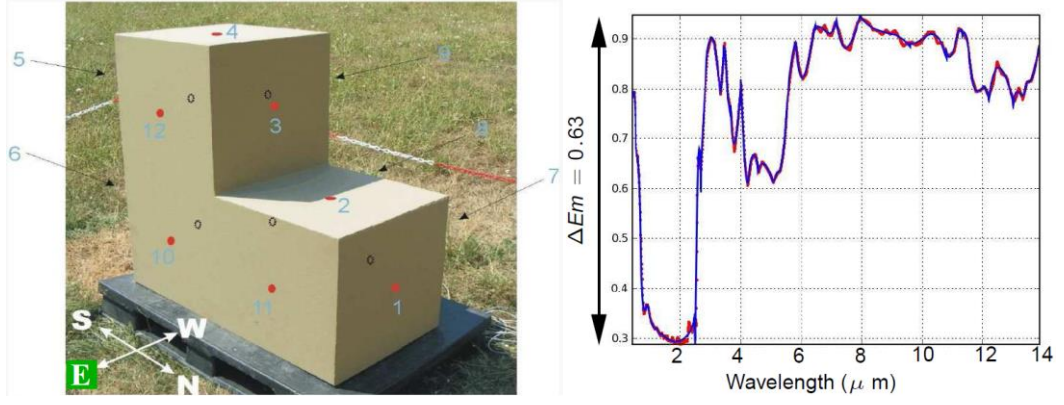


Şekil 3.29 Ölçüm ile OSMOSIS & RadTherm sonuçlarının karşılaştırılması

3.7.1.3 Almanya

Almanya tarafından gerçekleştirilen test, Ettlingen'de gerçekleştirilmiştir. Sistem, 4 mm çelik (steel) ve ısısal yalıtımın sağlanabilmesi için arka tarafında 10 mm kalınlığında köpüklendirilmiş polystyrene'den oluşturulmuştur. Oluşturulan test düzeneği açık gökyüzü şartlarında ve CUBI düzeneği çimen üzerine yerleştirilmiş siyah polyethylene üzerine konumlandırılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey sıcaklıkları 10 adet PT-1000 ısıldirenç (thermistor) yardımıyla ölçülmüştür. Isıldirençler çelik plakanın arkası ile ısısal (thermal) yalıtım tabakasının arasına yerleştirilmiştir.

Şekil 3.30'da Almanya'ya ait CUBI düzeneğinin üzerinde barındırdığı sıcaklık ölçer uç konumlarının ve düzeneğin üzerinde bulunan yüzey boyasına ait yayıcılık değerlerinin gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.30 CUBI düzeneği sıcaklık ölçer uç ve yüzey yayıcılık değerleri

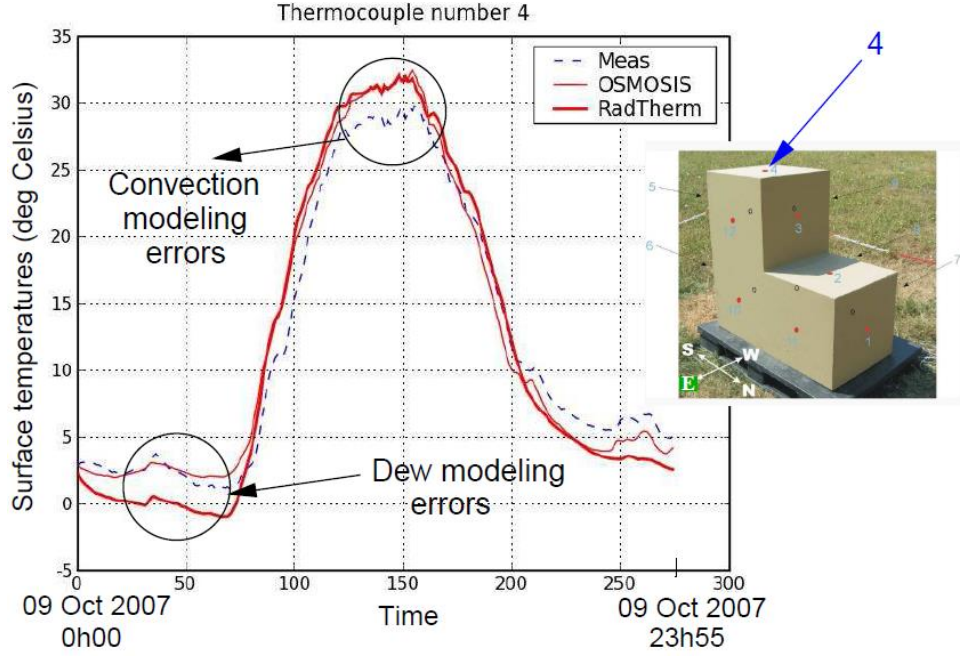
Şekil 3.31'de Almanya tarafından gerçekleştirilen deney kapsamında CUBI düzeneği yakınına konumlandırılmış meteorolojik veri istasyonuna ait bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 3.31 CUBI düzeneği meteorolojik veri istasyonu gösterimi

Şekil 3.22'de Almanya'ya ait CUBI düzeneği üzerinde 4 numaralı algılayıcı için ölçüm sonuçlarının OSMOSIS & RadTherm yazılımları

tarafından elde edilen sıcaklık sonuçlarıyla karşılaştırması ile olası hata kaynaklarının gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.32 Ölçüm ile OSMOSIS & RadTherm sonuçlarının karşılaştırılması

3.7.1.4 CUBI Düzenegi

Farklı ülkeler tarafından oluşturulan CUBI düzenekleri üzerinde yer alan yüzeylere ait malzemelere ait parametre ve değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.1'de yer almaktadır. Buna göre CUBI geometrisini oluşturan malzemelerin yaklaşık olarak benzer oldukları göz önünde bulundurulduğunda bileşen özelliklerinin standartlaştırıldığından bahsedilebilir.

Çizelge 3.1 Farklı ülkelere ait CUBI malzeme özellikleri

	RMA (Belçika)			IARD (İsrail)		FGAN-FOM (Almanya)		
	Mild Steel	Poly-urethane	OSB	Mild Steel	Foamed Polyurethane	Mild Steel	Foamed Polystyrene	Poly-ethylene
Yoğunluk $\rho(Kg / m^3)$	7769	20	545	7769	20	7769	25-200	940
Öz ısı $c_p (J / KgK)$	461	1350	1215	461	1350	461	1300	2100
Isıl iletkenlik $k(W / mK)$	52	0.035	0.13	52	0.035	52	0.08	0.35
Yutuculuk	0.85	0.93	0.92	0.859	0.93	0.507	0.93	0.94
Yayıcılık	0.90	0.9	0.92	0.942	0.9	0.865	0.9	0.92
Kalınlık (m)	0.004	0.046	0.02	0.004	0.02	0.004	0.01	-

Şekil 3.33’de CUBI düzeneği üzerinde barındırdığı sıcaklık ölçer uç konumları ve iç yalıtım kaplamasının gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.33 CUBI düzeneği sıcaklık ölçer uç konumları ve kaplama gösterimi

4. UYGULAMA VE SONUÇLAR

Bu bölümde, tez kapsamında geliştirilen yazılımın kabiliyet / zafiyet ve başarımlarının belirlenmesi amacıyla oluşturulan test senaryoları ve bu senaryolara ait sonuçlar yer almaktadır. Testler, Çizelge 4.1'de yer alan sistem özelliklerine sahip bir bilgisayar üzerinde koşturulmuştur.

Çizelge 4.1 Koşullarda kullanılan bilgisayara ait özellikler

İşlemci	Intel Core i7 3.5 GHz
Sistem RAM	8 GB
GPU	Nvidia 680 GTX 2048 Mbyte
GPU çekirdek sayısı	1536

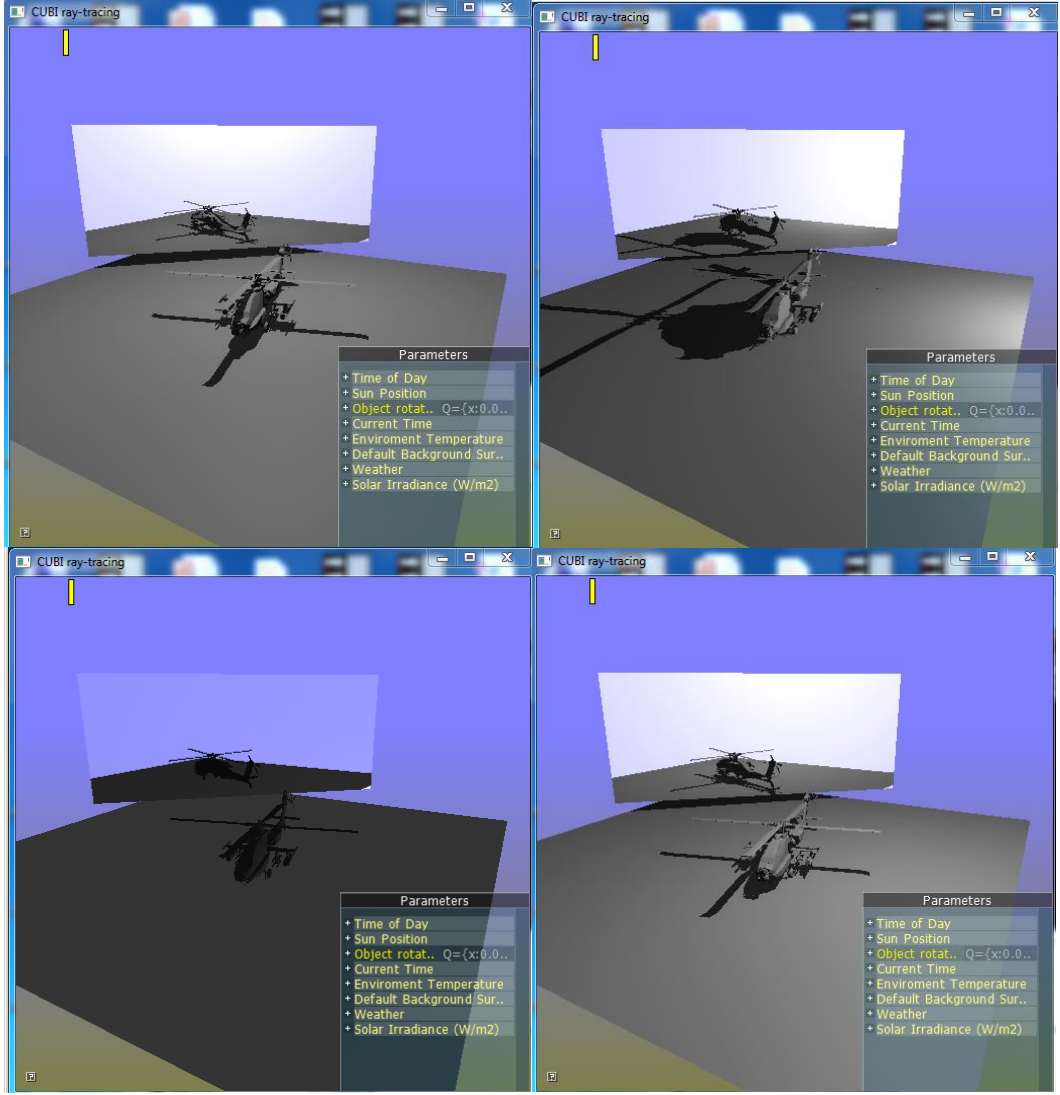
Tez kapsamında yer alan MODTRAN (sürüm 5.2.1) ve RadThermIR (sürüm 11.0.0) yazılımları ThermoAnalytics firmasından elde edilen deneme lisansı kapsamında kullanılmışlardır.

4.1 Test Senaryosu 1

Bu test senaryosunda CUDA kütüphanesi yardımıyla hesaplanmış 1D, 2D ve 3D ısı transferlerinin gerçekleştirilme zamanları ile ısı transferlerinin hesaplanmasında yer alan ışın izleme algoritması arayüzü ve çıktıları verilmektedir. Görüş faktörünün hesaplanması ışın izleme algoritması kapsamında gerçekleştirilmektedir.

4.1.1 Benzetim ve Sonuçları

Bu bölümde test senaryosuna ait benzetim ve sonuçları yer almaktadır. Şekil 4.1'de ışın izleme algoritmasına ait geliştirilen arayüz ve güneşin farklı konumları için üretmiş olduğu çıktılar gösterilmektedir. İlgili ışın izleme yazılımı GPU üzerinde (CUDA) koşturulmaktadır. İlgili yazılımın hesaplama süresi doğrudan yama sayısı ve ışın izlemenin hesaplandığı aşama (bounce level) sayısına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. İlgili test senaryosunda 15000 adet yama ve 2 aşama kullanılmaktadır. Bununla birlikte ilgili yazılımın hesaplama süresi, gerçekleştirmiş olduğu hesapsal olarak maliyeti yüksek işlemlerin sonucu olarak, ortalama bir bilgisayar işlemci gücü (GPU) altında 2 Hz civarında kalmaktadır. Bu benzetimlerde ilgili nesneye ait herbir yamanın katkıları ayrı ayrı olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 4.1 Bir hava platformu için ışın izleme

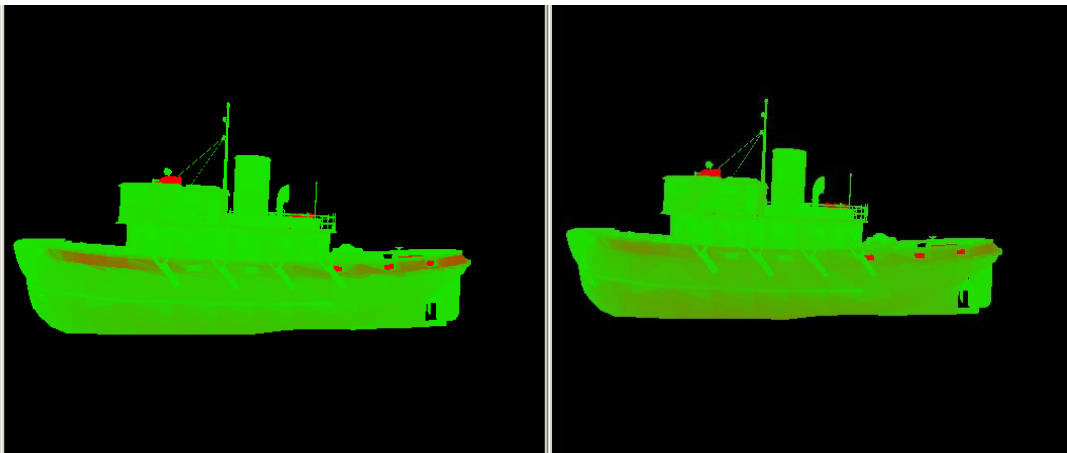
Çizelge 4.2 Yama sayısı & Çalışma hızı (Hz)

Yama sayısı	Çalışma Hızı (Hz)
15000	1-2
12000	10-12
500	50

Farklı poligon sayıları için gerçekleştirilen hesaplamalara ait hesaplama süreleri Çizelge 4.2'de yer almaktadır.

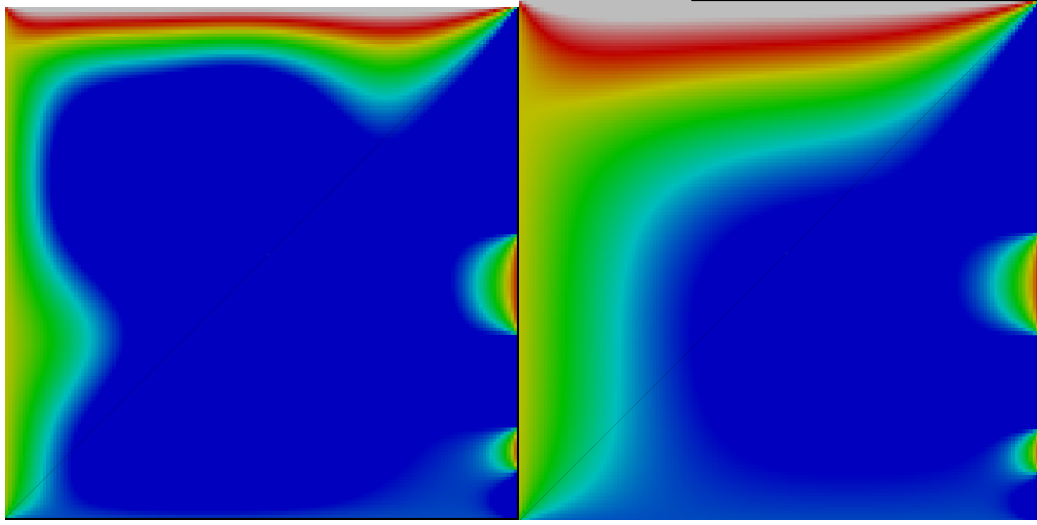
Işın izleme yönteminin, yüksek doğrulukta sonuçlar üretebiliyor olmasına rağmen çalışma hızının düşük olması (GPU üzerinde koşturulmasına rağmen) sebebiyle bu ve benzeri benzetimlerde; gerçek zamanlı olarak koşu ile birlikte hesaplanması yerine koşu öncesinde platformun koşu esnasındaki bütün yönelimler için veya sabit bir konum altında bir kez hesaplanması yaklaşımı kullanılmaktadır. Sabit konum altında görüş faktörleri koşu boyunca değişmeyeceğinden koşu öncesi hesaplanan değerler koşu boyunca da kullanılabilir. Literatürde, özellikle ısı transferlerin hesaplanmasında yaygın olarak bu yaklaşım (RadThermIR gibi) kullanılmaktadır. Bununla birlikte hareketli platformlara ait benzetimlerde platformun muhtemel bütün yönelimleri için koşu öncesi birçok hesaplama yapma zorunluluğu oluşmaktadır. Bu yaklaşım ise birçok zorluklar içermektedir.

Şekil 4.2'de belirli yüzeylerinin diğer bölgelerine nazaran daha sıcak olması dolayısıyla zamana bağlı olarak sıcaklıklarının yayılımını (diffusion) içeren bir senaryo sonrası elde edilen imgeler gösterilmektedir. Burada, kırmızı boyalı bölgeler soğuk, yeşil boyalı bölgeler ise soğuk kısımlarının gösteriminde kullanılmaktadır. Senaryo dâhilinde son sıcaklıkların hesaplanmasında 3D ısısal yayılım denklemleri kullanılmaktadır.



Şekil 4.2 3D ısısal iletim (kırmızı sıcak, yeşil soğuk)

Şekil 4.3'de belirli yüzeylerinin diğer bölgelerine nazaran daha sıcak olması dolayısıyla zamana bağlı olarak sıcaklıklarının yayılımını içeren bir senaryo dâhilinde belirli anlarda elde edilmiş olan imgeler gösterilmektedir. Burada yer alan imgelerden sol imge t_1 , sağ imge ise t_2 zamanında elde edilmişlerdir. Senaryo dâhilinde son sıcaklıkların hesaplanmasında 2D ısı yayılım denklemleri kullanılmaktadır.



Şekil 4.3 2D ısı iletim (Beyaz sıcak, mavi soğuk)

Çizelge 4.3'de 1D, 2D ve 3D olarak geliştirilen GPU tabanlı yazılımların düğüm sayısına karşılık olarak saniyede gerçekleştirebildikleri iterasyon sayıları gösterilmektedir [48]. Tablo da yer alan sonuçlar ile birlikte, daha yüksek bir işlemci gücü (GPU) ile daha yüksek hızlara ulaşılabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.3 Düğüm & İterasyon sayısı

	Düğüm sayısı	Saniyedeki İterasyon Sayısı
1D	20000	18000
2D	20000	15000
3D	20000	800

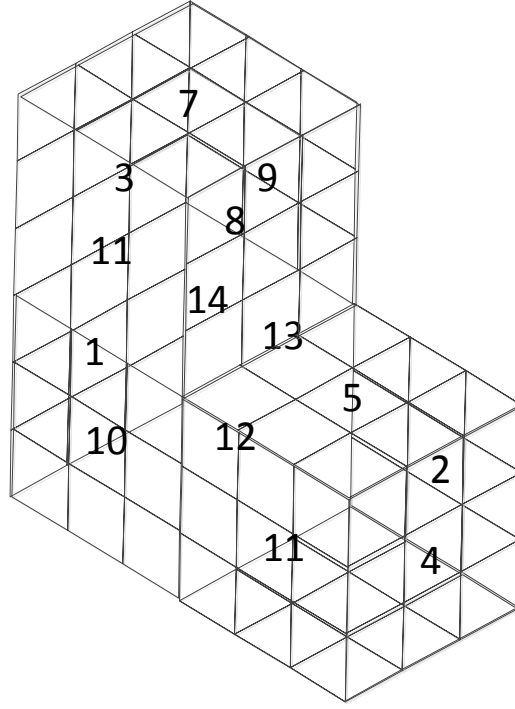
Isıl aktarımlar sonucunda elde edilecek olan son sıcaklıkların belirlenmesi iterasyonlar gerçekleştirilerek elde edilmektedir. Bu bakımdan, ısı transfer yazılımlarında düğüm sayısına karşılık olarak yazılımın gerçekleştirdiği saniyedeki iterasyon sayısı, benzetimin gerçekleşme zamanı açısından önem taşımaktadır. Yazılım kapsamında gerçekleştirilen iterasyonların son bulması, kullanıcı tarafından belirlenen tolerans seviyesine bağlıdır. Tolerans seviyesi, aynı ögenin (mesh) iki iterasyon arasındaki değişimini belirlemektedir. Örnek olarak kullanıcı tarafından belirlenen bir tolerans seviyesine karşılık iterasyonlar arasındaki sıcaklık değişimi, tolerans seviyesi değerine eşit veya küçük olduğunda ($sıcaklık\ değişimi \leq tolerans\ seviyesi$) iterasyonlar sonlandırılmaktadır.

4.2 Test Senaryosu 2

Bu test senaryosunda bir CUBI nesnesinin ısı aktarımlar altındaki benzetimi gerçekleştirilmektedir. Senaryo dâhilinde, bir ölçüm kapsamında CUBI üzerinden elde edilen gerçek sıcaklık değerleri ile benzetim sonucunda elde edilen sıcaklık sonuçları karşılaştırılarak, KÖ-ISIT yazılımının başarımlı gösterilmeye çalışılmaktadır. Test senaryosu kapsamında yürütülen çalışmaların geçerlenmesi amacıyla, tarafından daha önce benzer ölçümler gerçekleştirmiş olan Fabian Lapierre'nin özel izni ile elde edilen ölçüm sonuçları kullanılmaktadır.

4.2.1 Platform

Test senaryosu kapsamında kullanılan CUBI nesnesine ait 3D katı model gösterimi ve ısı çiftlerinin yerleştirildikleri bölgeler Şekil 4.4'de yer almaktadır.



Şekil 4.4 CUBI nesnesi 3D katı model gösterimi

Şekil 4.4 içerisinde yer alan rakamlar (1-14) ısılıçiftlerin isimlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar.

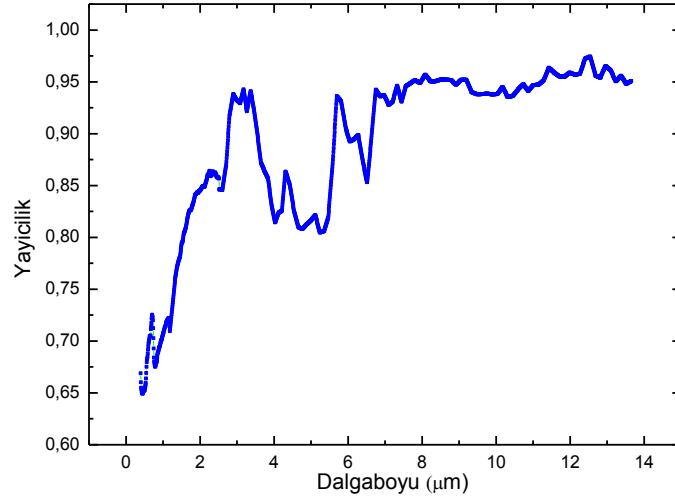
4.2.2 Senaryo Girdi Parametreleri

CUBI düzeneği üzerinde yeralan yüzeyleri oluşturan malzemelere ait parametre ve değerleri Çizelge 4.4'de yer almaktadır.

Çizelge 4.4 CUBI yüzey malzemelerine ait parametre ve değerleri

	Çelik	Poly-urethane	OSB
Yoğunluk ρ , (Kg / m^3)	7769	20	545
Öz ısı c_p , (J / KgK)	461	1350	1215
Isıl iletkenlik k , ($W / m.Kelvin$)	52	0.035	0.13
Yutuculuk	0.85	0.93	0.92
Yayıcılık	0.90	0.9	0.92
Kalınlık (m)	0.004	0.046	0.02

Şekil 4.5'de CUBI nesnesi üzerinde yer alan boyaya ait ölçülmüş yayıcılık değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.5 CUBI boyasına ait yayıcılık değerleri

CUBI düzeneğinin konumlandırıldığı yerleşkeye ait bilgiler Çizelge 4.5'de yer almaktadır.

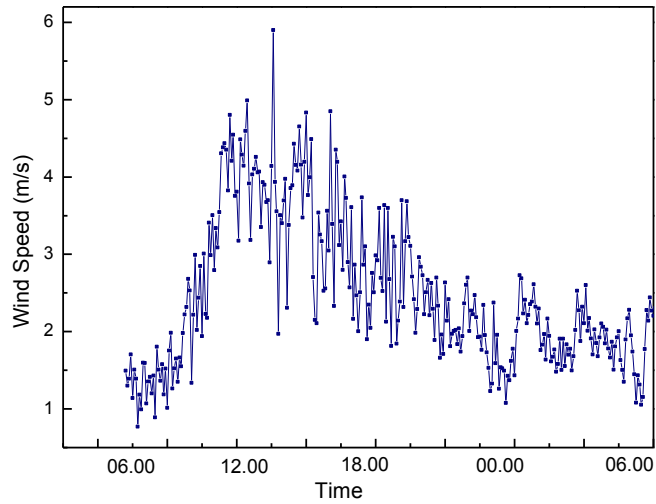
Çizelge 4.5 CUBI konum bilgileri

Yerleşke	Belçika, RMA
Enlem	[50, 50, 52]
Boylam	[4, 23, 32]
Deniz yüzeyinden yükseklik (m)	55
Saat dilimi (Timezone)	2

4.2.3 Geçerleme

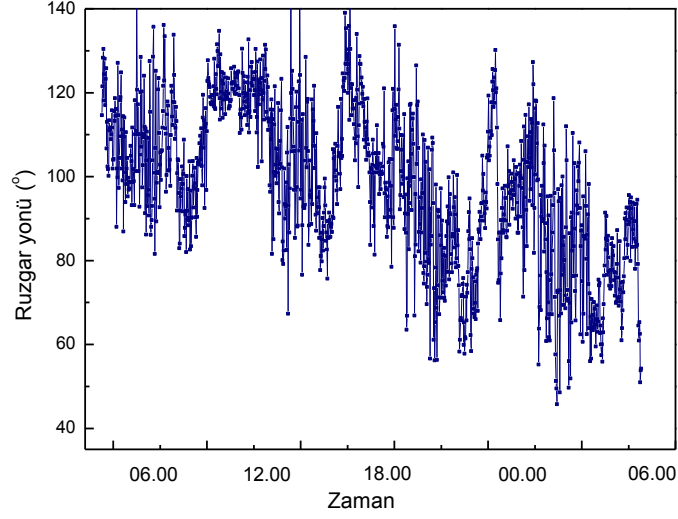
İlgili test senaryosu dâhilinde yer alan geçerleme çalışmaları kapsamında; CUBI nesnesi yakınına yerleştirilmiş olan bir meteoroloji istasyonu tarafından 08.05.2008 günü saat 06.00 ile 12.05.2008 günü saat 05.55 arasında elde edilen veriler Şekil 4.6 ile Şekil 4.12 arasında yer almaktadır.

Şekil 4.6'da CUBI sistemi yakınına yerleştirilmiş bir meteoroloji istasyonu tarafından ölçülmüş rüzgâr hızı değerleri yer almaktadır.



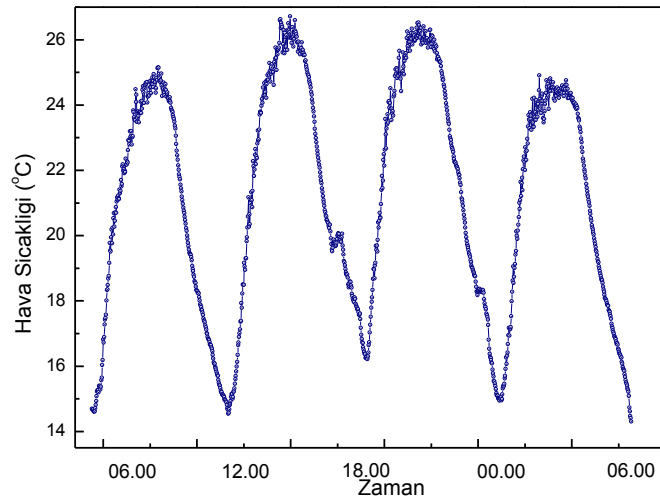
Şekil 4.6 Gün döngüsü boyunca rüzgâr hızı ölçüm değerleri

Şekil 4.7'de CUBI sistemi yakınına yerleştirilmiş bir meteoroloji istasyonu tarafından ölçülmüş rüzgâr yönelimi değerleri yer almaktadır.



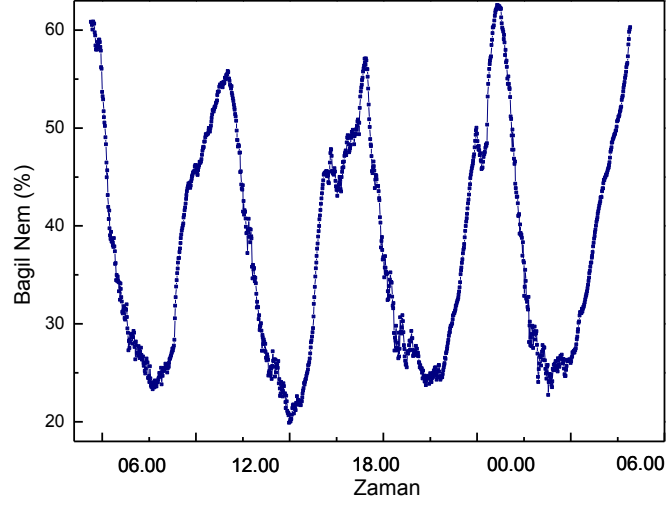
Şekil 4.7 Gün döngüsü boyunca rüzgâr yönü ölçüm değerleri

Şekil 4.8'de CUBI sistemi yakınına yerleştirilmiş bir meteoroloji istasyonu tarafından ölçülmüş hava sıcaklığı değerleri yer almaktadır.



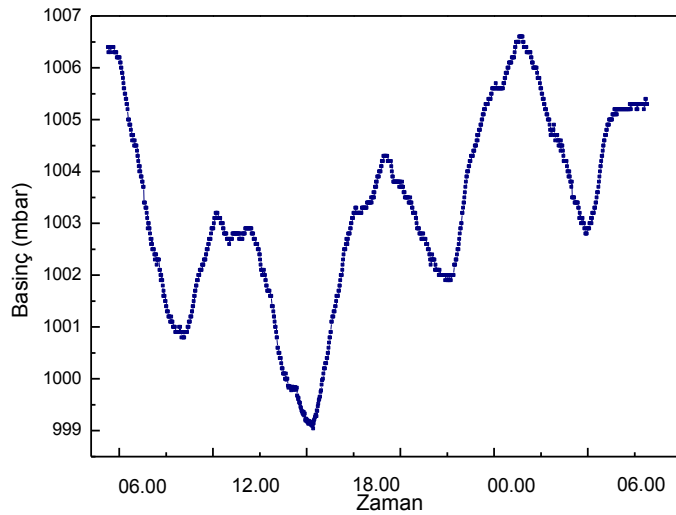
Şekil 4.8 Gün döngüsü boyunca hava sıcaklığı ölçüm değerleri

Şekil 4.9'da CUBI sistemi yakınına yerleştirilmiş bir meteoroloji istasyonu tarafından ölçülmüş bağıl nem değerleri yer almaktadır.



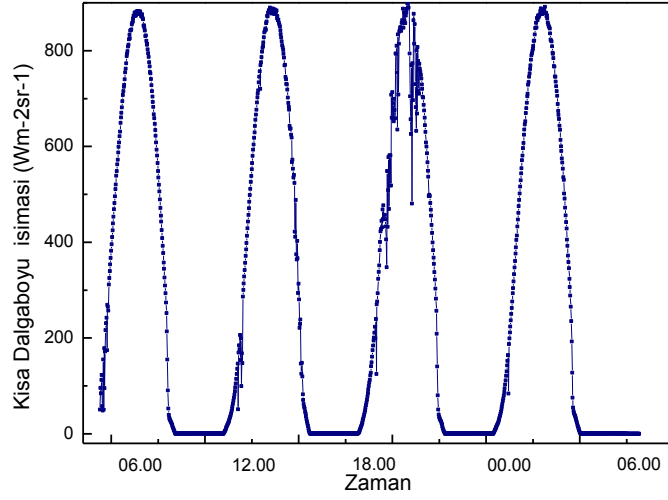
Şekil 4.9 Gün döngüsü boyunca bağıl nem ölçüm değerleri

Şekil 4.10'da CUBI sistemi yakınına yerleştirilmiş bir meteoroloji istasyonu tarafından ölçülmüş basınç değerleri yer almaktadır.



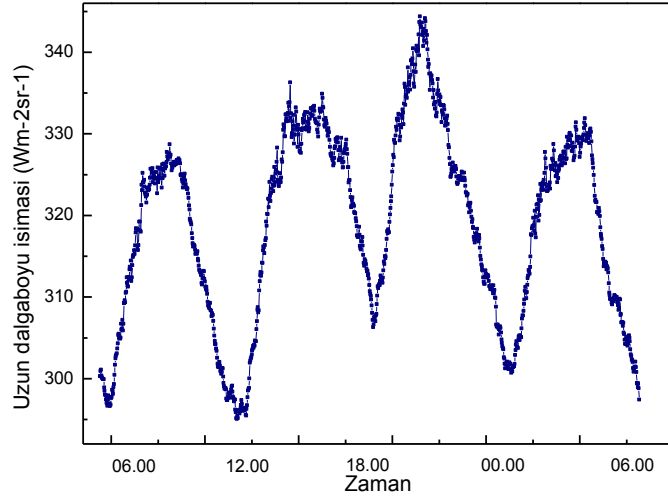
Şekil 4.10 Gün döngüsü boyunca basınç ölçüm değerleri

Şekil 4.11'de CUBI sistemi yakınına yerleştirilmiş bir meteoroloji istasyonu tarafından ölçülmüş kısa dalgaboyu (shortwave) ışımaya değerleri yer almaktadır.



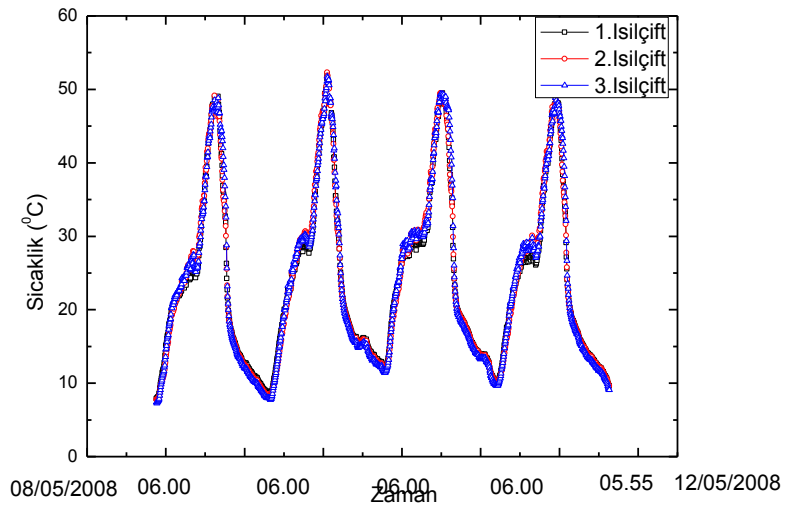
Şekil 4.11 Gün döngüsü boyunca kısa dalgaboyu ışımaya ölçüm değerleri

Şekil 4.12'de CUBI sistemi yakınına yerleştirilmiş bir meteoroloji istasyonu tarafından ölçülmüş uzun dalgaboyu (longwave) ışımaya değerleri yer almaktadır.



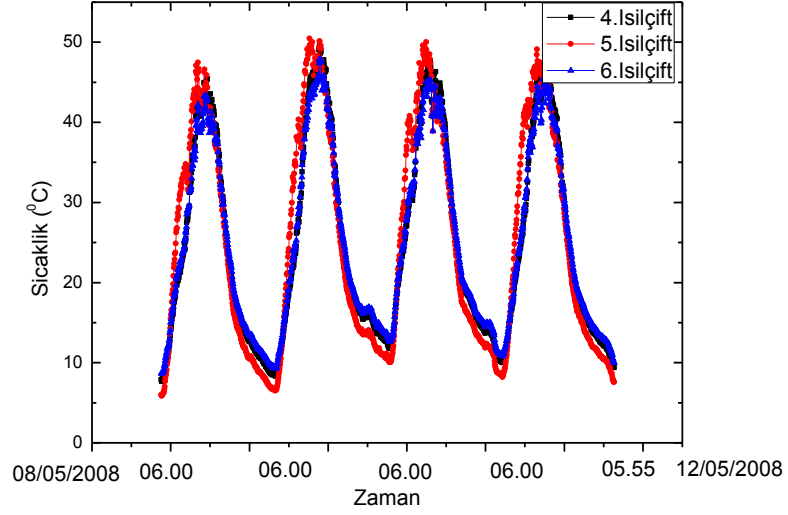
Şekil 4.12 Gün döngüsü boyunca uzun dalgaboyu ışıması ölçüm değerleri

Şekil 4.13'de CUBI sistemi üzerine yerleştirilmiş sıcaklık algılayıcı ısı çiftleri kullanılarak ölçülmüş zamana bağlı olarak sıcaklık değerleri yer almaktadır.



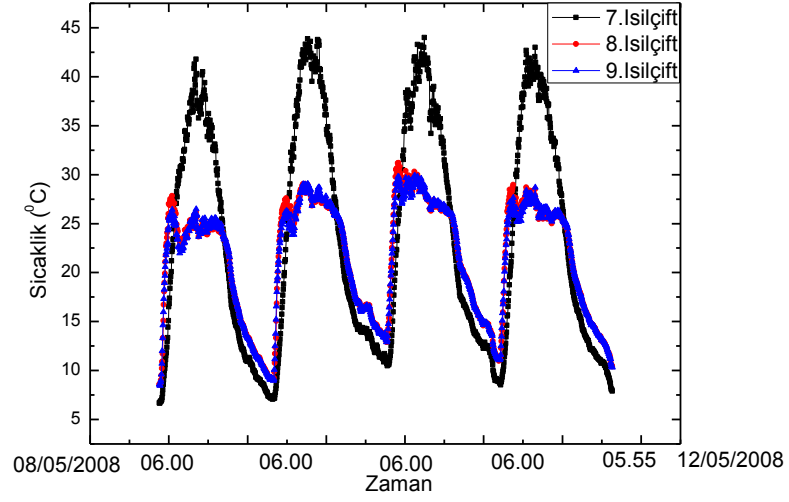
Şekil 4.13 Ölçüm boyunca 1-3 ısı çiftlerinden elde edilen sıcaklık değerleri

Şekil 4.14’de CUBI sistemi üzerine yerleştirilmiş sıcaklık algılayıcı ısıl çiftler kullanılarak ölçülmüş zamana bağlı olarak sıcaklık değerleri yer almaktadır.



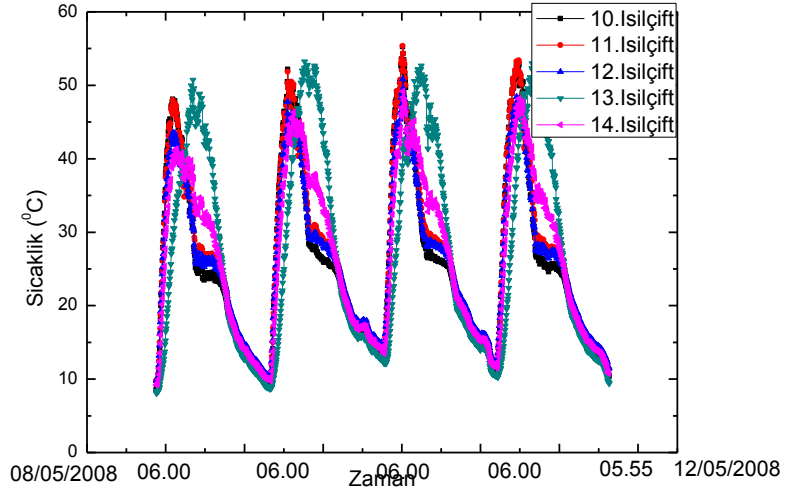
Şekil 4.14 Ölçüm boyunca 4-6 ısıl çiftlerinden elde edilen sıcaklık değerleri

Şekil 4.15’de CUBI sistemi üzerine yerleştirilmiş sıcaklık algılayıcı ısıl çiftler kullanılarak ölçülmüş zamana bağlı olarak sıcaklık değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.15 Ölçüm boyunca 7-9 ısı çiftlerinden elde edilen sıcaklık değerleri

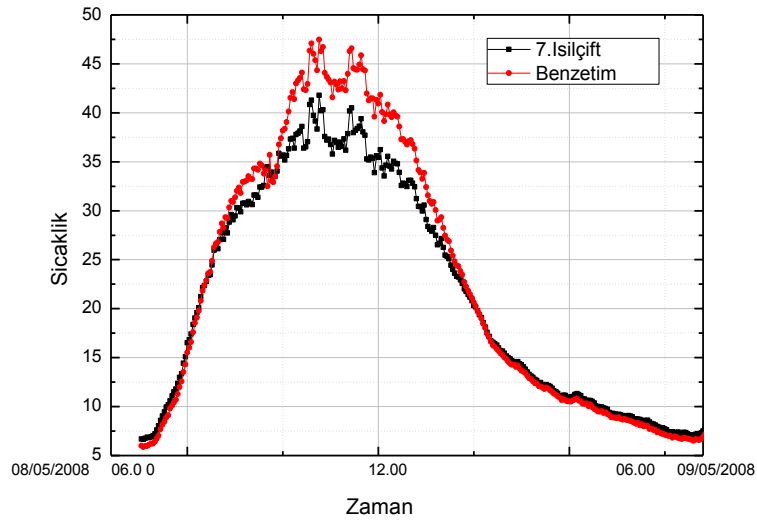
Şekil 4.16'da CUBI sistemi üzerine yerleştirilmiş sıcaklık algılayıcı ısı çiftleri kullanılarak ölçülmüş zamana bağlı olarak sıcaklık değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.16 Ölçüm boyunca 10-14 ısı çiftlerinden elde edilen sıcaklık değerleri

4.2.4 Benzetim Sonuçları

Şekil 4.17'de CUBI sistemi üzerine yerleştirilmiş sıcaklık algılayıcı ısı çiftler kullanılarak ölçülmüş zamana bağlı olarak sıcaklık değeri ve yazılım kapsamında (KÖ-ISIT) elde edilen sıcaklık benzetim sonuçları yer almaktadır.



Şekil 4.17 Benzetim & Ölçüm değeri

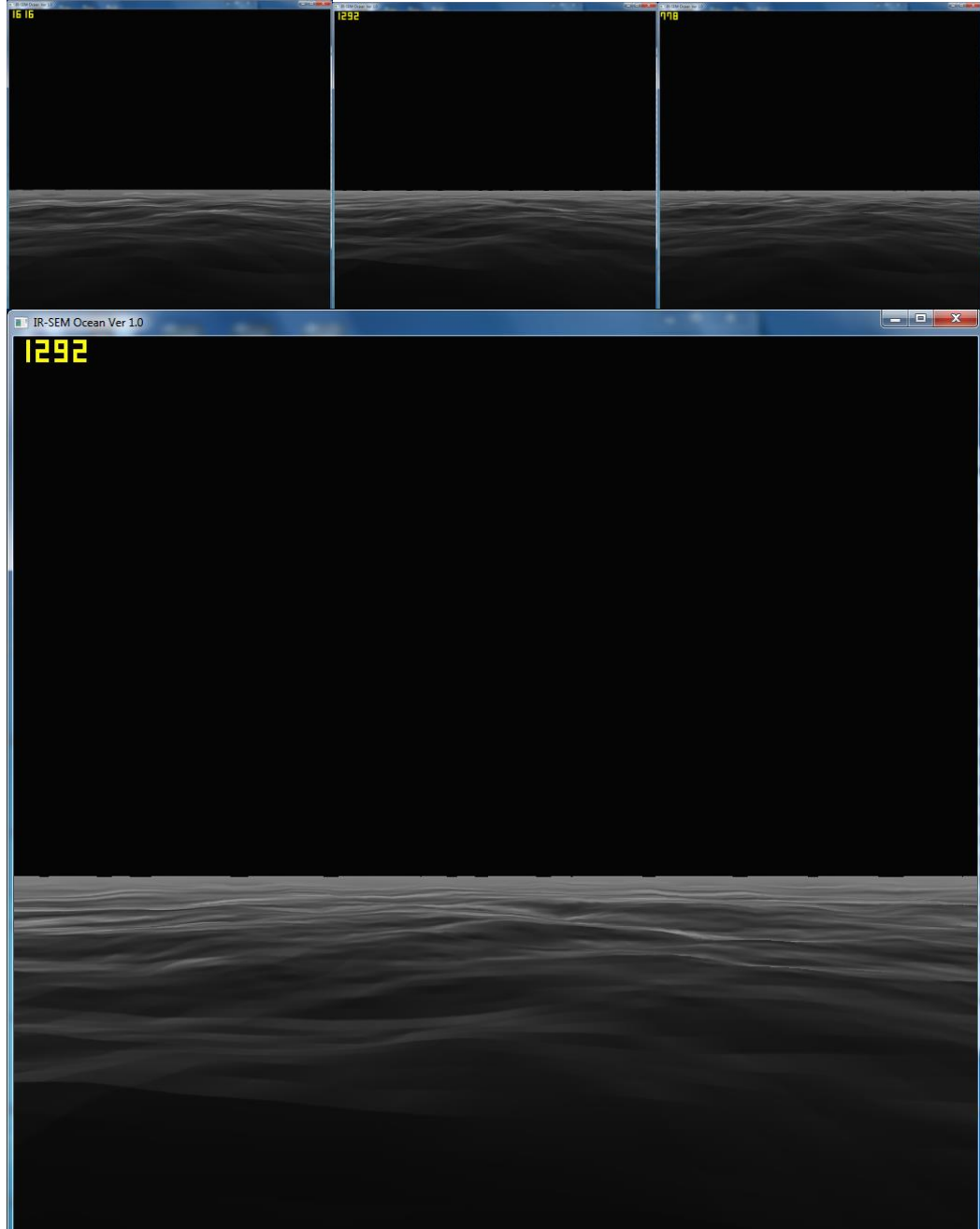
Benzetim sonucunda CUBI üzerinden elde edilen ölçüm sonuçları ile geliştirilen yazılım kapsamında elde edilen sonuçların uyumlu oldukları gözlenmiştir [48]. Bununla birlikte yazılımın kabiliyetlerinin geliştirilmesi amacıyla daha fazla ölçüm verisi ve daha fazla deneyin gerçekleştirilmesine ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir.

4.3 Test Senaryosu 3

Bu test senaryosunda KÖ-SÜ yazılımı tarafından deniz senaryoları dâhilinde üretilen, eniyilenmiş tel örgü sayısının belirlenmesi amacıyla oluşturulan bir uygulama ve sonuçları yer almaktadır.

4.3.1 Benzetim ve Sonuçları

Şekil 4.18'de KÖ-SÜ yazılımı yardımıyla oluşturulan farklı tel örgü sayılarına sahip deniz sahneleri gösterilmektedir.



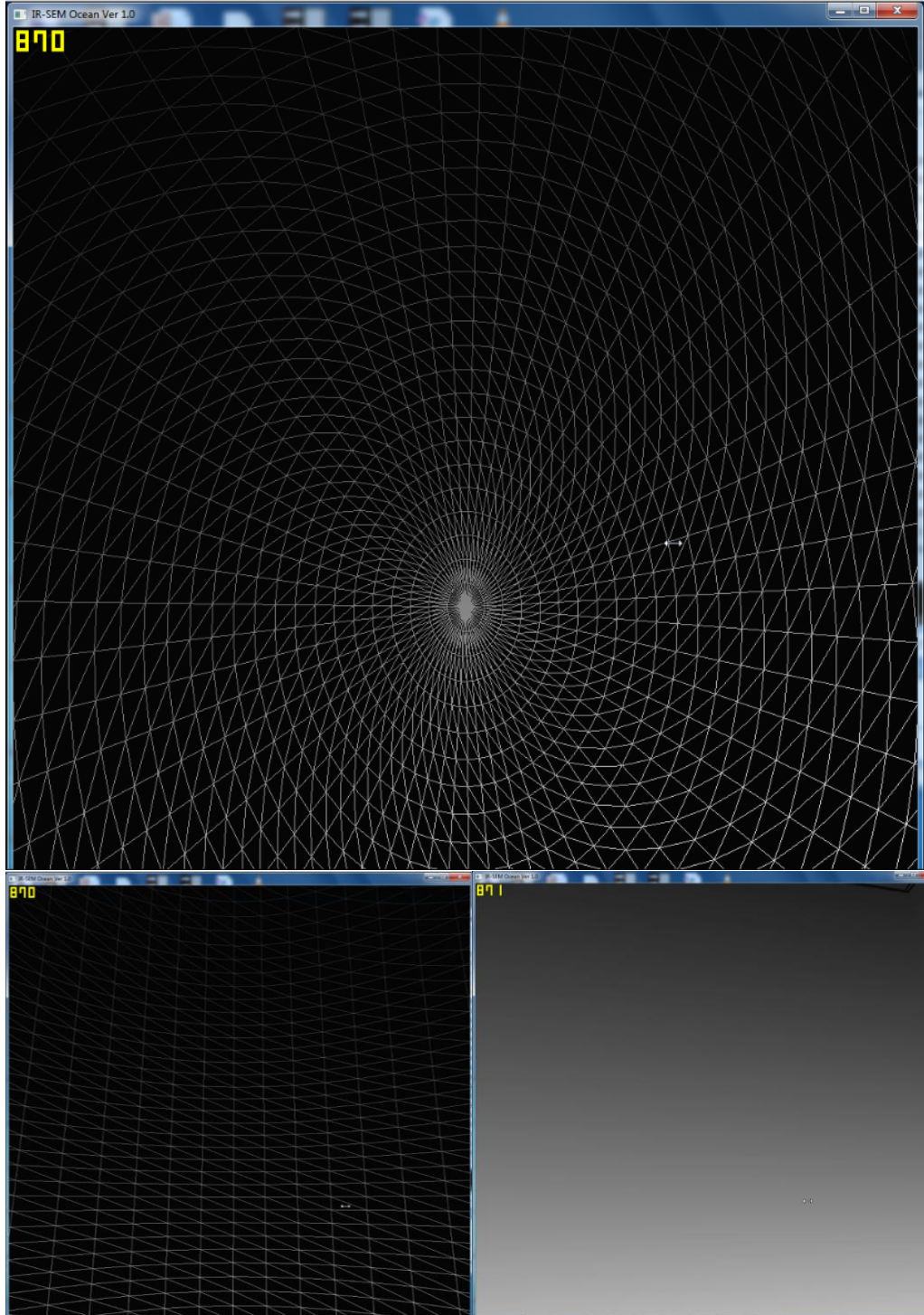
Şekil 4.18 Yazılım kapsamında oluşturulan deniz sahnesine ait tel ızgara gösterimleri düşük (32x32), orta (64x64) ve yüksek (128x128) tel örgü çözünürlüğü

Şekil 4.18.a (sol üst)'da düşük poligon sayısına (32x32), Şekil 4.18.b'de orta derecede (üst orta) poligon sayısına (64x64), Şekil 4.18.c'de (sağ üst) yüksek poligon sayısına (128x128) sahip bir deniz sahnesi yer almaktadır. İlgili imgelerin sol üst taraflarında yer alan sarı rakamlar ise saniyede işlenebilen çerçeve sayısını (FPS) ölçebilen FRAPS yazılımına ait göstergelerdir. Örnek olarak 1024x1024 imge boyutu ve 64x64 tel örgü sayısı için sol kenarda yazan 1292 sayısı, ilgili imgenin 1292 Hz (0.8 milisaniye)'de oluşturulduğunu veya başka bir deyişle ilgili sahnenin hesaplama süresinin 1/1292 saniye sürdüğünü belirtmektedir.

Şekil 4.18 detaylı olarak incelendiğinde yazılım tarafından yüksek tel örgü sayısına (128x128) sahip bir deniz sahnesi oluşturulduğunda işlem süresinin 800 Hz civarında kaldığı gözlenmektedir.

İlgili yazılım kapsamında deniz sahnelerinin oluşturulmasında orta derecede poligon sayısına sahip (128x128) bir deniz tel örgüsünün kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. Geliştirilen yazılım kapsamında elde edilen bu değerler literatür ile karşılaştırıldığında başarımının yüksek olduğu değerlendirilmektedir. Özellikle her bir deniz yüzeyinde yer alan her bir tel örgü elemanının bulunduğu / oluşturulduğu konum bilgisinin yazılım dâhilinde anlık olarak erişilebilir (deniz üstü platform hareketlerinin benzetimi vb. amaçlar için) olduğu da düşünüldüğünde yazılımının başarımının yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

Deniz senaryosunda benzetim, farklı deniz durumları için gerçekleştirilebilmektedir. Kullanıcı deniz durumunu benzetim başlamadan önce ilgili senaryo dâhilinde belirleyebileceği gibi, istediği takdirde, benzetim esnasında da gerçek zamanlı olarak belirleyebilme yeteneğine sahiptir. Belirlenen deniz durumunun, deniz yüzeyinde yer alan dalgaların yüksekliklerini etkilemesi sebebiyle, özellikle yüksek dalga boyutlarında, deniz dalgaları platformun hareketlerini etkileyebilmektedir. Yazılım kapsamında, deniz yüzeyinde yer alan her bir yüzey parçacığının o anki konum bilgileri anlık olarak hesaplanmakta ve böylelikle deniz ile platform arasında gerçekleşen fiziksel etkileşimler (platformun su üstünde salınımı gibi) gerçek zamanlı olarak benzetim içerisinde yer alabilmektedir.



Şekil 4.19 Yazılım kapsamında oluşturulan arkaplan / gökyüzü benzetimi

Şekil 4.19'da yazılım kapsamında gerçekleştirilen arkaplan / gökyüzü benzetimi yer almaktadır. Şekil 4.19.a'da (üst) gerçek zamanlı olarak (870 Hz) benzetim gerçekleştirilirken sahnenin üst tarafına bakılarak elde edilmiş

olan tel ızgara görüntüsü, Şekil 4.19.b'de (sol alt) gerçek zamanlı olarak (870 Hz) benzetim gerçekleştirilirken sahnede ufuk çizgisinin üst tarafına bakılarak elde edilmiş olan tel ızgara görüntüsü ve Şekil 4.19.c'de (sağ alt) ilgili tel ızgaranın algılayıcı tarafından algılanan dokulandırılmış gösterimi yer almaktadır.

4.4 Test Senaryosu 4

Bu test senaryosunda GPU tabanlı bir KÖ-SENSÖR modülünün, CPU tabanlı olarak geliştirilen yazılıma nazaran başarımları ve kazanımlarından bahsedilmektedir. Senaryo dâhilinde, KÖ-SENSÖR modülü belirli bir algılayıcı optiği ve atmosfer etkilerine bağlı olarak koşturulmaktadır.

4.4.1 Benzetim ve Sonuçları

Benzetimde GPU tabanlı (paralel olarak gerçekleştirilen işlemlerin GPU üzerinde koştugu) bir KÖ-SENSÖR modülü ile CPU tabanlı bir KÖ-SENSÖR modülü ayrı ayrı olarak koşturulmuştur. Elde edilen benzetim sonuçları Çizelge 4.6'da yer almaktadır.

Çizelge 4.6 CPU & GPU tabanlı KÖ Sensör yazılımları karşılaştırma

	GPU (fps)*	CPU (fps)	Kazanç
128 x 128	230	230	1x
256 x 256	90	70	1.28x
512 x 512	45	15	3x
1024x 1024	17.5	3.5	5x

*Bu sürelerle GPU \rightleftharpoons CPU veri aktarım süreleri de dâhildir.

Çizelge içerisinde GPU ve CPU tabanlı olarak çalışan KÖ-SENSÖR modüllerinin imge boyutuna bağlı olarak, çalışma süreleri ve GPU tabanlı yazılımın CPU tabanlı yazılıma nazaran sağlamış olduğu kazanç yer almaktadır.

GPU tabanlı KÖ-SENSÖR modülü yazılımının özellikle hesapsal maliyeti yüksek olan imgede bulanmaların benzetimi konusunda CPU tabanlı çalışan bir KÖ-SENSÖR modülü yazılımına nazaran yüksek başarımlı göstermektedir. Elde edilen çerçeve hızları bakımından özellikle yüksek imge boyutlarında 5 kata kadar daha fazla hız elde edilmiştir [49].



Şekil 4.20 KÖ-SÜ yazılımı ve KÖ-SENSÖR modülüne ait sentetik çıktı imgeleri

Şekil 4.20'de KÖ-SÜ yazılımı tarafından üretilen belirli bir ana ait KÖ sentetik imge ve bu imge kullanılarak KÖ-SENSÖR modülü tarafından oluşturulan imgede bozulmaların eklenmiş olduğu imge gösterilmektedir. İlgili bozulmaların oluşturulmasında gemi ile görüntüleyici sistem arasındaki mesafenin ~ 7.5 km ve kırınım indeksi yapı parametresi (C_n^2) değerinin 5×10^{-13} olduğu kabul edilmiştir.

4.5 Test Senaryosu 5

Bu test senaryosu dâhilinde, tez kapsamında geliştirilen KÖ-HTT modülünün çalışma hızının belirlenmesine yönelik bir uygulama verilmektedir.

4.5.1 Benzetim ve Sonuçları

Benzetim kapsamında, KÖ-HTT yazılımı farklı imge boyutlarında koşturulmuş ve bu imge boyutlarına karşılık yazılımın çalışma hızı kaydedilmiştir. Çizelge 4.7’de bu kapsamda elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Geliştirilen yazılımın, gerçek zamanlı olarak döngüde yer alabilmesini sağlayabilmek amacıyla yazılım kapsamında yer alan algoritma, ilgili platform(lar)ın tespitinde, arkaplan çıkarımı ve basit morfolojik işlemler gibi hesaplama maliyeti düşük yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir [41]. Bununla birlikte yazılım, sahne içerisinde yer alan ilgili platform(lar)ın tespitinde oldukça etkin olarak çalışmaktadır.

Çizelge 4.7 KÖ-HTT yazılımı çalışma hızı

Çerçeve boyutu	Çalışma hızı (fps)
128 x 128	2500
256 x 256	1000
512 x 512	400
800 x 800	100

İlgili çizelge incelendiğinde geliştirilen yazılımın özellikle düşük imge boyutlarında oldukça hızlı çalıştığı değerlendirilmektedir.

Şekil 4.21’de bir senaryo dâhilinde koşturulan KÖ-SÜ yazılımı içerisinde yer alan KÖ-HTT yazılımının çalışmasına dair imgeler gösterilmektedir. Bu imgeler arasında yer alan sol üst imge benzetim başlangıç anını sağ alt imge benzetim bitişi öncesi alınan imgelerden birini göstermektedir.



Şekil 4.21 KÖ-HTT performans ve hedef kapısı gösterimi

Ayrıca, KÖ-SÜ yazılımı dâhilinde geliştirilen modüllerin modüler yapıda tasarlanmış olması sebebiyle, başka bir hedef tespit-takip algoritmasının kullanılması arzulandığında, istek dâhilinde, yazılıma başka bir hedef tespit-takip algoritmasının da eklenmesi, kolaylıkla, gerçekleştirilebilmektedir.

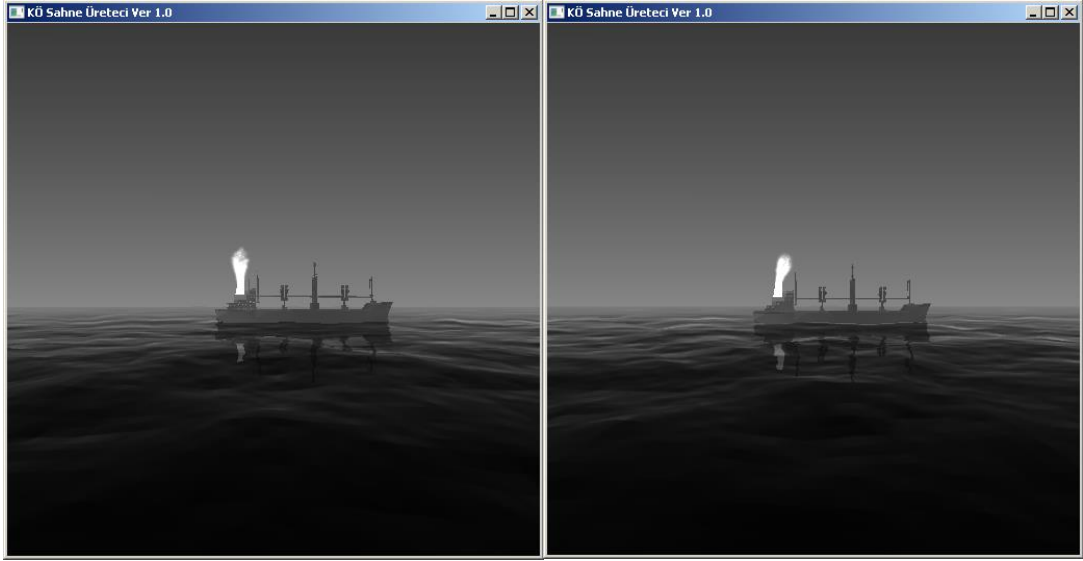
4.6 Test Senaryosu 6

Bu test senaryosunda parçacık sistemi kullanılarak geliştirilmiş baca gazı (plume) ve ısı fişegi (flare) benzetimi yer almaktadır.

Baca gazı ve özellikle ışık fişekleri havada rüzgâr hızı ve yerçekimi gibi fiziksel etkilere bağlı olarak hareket edebilmektedirler. Parçacık sistemi kullanılarak bu tür fiziksel etkilerin benzetimi ile birlikte parçacıkların hangi yüzeyle temas halinde bulunduğu ve bu temaslar sonucunda oluşan etkileşimler de benzetilebilmektedir. Böylelikle, istenildiği takdirde, parçacık sistemi kullanılarak, örneğin belirli bir su yüzeyi üzerinde suyun hareketlerine bağlı olarak dinamik olarak yüzen bir ısı fişegi benzetimi gerçekleştirilebilmektedir.

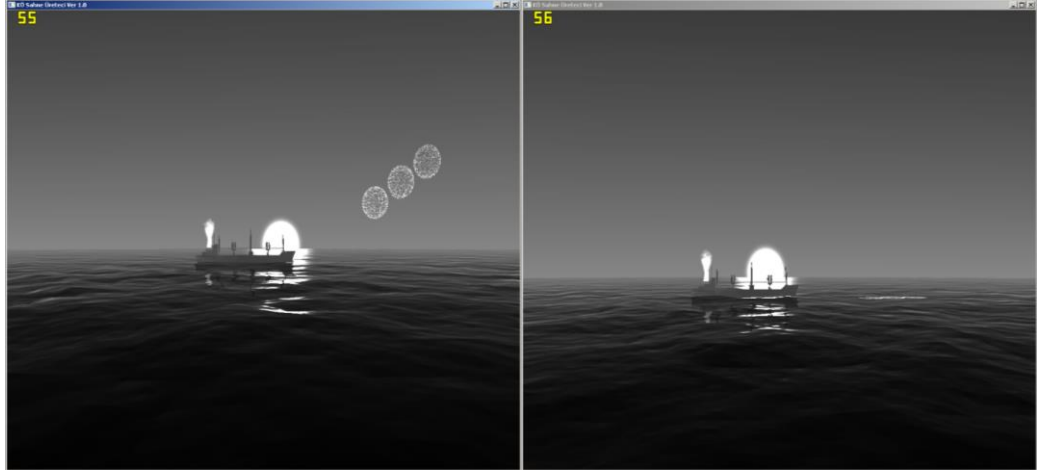
4.6.1 Benzetim ve Sonuçları

Şekil 4.22'de baca gazının benzetimi kapsamında parçacık sistemi kullanılarak gerçekleştirilen bir benzetim yer almaktadır. İlgili şekil içerisinde baca gazı yöneliminin rüzgârın olduğu ve olmadığı durumlara bağlı olarak değiştiği görülebilmektedir. Yazılımın ilgili hesaplamaları gerçek zamanlı olarak gerçekleştirebilmesi sebebiyle baca gazının dinamik olarak yerçekimi ve/veya rüzgâr gibi etkilere bağlı olarak değişimleri de dinamik olarak benzetimde yer almaktadır [40].



Şekil 4.22 Yazılım kapsamında yer alan baca gazı benzetimi

Şekil 4.23'de parçacık sistemi kullanılarak gerçekleştirilen bir ısı fişegİ benzetimi yer almaktadır [40]. Benzetim dâhilinde sahne de 3 adet ısı fişegİ yer almaktadır. Benzetim içerisinde yer alan baca gazı / ısı fişeklerine ait parçacık sistemlerinin dinamik olarak konumları / ışımaları gibi benzetim boyunca değişim içerisinde bulunan özellikleri benzetimde gerçek zamanlı olarak yer almaktadır. Ayrıca, örnek olarak dinamik bir su yüzeyi ile temas halinde bulduklarında su yüzeyinin hareketlerine bağlı olarak hareketleri de benzetim de yer almaktadır.



Şekil 4.23 Yazılım kapsamında yer alan ısı fişeği benzetimi

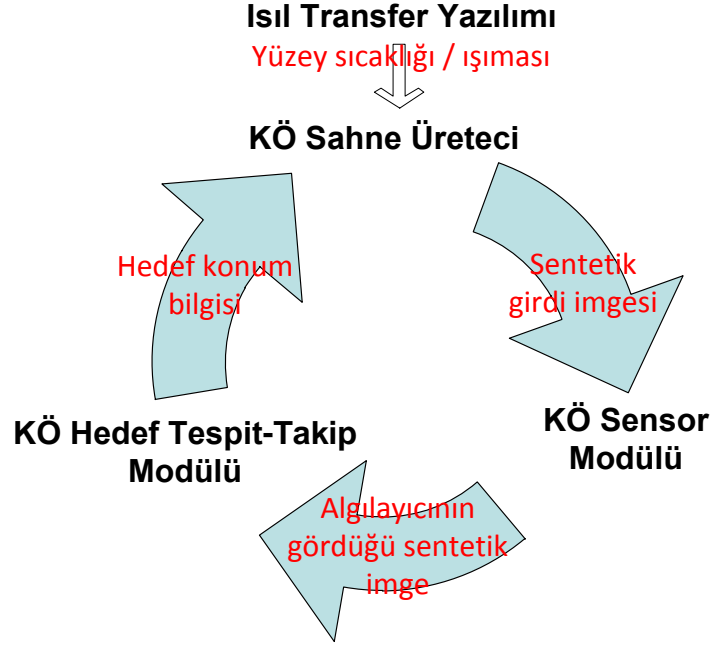
Parçacık sistemi ile ilgili gerçekleştirilen testlerde benzetim içerisinde yer alan parçacık sayısının (makul ölçülerde) ve / veya birden fazla parçacık sisteminin benzetimde yer almasının benzetim hızını etkilemediği / ihmal edilebilir ölçüde etkilediği gözlenmiştir.

4.7 Test Senaryosu 7

Bu test senaryosunda; bir suüstü platformun KÖ izinin gerçek zamanlı olarak, kapalı döngü de, bir su yüzeyi üzerinde benzetimi amaçlanmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen benzetimde, KÖ-ISIT ve KÖ-HTT modülü ile KÖ-SÜ yazılımı yer almaktadır. KÖ-ISIT yazılımı tarafından hesaplanan ışınma dağılımı KÖ-SÜ yazılımı tarafından kullanılarak, gerçek zamanlı olarak belirli bir hareket modeli dâhilinde dinamik KÖ sentetik sahne imgeleri üretilmekte, optik yol boyunca KÖ algılayıcı öncesinde ve sonrasında meydana gelen imgede bozulmaların benzetilebilmesi amacıyla KÖ-SENSÖR modülüne aktarılmaktadır. KÖ-SENSÖR modülü, KÖ sensörün algıladığı sentetik imgeyi üretmekte ve KÖ sensörün algıladığı imge kullanılarak tespit kararı verilmesi KÖ-HTT modülü tarafından gerçekleştirilmektedir. KÖ-HTT yazılımı tarafından üretilen kararlar KÖ-SÜ yazılımına geribildirim sağlamak ve bir sonraki sahneye ilişkin bakış açısı,

platform sahnenin merkezinde kalacak şekilde KÖ-SÜ yazılımı tarafından üretilmektedir. Böylelikle KÖ-SÜ yazılımı, KÖ-SENSÖR ve KÖ-HTT modülünün içerisinde bulunduğu döngü, Şekil 4.24'de gösterildiği üzere, kapalı bir şekilde ve gerçek zamanlı olarak koşmaktadır [40] [41].

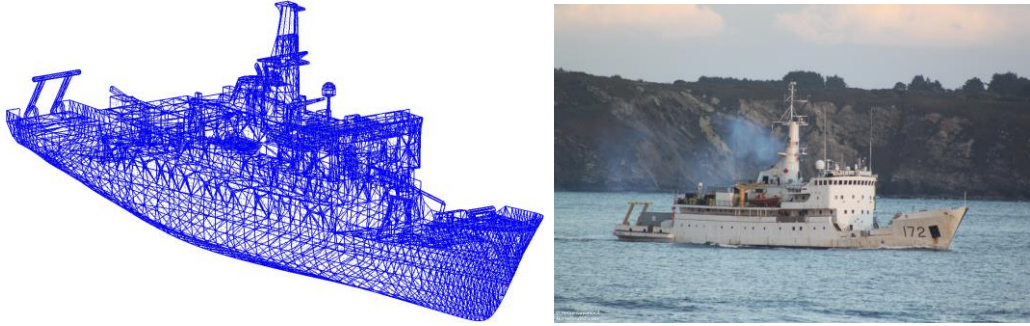


Şekil 4.24 KÖ-SÜ kapalı döngü

Uygulamada, hareketli bir suüstü platformunun belirli bir mesafeden sabit konumlu bir görüntüleme sistemi üzerine doğru belirli bir hızda yaklaştığı varsayılmaktadır. Ayrıca, imgede bulanmanın ağırlıkla atmosfere bağlı olarak oluştuğu koşullar da göz önünde bulundurulmaktadır. Senaryo kapsamında, gerçekleştirilen benzetimin döngü hızı ve kabiliyetlerinin gösterilmesi amaçlanmaktadır.

4.7.1 Platform

Senaryo kapsamında kullanılacak olan su üstü platformu olarak CFAV Quest gemisi seçilmiştir. Platforma ait 3D geometri dosyası ve görünür bantta kaydedilmiş gerçek görüntüsü Şekil 4.25'de yer almaktadır.

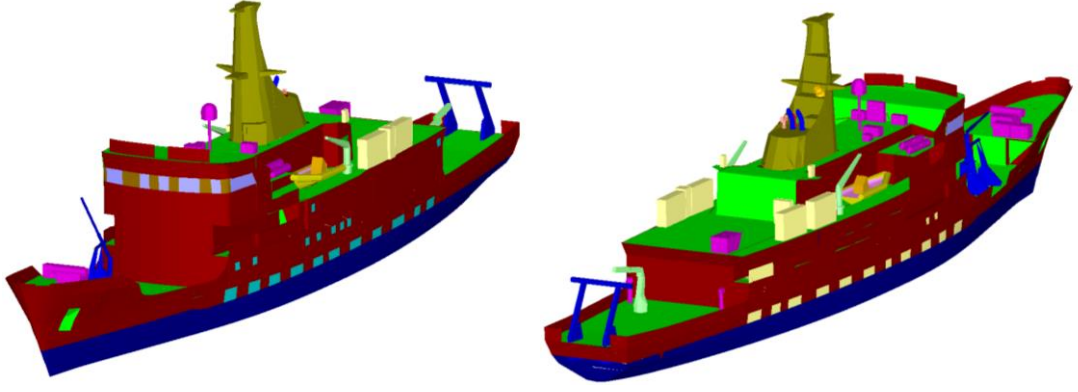


Şekil 4.25 Platforma ait 3D katı model gösterimi ve gerçek görüntüsü

4.7.2 Senaryo Girdi Parametreleri

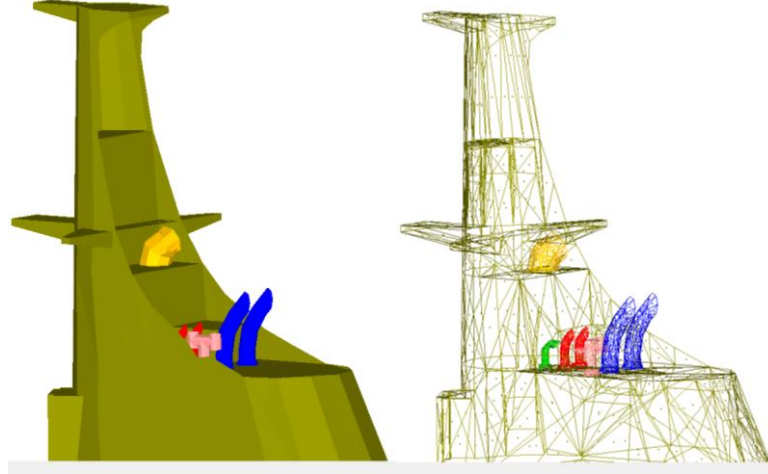
Platform yüzeylerine ait yüzey özellikleri (yayıcılık gibi) bilgileri SIMVEX denemeleri kapsamında gerçekleştirilen ölçümler dâhilinde oluşturulan çalışmalardan edinilmiştir [35]. Ayrıca, benzetim kapsamında, gemi bacasından çıkan gazların özellikleri ile ilgili olarak, ilgili platforma ait gerçekleştirilen ölçümler / varsayımlar sonucunda elde edilen [50] değerlerden yararlanılmıştır.

Şekil 4.26'da CFAV Quest platformu 3D katı modelinin sınıflandırılmış gösterimi yer almaktadır. Platform üzerinde yer alan farklı renkli gösterimler platformun farklı yüzey / malzeme özelliklerinin belirtilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar.



Şekil 4.26 CFAV Quest platformu katı modeli sınıflarının gösterimi

Şekil 4.27’de, Şekil 4.26’da verilen platformun baca bölgesinin daha yakından bir gösterimi yer almaktadır. Farklı renklendirmelere sahip bölgeler ilgili bölgelerin farklı özelliklere sahip olduğunun belirtilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar.



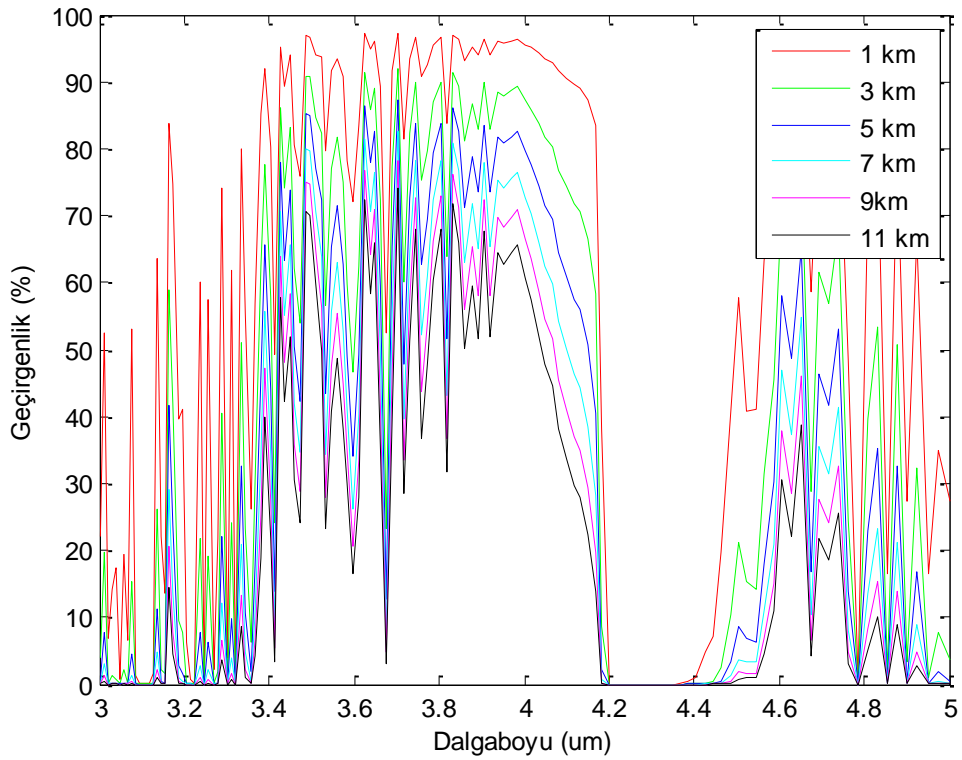
Şekil 4.27 Platforma ait baca bölgesinin 3D katı model gösterimi

4.7.3 Benzetim ve Sonuçları

Belirli bir mesafede bulunan platform(lar)ın KÖ ışınması, atmosferik etkilere bağlı olarak değişim içerisinde. Genel olarak uzak mesafelerdeki

platformların KÖ ışıma yoğunluğunun az olmasının sebebi atmosferik geçirgenliktir. Bu sebeple atmosferik geçirgenliğin hesaba katılması KÖ Sahne üretici yazılımları için oldukça önemlidir. Atmosferik parametre değerlerine bağlı olarak iyi hava koşulları için MODTRAN 5.2.1 yazılımı yardımıyla elde edilen benzetim sonuçları Şekil 4.28 ile Şekil 4.41 arasında gösterilmektedir.

Şekil 4.28'de ilgili atmosferik parametre değerlerine bağlı olarak farklı mesafelerde hesaplanan atmosferik geçirgenlik değerleri gösterilmektedir.

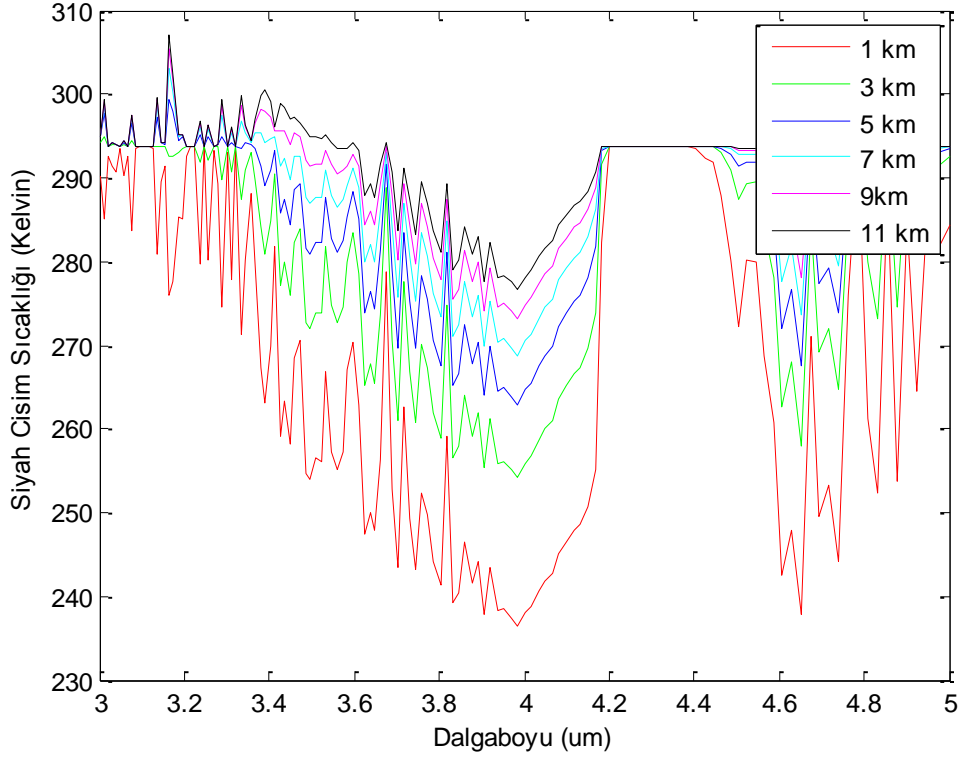


Şekil 4.28 Farklı mesafeler için atmosferik geçirgenlik değerleri ($3-5\mu m$)

İlgili grafik dikkatlice incelendiğinde özellikle uzak mesafeler için $3-5\mu m$ dalga boyu aralığındaki atmosferik geçirgenliğin oldukça azaldığı görülmektedir. Bu ise ilgili mesafede yer alan algılayıcının platform üzerinden elde ettiği ışımının da benzer oranlarda azalacağı anlamına gelmektedir.

Şekil 4.28'de yer alan atmosferik geçirgenlik değerleri altında belirli mesafelerde yer alan bir siyah cismin (300 Kelvin) gözlemlendiğinde elde

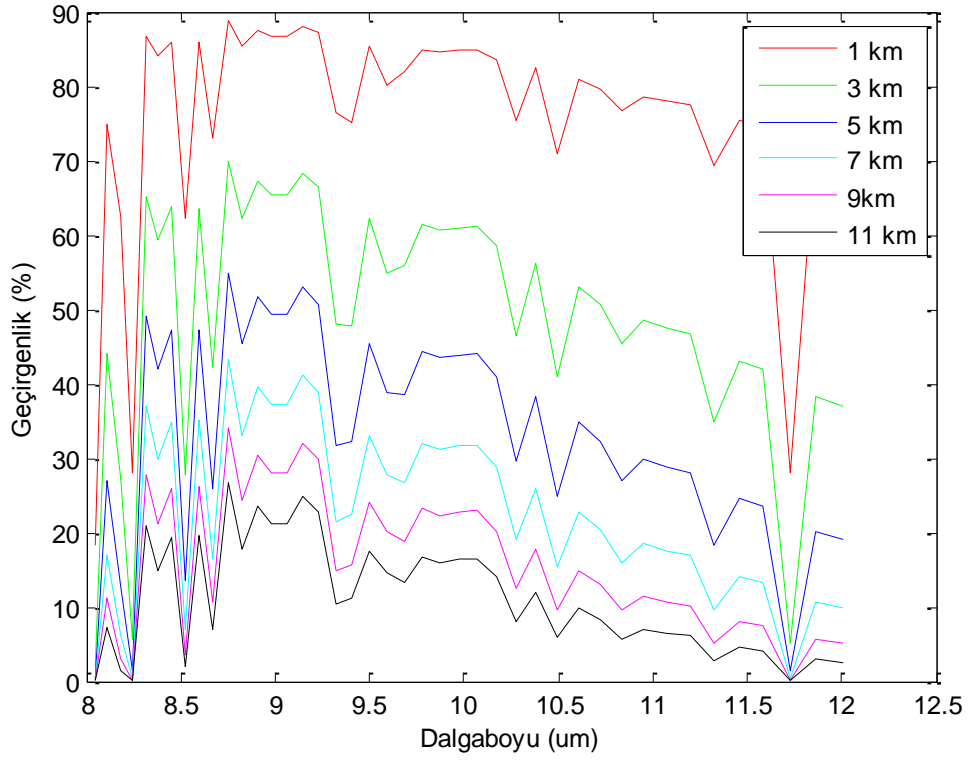
edilecek olan sıcaklığının dalgaboyuna bağılı olarak değişimi Şekil 4.29'da yer almaktadır.



Şekil 4.29 Belirli dalgaboyu aralığına karşılık siyah cisim sıcaklıkları

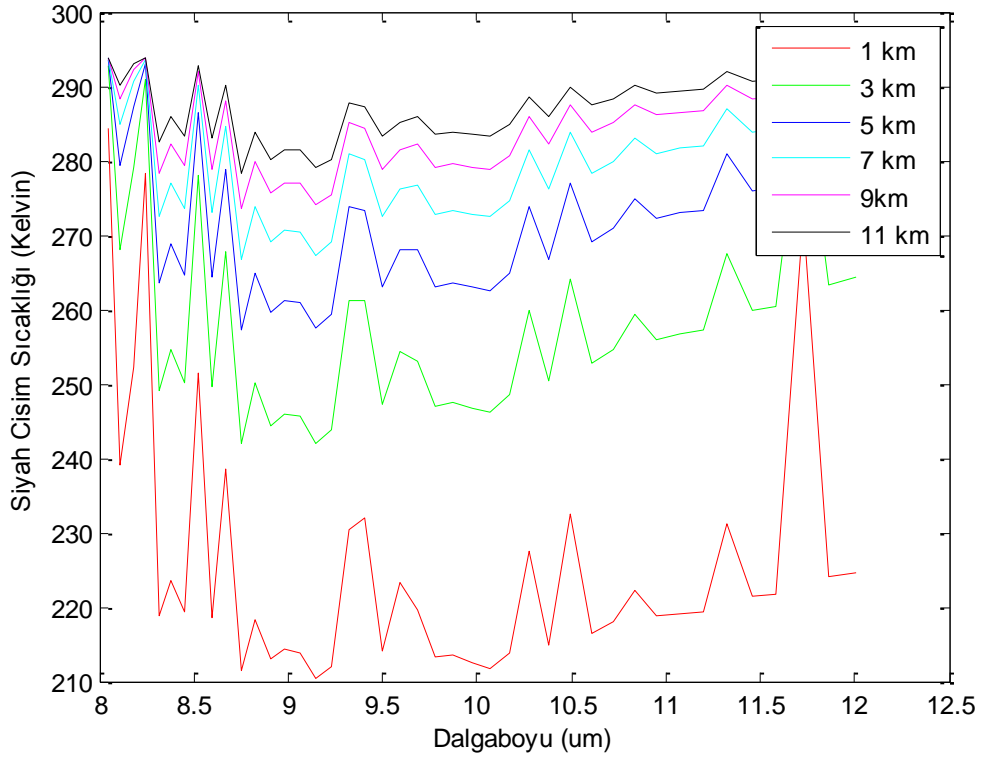
İlgili grafik üzerinde özellikle atmosferik geçirgenliğin yoğun olarak azaldığı $3.2-4.2\mu m$ ile $4.4-5\mu m$ dalga boyu aralıklarında siyah cisim sıcaklığının yüksek bir oranda azaldığı açıkça görülmektedir.

Şekil 4.30'da MODTRAN yazılımı kullanılarak $8-12\mu m$ dalgaboyu aralığı için farklı uzaklıklarda hesaplanmış atmosferik geçirgenlik değerleri gösterilmektedir.



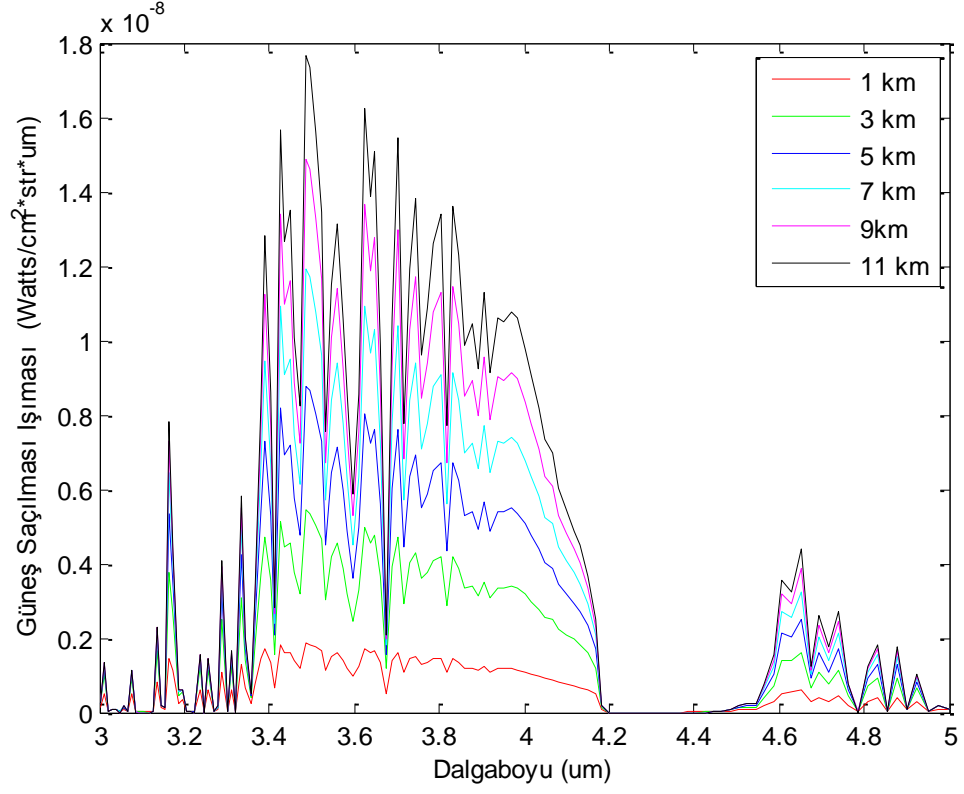
Şekil 4.30 Farklı mesafeler için atmosferik geçirgenlik değerleri (8–12 μ m)

Şekil 4.30'da yer alan atmosferik geçirgenlik değerleri altında belirli mesafelerde yer alan bir siyah cisimin (300 Kelvin) gözlemlendiğinde elde edilecek olan sıcaklığının dalgaboyuna bağlı olarak değişimi Şekil 4.31'de yer almaktadır. İlgili şekil üzerinde, özellikle uzak mesafelerde, siyah cisim sıcaklıklarının yüksek bir oranda azaldığı açıkça görülmektedir.

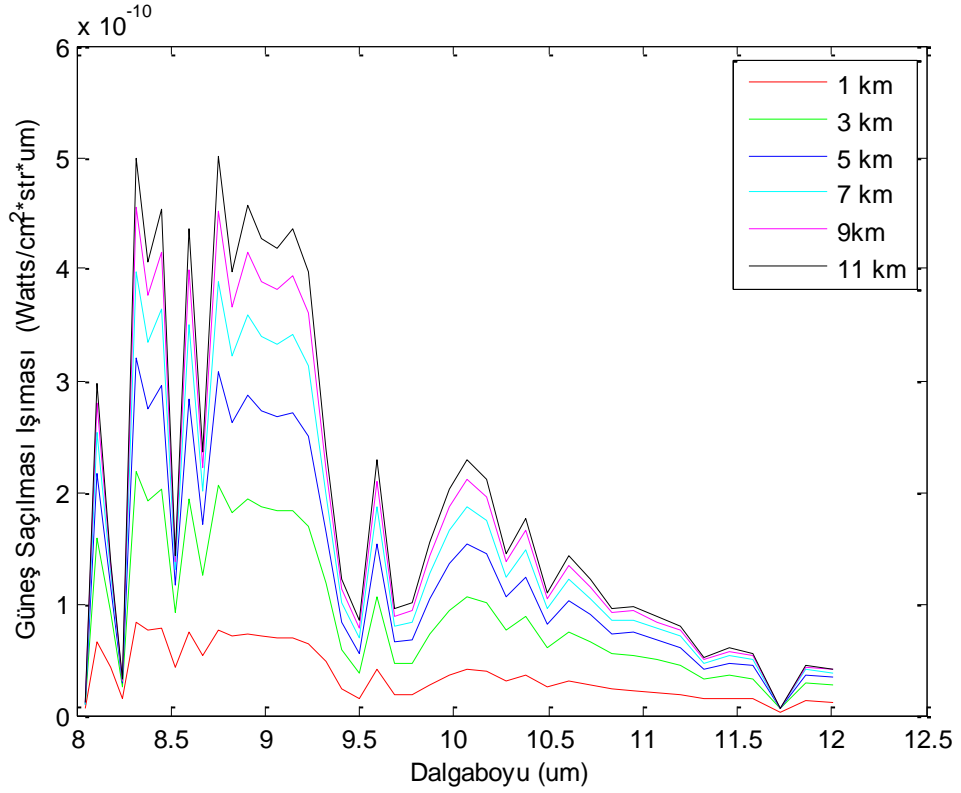


Şekil 4.31 Siyah cisim sıcaklıkları ($8-12\mu m$)

Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'de sırasıyla $3-5\mu m$ ve $8-12\mu m$ dalgaboyu aralıkları için MODTRAN yazılımı kullanılarak farklı uzaklıklarda hesaplanmış güneş saçılma ışıma değerleri yer almaktadır.

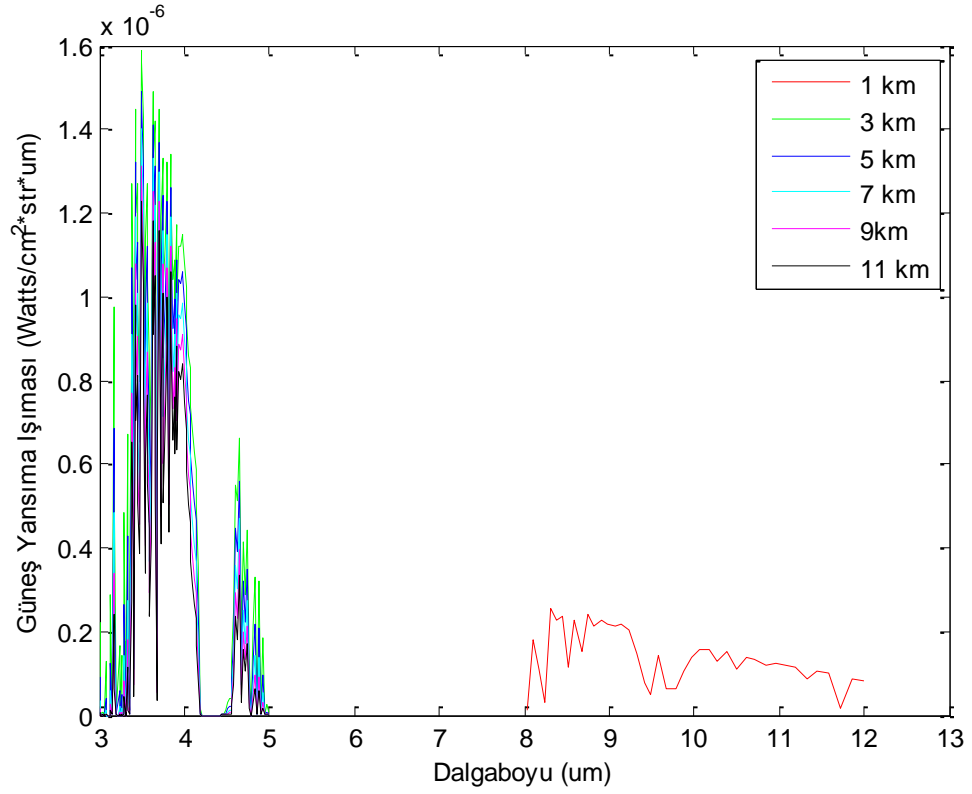


Şekil 4.32 Güneş Saçılma Işıması ($3-5\mu m$)

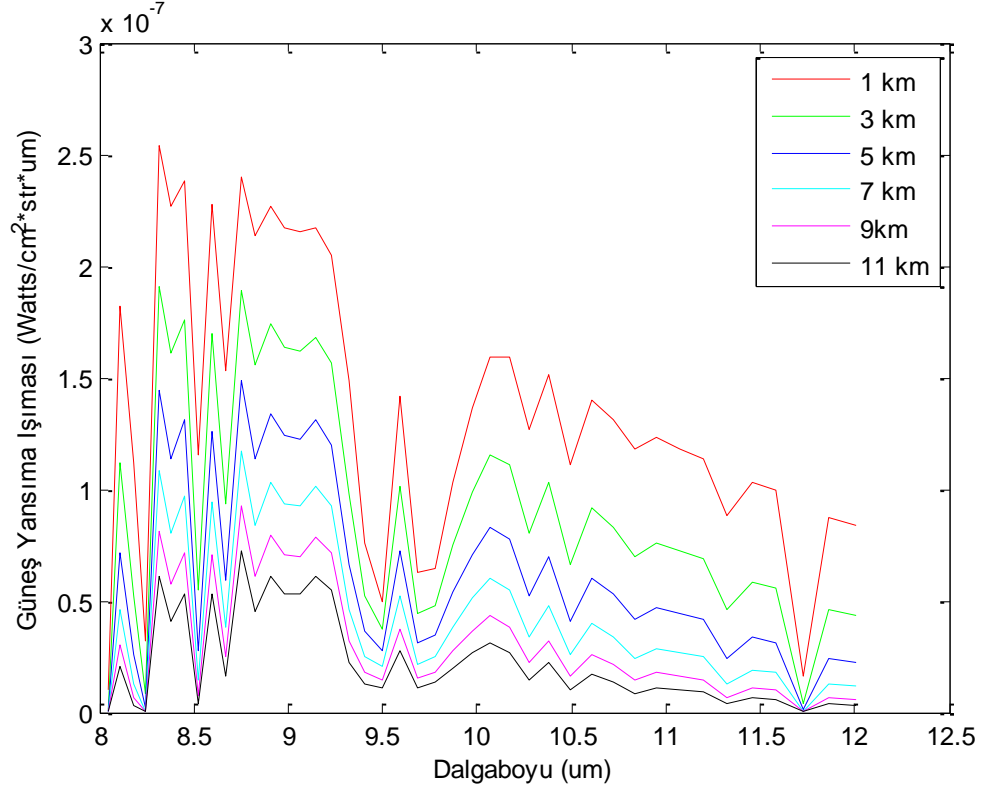


Şekil 4.33 Güneş Saçılma Işıması ($8-12\mu m$)

Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de sırasıyla $3-12\mu m$ ve $8-12\mu m$ dalgaboyları için MODTRAN yazılımı kullanılarak farklı uzaklıklarda hesaplanmış güneş yansımaya ışımaya değerleri yer almaktadır.

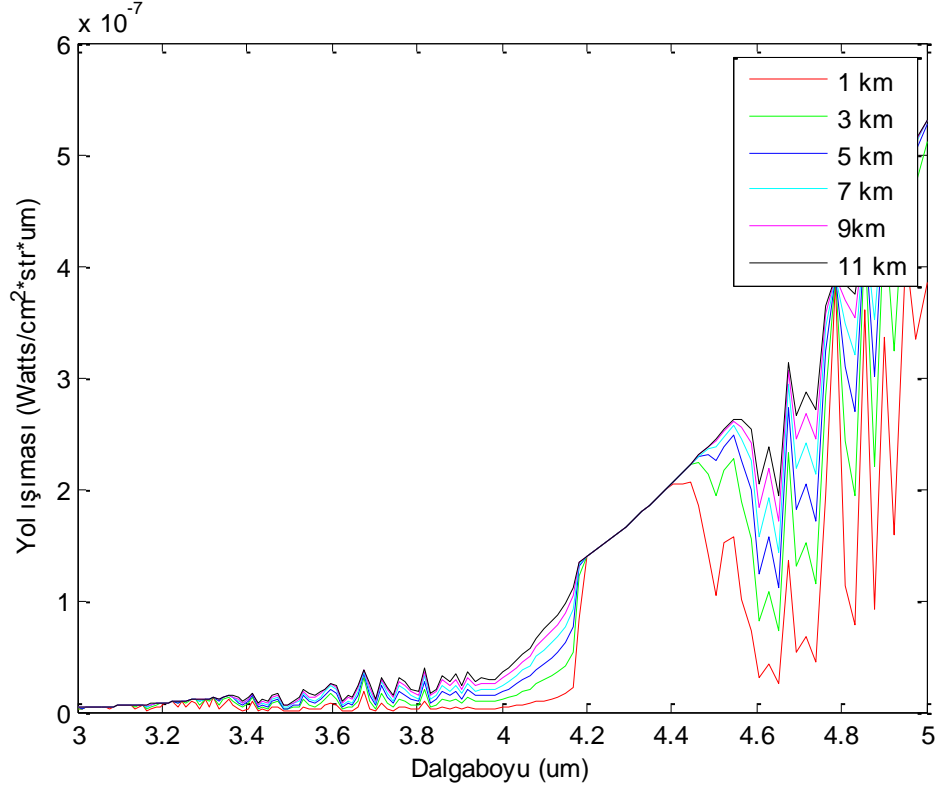


Şekil 4.34 Güneş Yansımaya Işıması ($3-12\mu m$)

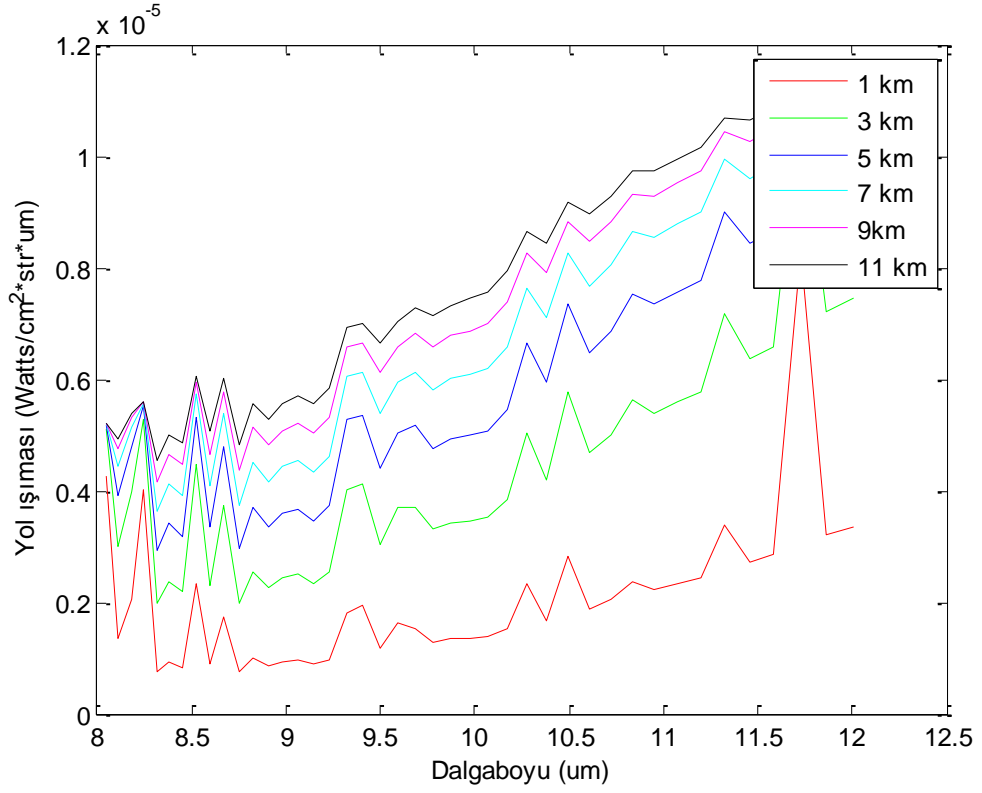


Şekil 4.35 Güneş Yansıma Işıması (8–12 μ m)

Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de sırasıyla 3–5 μ m ve 8–12 μ m dalgaboyları için MODTRAN yazılımı kullanılarak farklı uzaklıklarda hesaplanmış yol ışınması (path radiance) değerleri yer almaktadır.

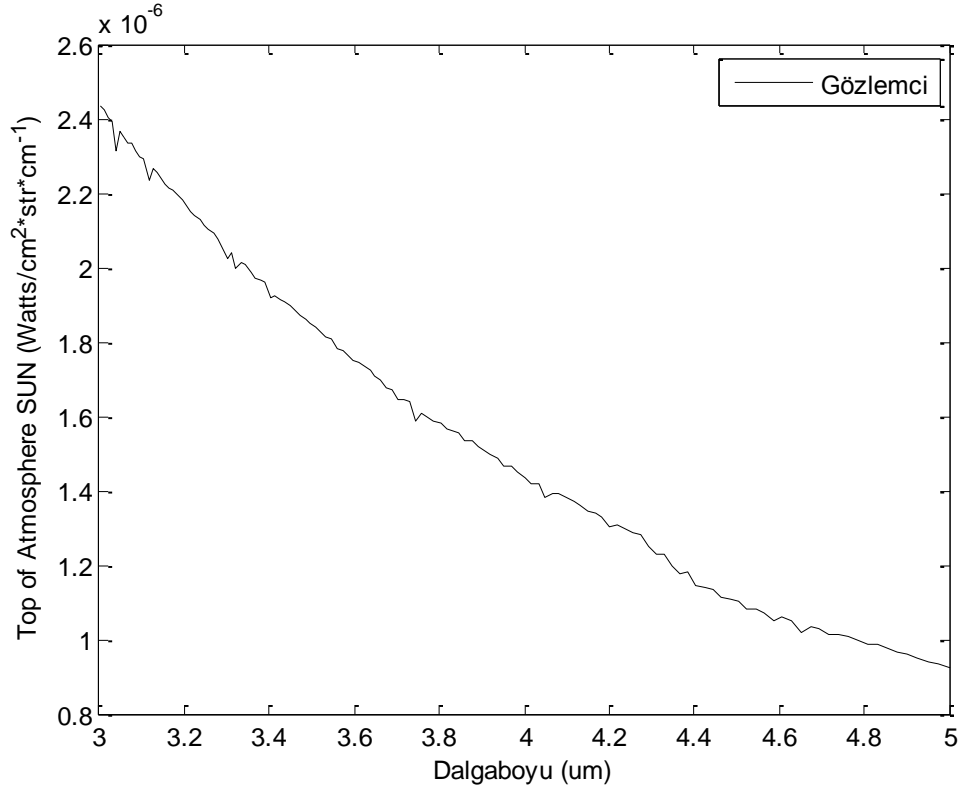


Şekil 4.36 Yol ışması ($3-5\mu\text{m}$)

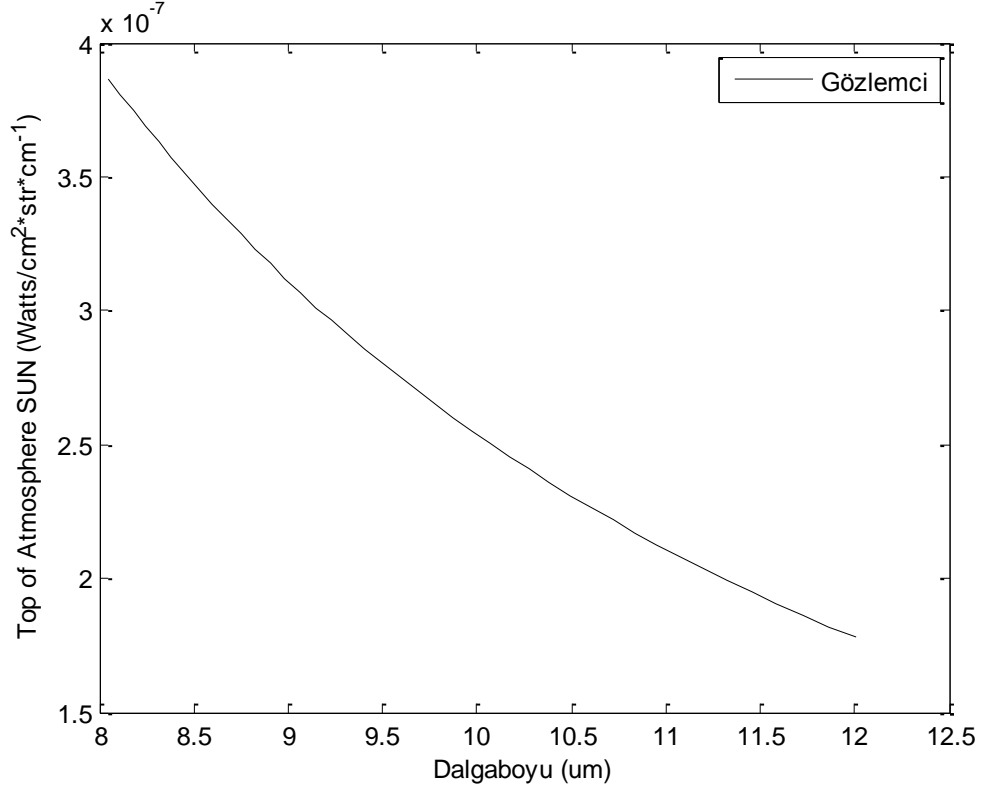


Şekil 4.37 Yol ışması ($8-12\mu\text{m}$)

Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da sırasıyla $3-5\mu m$ ve $8-12\mu m$ dalgaboyları için MODTRAN yazılımı kullanılarak hesaplanmış olan güneş ışınması değerleri yer almaktadır.

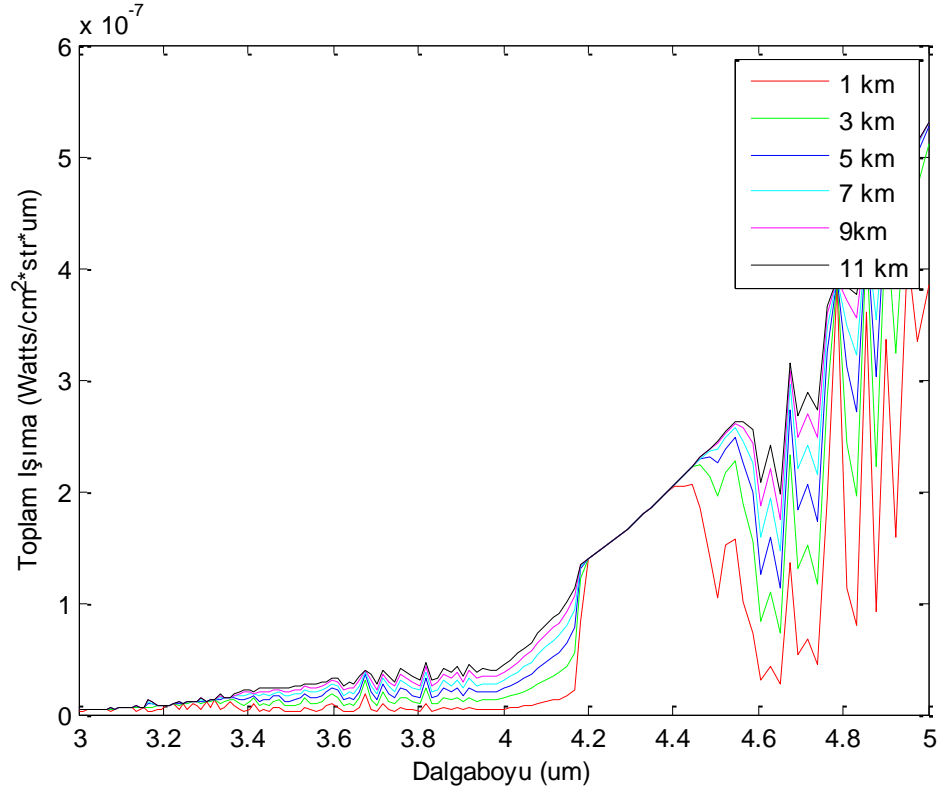


Şekil 4.38 Güneş ışınması ($3-5\mu m$)

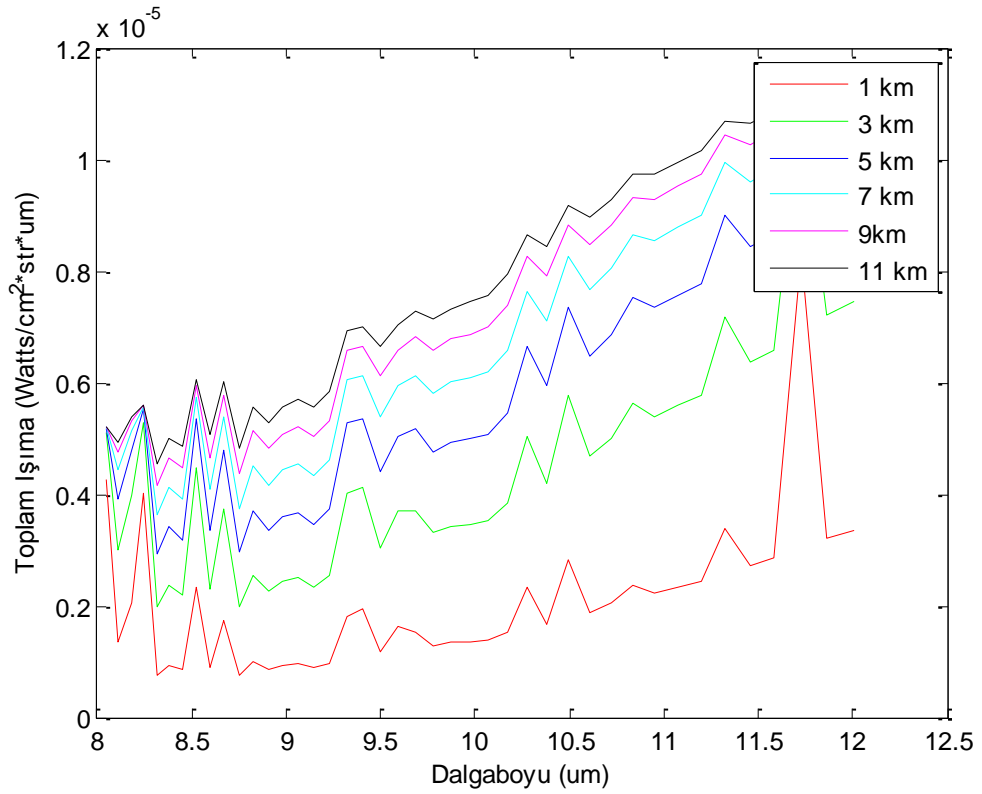


Şekil 4.39 Güneş ışıması (8–12 μm)

Şekil 4.40 ve Şekil 4.41’de sırasıyla 3–5 μm ve 8–12 μm dalgaboyları için MODTRAN yazılımı kullanılarak hesaplanmış olan toplam ışıma değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.40 Toplam Işıma (3–5 μ m)



Şekil 4.41 Toplam Işıma (8–12 μ m)

Atmosferik faktörler, özellikle uzak mesafedeki platformlara ait imgelerin bulanmasında baskın etken olabilmektedirler. KÖ-SÜ yazılımı kullanılarak atmosfere bağlı bulanmanın hedef tespit algoritmasının başarımına bağlı olarak etkisi gerçek zamanda kapalı döngü olarak izlenebilmektedir.

Döngü içerisinde, imgede bozulmaların benzetimi amaçlı KÖ-SENSÖR modülü ve elde edilen KÖ sahne imgesi içerisindeki muhtemel platform(lar)ın tespiti-takibi amaçlı olarak KÖ-HTT modülü yer almaktadır. Döngünün koşu başarımının belirlenmesi amacıyla; kapalı döngü oluşturulmuş ve farklı imge boyutları için ulaşılabilen en yüksek çerçeve hızları (frame rate) kaydedilmiştir.

KÖ-SENSÖR modülü yardımıyla, imgede bulanmanın ağırlıklı atmosfere bağlı olduğu koşullar altında algılayıcının gördüğü sentetik sahnenin benzetimi amaçlı olarak atmosferik türbülansın, optik sistemin, algılayıcının vb. sebep olduğu imgede bulanma ve gürültü eklenmektedir.

Platform & Algılayıcı mesafesine bağlı olarak değişen atmosfer koşulları altında hedef tespit-takip algoritması tarafından üretilen kararlar neticesinde bir sonraki sahneye ait bakış açısı, platform sahnenin merkezinde kalacak şekilde üretilmektedir. Şekil 4.42 ile Şekil 4.44 arasında kapalı-döngü boyunca kaydedilen imgelerden bazıları yer almaktadır. Şekil 4.42'de kapalı-döngü başlangıç anlarına ait bir imge verilmektedir. Şekil 4.42 içerisinde yer alan farklı imgeler sırasıyla, sol üst imge KÖ-SÜ yazılımı çıktıları, sağ üst imge KÖ-SENSÖR modülü çıktıları (Bulanma modeli), sol alt imge KÖ-SENSÖR modülü çıktıları (gürültü modeli), sağ alt imge ise KÖ-HTT yazılımı çıktıları göstermektedir.



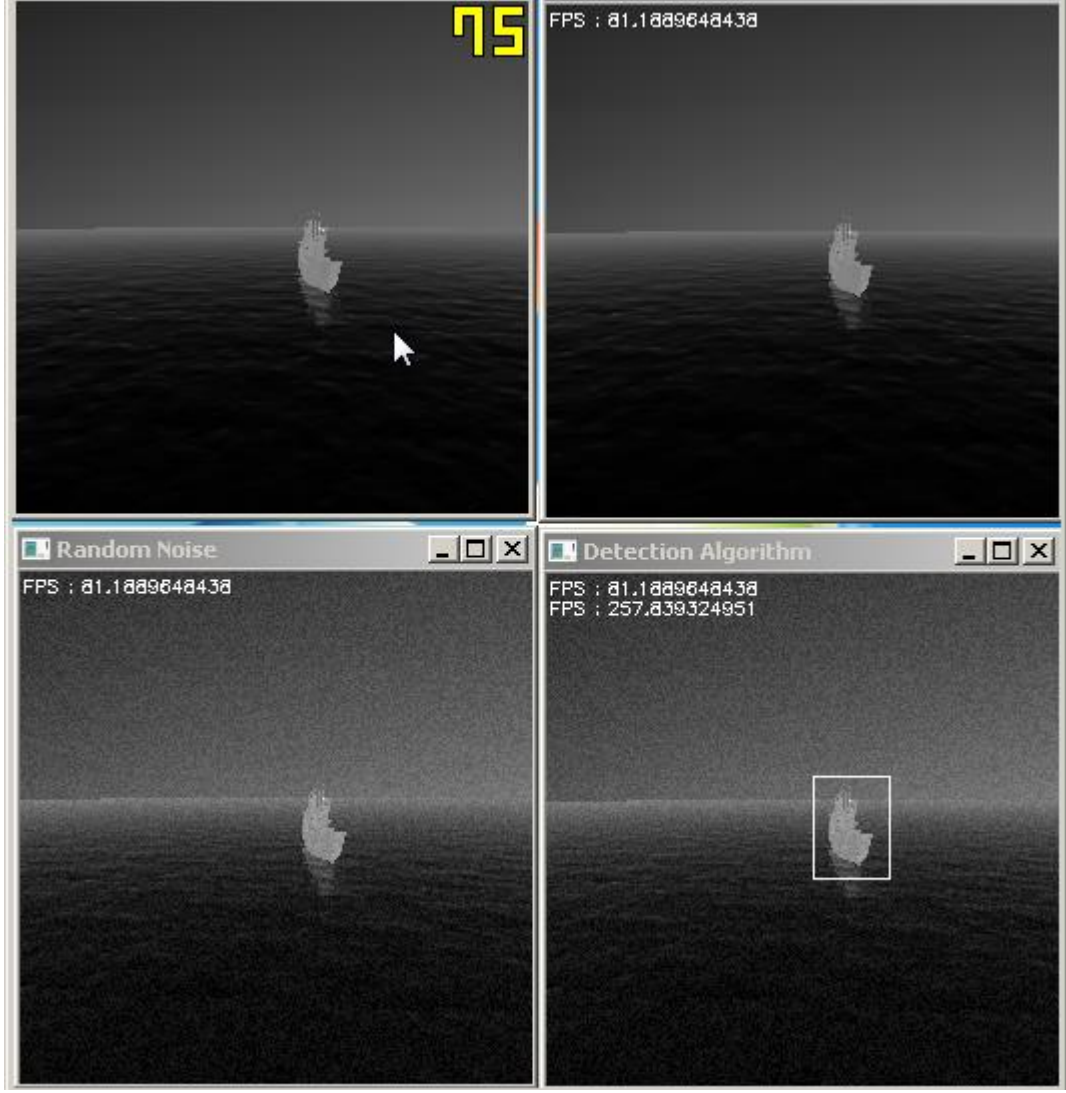
Şekil 4.42 Koşu başlangıcı

Şekil 4.43'de kapalı-döngünün koşarken hedefin tespit edilmesine ait bir anda kaydedilmiş olan bir imge gösterilmektedir.



Şekil 4.43 Koşu; hedefin tespit edilmesine ait bir an

Şekil 4.44'de KÖ-SÜ yazılımı tarafından üretilen bir KÖ sahne imgesi ve KÖ-HTT algoritması tarafından kapalı-döngü de saptanan platform üzerine çizilen hedef-tespit kapısı gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4.44 Koşu; döngünün sonlanma öncesi

Kullanılan imge boyutuna bağlı olarak kapalı-döngüde yer alan KÖ-SÜ, KÖ-SENSÖR ve KÖ-HTT yazılım bileşenlerinin harcadıkları koşu süreleri ve bütün bu yazılımların içerisinde yer aldığı toplam döngü süresi (saniyede işlenebilen çerçeve sayısı) Çizelge 4.8'de yer almaktadır [44]. Belirli bir imge formatı için, bu sürelerin toplamı, yazılımın kapalı-döngü de çalıştığı durumda döngü içinde bir çerçevenin işlenmesi için gereken toplam süreye eşittir. Bu toplam süre, yazılımın kapalı-döngü de çalışabileceği çerçeve hızı (frame rate) hakkında bilgi vermektedir.

Çizelge 4.8 İmge boyutuna bağlı olarak; kapalı-döngüde yer alan yazılımların harcadıkları süreler ve toplam döngü (kapalı-döngü) süresi

Çerçeve Boyutu	KÖ-SÜ*	KÖ-SENSÖR modülü*	KÖ-HTT modülü	Toplam döngü süresi
128 x 128	7 ms	0.5 ms	0.2 ms	128 Hz
256 x 256	7 ms	1 ms	0.6 ms	115 Hz
512 x 512	7 ms	2.5 ms	2.5 ms	82 Hz
1024 x 1024	7 ms	10 ms	10 ms	37 Hz

*Bu süreler, KÖ-SÜ yazılımı için imge verisinin DirectX arabelleğinden (buffer) CPU'ya aktarılması ve KÖ-SENSÖR modülü için GPU \rightleftarrows CPU veri aktarım süreleri de dâhildir.

İlgili tabloda da görüleceği üzere KÖ-SÜ yazılımının çalışma hızı nispeten imge boyutuna bağlı değildir. Artan imge boyutlarında dahi (256x256 veya 1024x1024) benzer çerçeve hızlarında çıktı üretebilmektedir. Bununla birlikte KÖ-SÜ yazılımı açısından çerçeve hızı sahne benzetiminde yer alan modellere ve yüksek bir oranda ilgili platform(lar), deniz gibi yama yapısına sahip elemanların yama sayılarına doğrudan bağlıdır. Örnek olarak yüksek yama sayısına sahip bir deniz sahnesi ve/veya platform için KÖ-SÜ yazılımının çerçeve hızı daha düşük olabilmektedir. Nesne üzerinde yer alan her bir elementin (yama) dinamik olarak hesaba katılması sebebiyle KÖ Sahne üretici ve buna bağlı olarak diğer bileşenlerin çalışma hızı, tel örgü sayısı ile ters orantılıdır.

KÖ-SENSÖR ve KÖ-HTT modülünün çalışma hızı, algoritmaları dâhilinde yer alan rutinlerin imge boyutuna bağlı olarak gerçekleştirdikleri işlem yükünün artması sebebiyle, doğrudan imge boyutuna bağlıdır. Bu modüller ilgili tabloda da görüleceği üzere, imge boyutlarına bağlı olarak, yüksek çerçeve hızlarında çalışabilmektedirler.

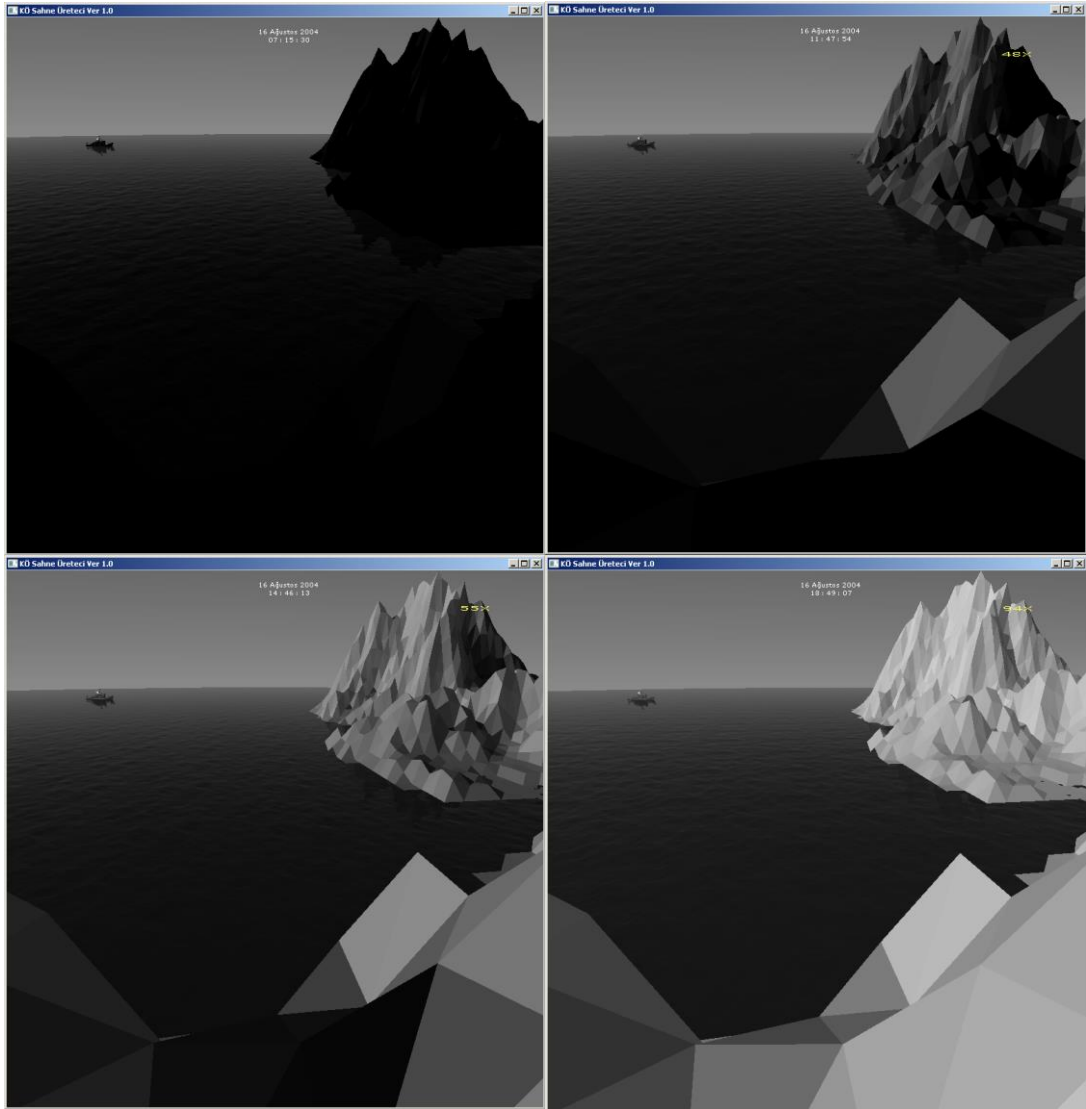
Ayrıca, bu test senaryosuna benzer şekilde, istenildiği takdirde, test senaryosu dâhilinde oluşturulan kapalı döngüye benzer şekilde döngüde KÖ-HTT modülünün yer almadığı veya bunun yerine kullanıcının anlık olarak oluşturulan sahnenin bakış açısını ve / veya uzaklığını değiştirebildiği açık veya kullanıcının içerisinde yer aldığı bir döngü (man-in-the-loop) şeklinde de koşturabilmek mümkün olabilmektedir.

4.8 Test Senaryosu 8

Bu test senaryosun da SRTM verileri kullanılarak oluşturulan bir ada modelinin KÖ-SÜ yazılımı dâhilinde gerçekleştirilen benzetimde yer aldığı bir uygulamaya dair sonuçlar verilmektedir.

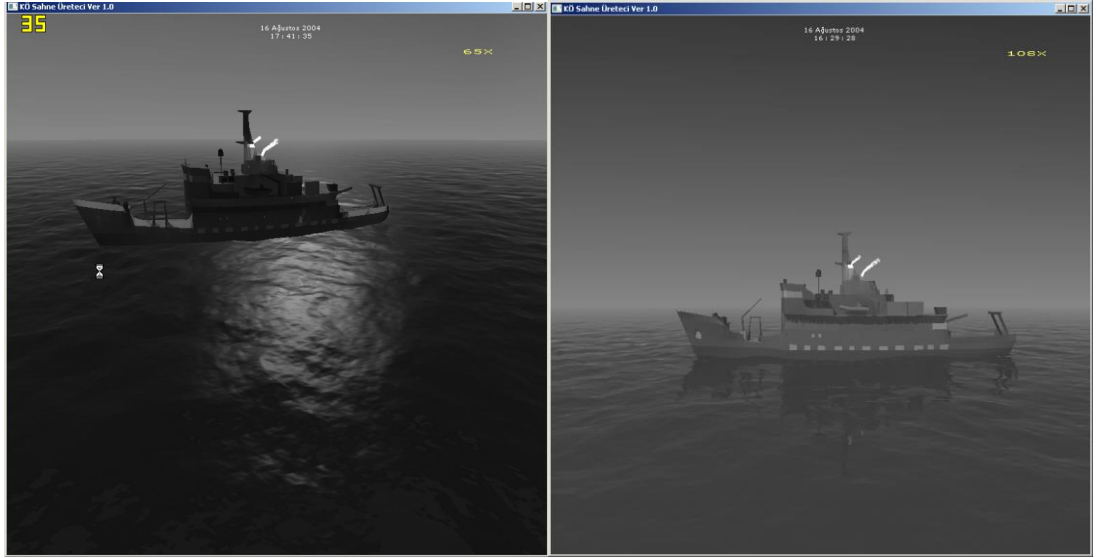
4.8.1 Benzetim ve Sonuçları

SRTM verileri kullanılarak ada modelinin, benzetim içerisinde, görselleştirilmesine dair benzetim Şekil 4.45’de yer almaktadır.



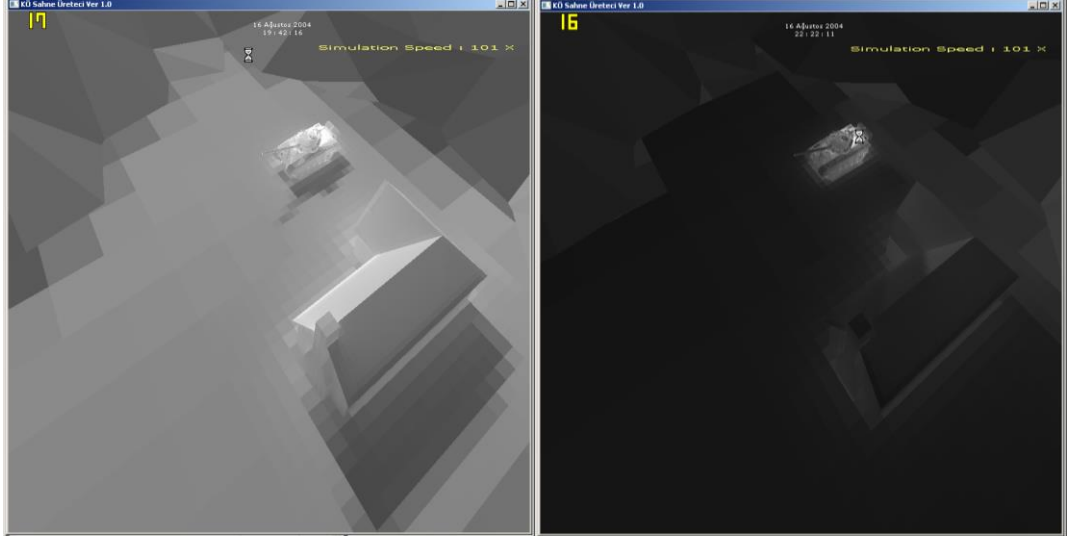
Şekil 4.45 SRTM verileri kullanılarak oluşturulan ada geometrisine ait benzetim

Senaryo içerisinde Ada ile birlikte bir su üstü platformu ve bir de kara platformu yer almaktadır. Toplam platformlar ve ada için yama sayısı 60000 civarındadır. Ada modeli benzetimi ile aynı senaryo içerisinde yer alan, platformun görüntülediği bir ana ait imge Şekil 4.46'da yer almaktadır.



Şekil 4.46 CFAV Quest benzetimi

Benzer şekilde, Ada modeli benzetimi ile aynı senaryo içerisinde yer alan, tank platformunun görüntülediği bir ana ait imge Şekil 4.47'de yer almaktadır.



Şekil 4.47 Tank Senaryosu

4.9 Test Senaryosu 9

Sentetik KÖ Sahne Üretici yazılımlarında, benzetimi yapılan nesne(ler)e ait ısı transferlerinin belirlenmesinde, geçerliliği genel olarak kabul görmüş RadThermIR [51] veya bu yazılıma karşı geçerliliği doğrulanmış yazılımlar [52] sonucu elde edilen sıcaklık / ışınım dağılımları kullanılmaktadır.

Bu kapsamda, KÖ sahne imgeleri oluşturulması amacıyla, özellikle içerisinde ısı transfer etkileşimlerini barındırmayan sentetik KÖ Sahne Üretici yazılımlarında, KÖ sahne imgeleri içerisinde yer alan platform(lar)a ait yüzey ışınımalarının hesaplanması ve / veya doğruluğunun artırılması amacıyla RadThermIR yazılımı tarafından üretilen çıktılar kullanılabilir.

RadThermIR yazılımı, ThermoAnalytics firması tarafından sürekli olarak geliştirmekte olup tez çalışması dâhilinde ilgili firma tarafından deneme lisansı kapsamında temin edilen RadThermIR 11.0.0 sürümü kullanılmaktadır.

4.9.1 Benzetim ve Sonuçları

Bu test senaryosunda, RadThermIR yazılımı tarafından sağlanan ilgili platform(lar)a ait ışıma / sıcaklık dağılımı, KÖ-SÜ yazılımında görselleştirilmektedir.

Geliştirilen yazılım dâhilinde, RadThermIR yazılımı yardımıyla elde edilen sonuçlar (sıcaklık / ışıma) KÖ-SÜ yazılımında görselleştirilebilmektedir. RadThermIR yazılımı yardımıyla elde edilen sonuçların sahne üretici yazılımında görselleştirilmesi ile KÖ sahne üretici yazılımının geliştirilmesi kapsamında yer alan platformun KÖ ışımalarının 'fiziksel olarak doğru' hesaplanması problemi; RadThermIR yazılımı çıktıların gerçek zamanlı olarak sahne üretici yazılımında kaplanması (render etme) problemine indirgenmektedir [40]. RadThermIR yazılımının kullanılması ile birlikte, platform KÖ izlerinin benzetilmesinde karşılaşılan problemler büyük oranda, platforma ait ısısal (iletkenlik gibi) ve optik (yayıcılık gibi) parametrelerin belirlenmesi ve benzetimi gerçekleştirilen bölgeye ait ortam / meteorolojik parametre değerlerinin ölçümüne / edinilmesine indirgenmektedir. RadThermIR yazılımı ayrıca, ölçüm sonuçlarının bulunmadığı durumlarda; ilgili ışımaların (örnek olarak güneş ve / veya gökyüzü ışımalarının) tahmin edilmesi ile ilgili yaklaşımlar da içermektedir.

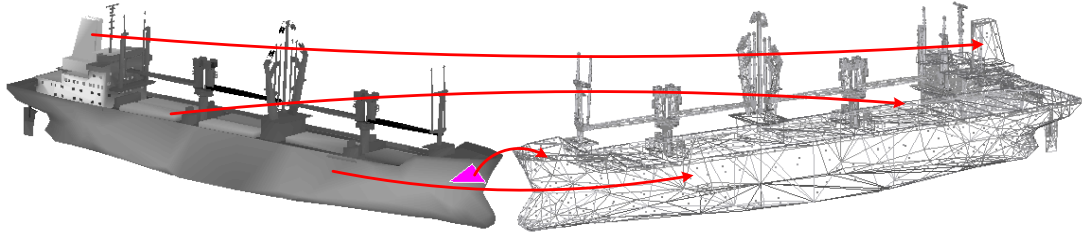
RadThermIR yazılımı, kullanıcının her bir yamaya (patch) ait sıcaklık değerlerini ataması beklenen yazılımlarda;

- Kullanıcı tarafından girilebilecek yama sayısının sınırlı olması,
- Benzetilen platform detayının girilecek yama sayısı kadar detayda gerçekleşecek olması,
- Kullanıcının değişen güneşin konumu / meteoroloji / ortam koşulları altında bu sıcaklıkları yeniden girmesinin beklenmesi,

gibi girdilere nazaran fizik temelli yaklaşımlar kullanılarak değişen meteoroloji (bağıl nem ve rüzgâr hızı gibi) ve ortam koşulları altında (güneş, ay ve gökyüzü gibi) her bir yamaya ait sıcaklık / ışıma tahmininde bulunması sebebiyle benzersiz bir çözüm sunmaktadır.

Benzetim de senaryo dâhilinde önceden hesaplanmış belirli bir ana ait hesaplama sonuçları yer alabileceği gibi, istenildiği takdirde, belirli bir zaman döngüsü içerisinde hesaplanmış sonuçlar da yer alabilmektedir.

Şekil 4.48’de RadThermIR yazılımı tarafından önceden hesaplanmış olan ışıma / sıcaklık verilerinin KÖ-SÜ yazılımında nasıl görselleştirildiğine dair şematik bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 4.48 RadThermIR yazılımı çıktılarının KÖ-SÜ’de görselleştirilmesi

KÖ-SÜ yazılımı, RadThermIR yazılımı tarafından üretilen platform(lar)a ait yüzey sıcaklıklarının / ışımalarının tamamını döngüde görselleştirebilme yeteneğine sahiptir. İlgili test senaryosu içerisinde yer alan platform (Şekil 4.50) 15000 adet yamadan oluşmaktadır. Yazılım platform üzerinde yer alan her bir yamaya ait ışıma / sıcaklık değerlerinin tamamını ve belirli bir zaman aralığı içerisindeki değişimlerini sahne içerisinde dinamik olarak değişim içeren diğer (deniz, gökyüzü gibi) bileşenlerin benzetimi ile birlikte gerçek zamanlı olarak gerçekleştirebilmektedir. Böylelikle ilgili platformların yüksek çözünürlükteki KÖ görüntülerinin benzetilmesi / döngü de yer alması ihtiyacı bulunan benzetimler yazılım dâhilinde kolaylıkla sağlanabilmektedir.

Bu yapı sayesinde; geliştirilen yazılımın, sadece ilgili platformun üzerinde yer alan yamalarının oluşturduğu bölümlerinin (part) gösteriminin (15000 yamaya sahip platform için 20 adet bölüm) gerçekleştirildiği yazılımlara kıyasla artıları bulunmaktadır. Geliştirilen yazılım tarafından üretilen imgeler üzerinde yer alan sarı rakamlar yazılımın bir saniye içerisinde

ilgili imgeyi kaç kere hesaplayabildiğini / görselleştirebildiğini göstermektedir. Bu ibarelerden de anlaşılacağı üzere yazılım yüksek çerçeve hızlarında (ilgili senaryo için 800x800 piksel çözünürlüğü kullanılmakta) çalışmaktadır. İlgili yazılımın üzerinde koştuğu bilgisayar işlemcilerini paralel olarak kullanması sebebiyle daha fazla çekirdek sayısına sahip ve/veya daha yüksek işlemci gücü altında yazılımın daha da yüksek çerçeve hızlarında koşacağı değerlendirilmektedir.

Yazılım ilgili sıcaklıkların / KÖ ışımaların eldesinde daha önceden bir ön hesaplama aşaması sonucunda (pre-processing) elde edilen sonuçları kullanmaktadır. Bu tür bir görselleştirme yaklaşımı, literatürde yer alan birçok KÖ Sahne üretici yazılımı tarafından da sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte hesaplamaların anlık olarak yapılarak ilgili sahnenin daha da önceden kestirilemeyen anlık değişimlerinin de hesaba katılacağı bir yapının kurulması yazılım dâhilinde mümkündür. Bununla birlikte bu tür bir yapı da ilgili sahne ışımalarının hesaplanması uzun süreler almakta ve ilgili sahne üretici gerçek zamanlı olarak çalışmamaktadır. Bu sebeple yazılım önceden kestirilen / planlanan sahne değişimleri (meteorolojik, atmosferik değişimler ile platformun konumunun değişimi gibi) göz önünde bulundurularak hesaplanmış olan sahne ışımalarının / sıcaklıklarının benzetimini gerçekleştirilmektedir.

Yazılım ilgili sahne nesnelere görselleştirilme benzetiminde sahne içerisinde yer alan cisimlerin (yamaların) sıcaklıklarının / ışımalarının asgari ve azami değerlerini koşu başlamadan önce hesaplamakta ve üretilen her bir imge için ilgili sıcaklık / ışımaya değişimlerini asgari ve azami değerler göz önünde bulundurarak görselleştirmektedir.

Bu kabiliyet sahne içerisinde yer alan ışımaya kaynaklarının ışımalarının görselleştirilmesinde kullanıcıya kolaylık sağladığı gibi istenildiği takdirde bütün bir koşu için sabit bir ışımaya / sıcaklık aralığı içinde görselleştirme sağlanabilmektedir.

4.9.1.1 Deniz Platformu Benzetimi

Şekil 4.49'da RadThermIR yazılımı çıktılarının KÖ-SÜ'de görselleştirilmesine ait, koşu sırasında farklı anlara ait kaydedilmiş imgeler yer almaktadır. İlgili platform üzerinden yaklaşık olarak 4000 adet koşu boyunca üretilen her bir çerçeve için yenilenen yama bulunmaktadır. KÖ-SÜ yazılımı bu koşullar altında şekil üzerinde görülebileceği üzere yaklaşık olarak 240 Hz'de çalışmaktadır.

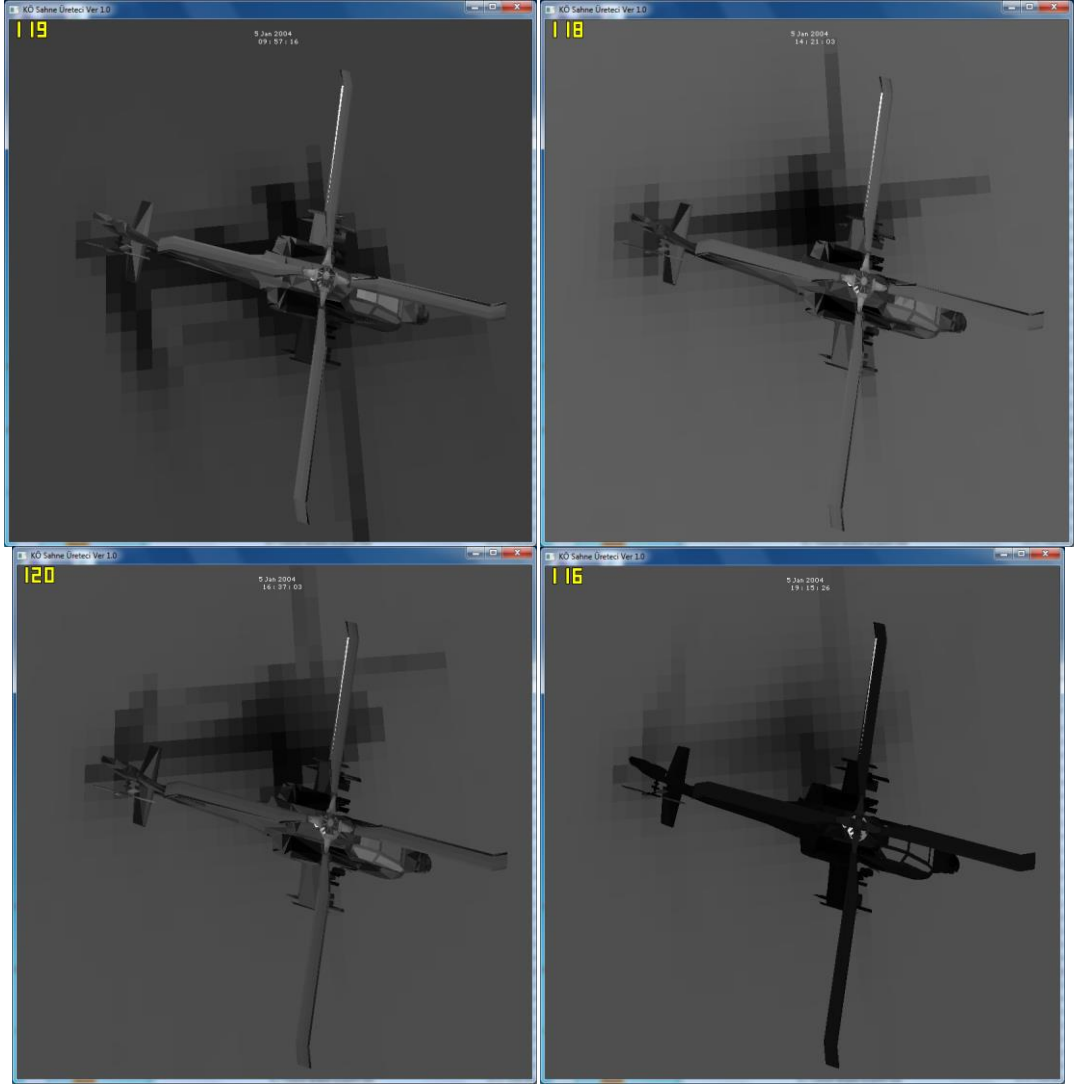


Şekil 4.49 KÖ-SÜ: RadThermIR Deniz platformu benzetimi

4.9.1.2 Hava Platformu Benzetimi

Şekil 4.50'de RadThermIR yazılımı ile hesaplanmış olan bir döner kanat platformuna ait KÖ ışımının KÖ-SÜ yazılımı yardımıyla dinamik ve gerçek zamanlı olarak benzetimi sırasında alınmış olan belirli zamanlara (09.57 (sol üst), 14.21 (sağ üst), 16.37 (sol alt), 19.15 (sağ alt)) ait anlık

imgeler yer almaktadır. İlgili platform üzerinden yaklaşık olarak 15000 adet koşu boyunca üretilen her bir çerçeve için yenilenen yama bulunmaktadır. KÖ-SÜ yazılımı bu koşullar altında şekil üzerinde görülebileceği üzere yaklaşık olarak 118 Hz'de çalışmaktadır.



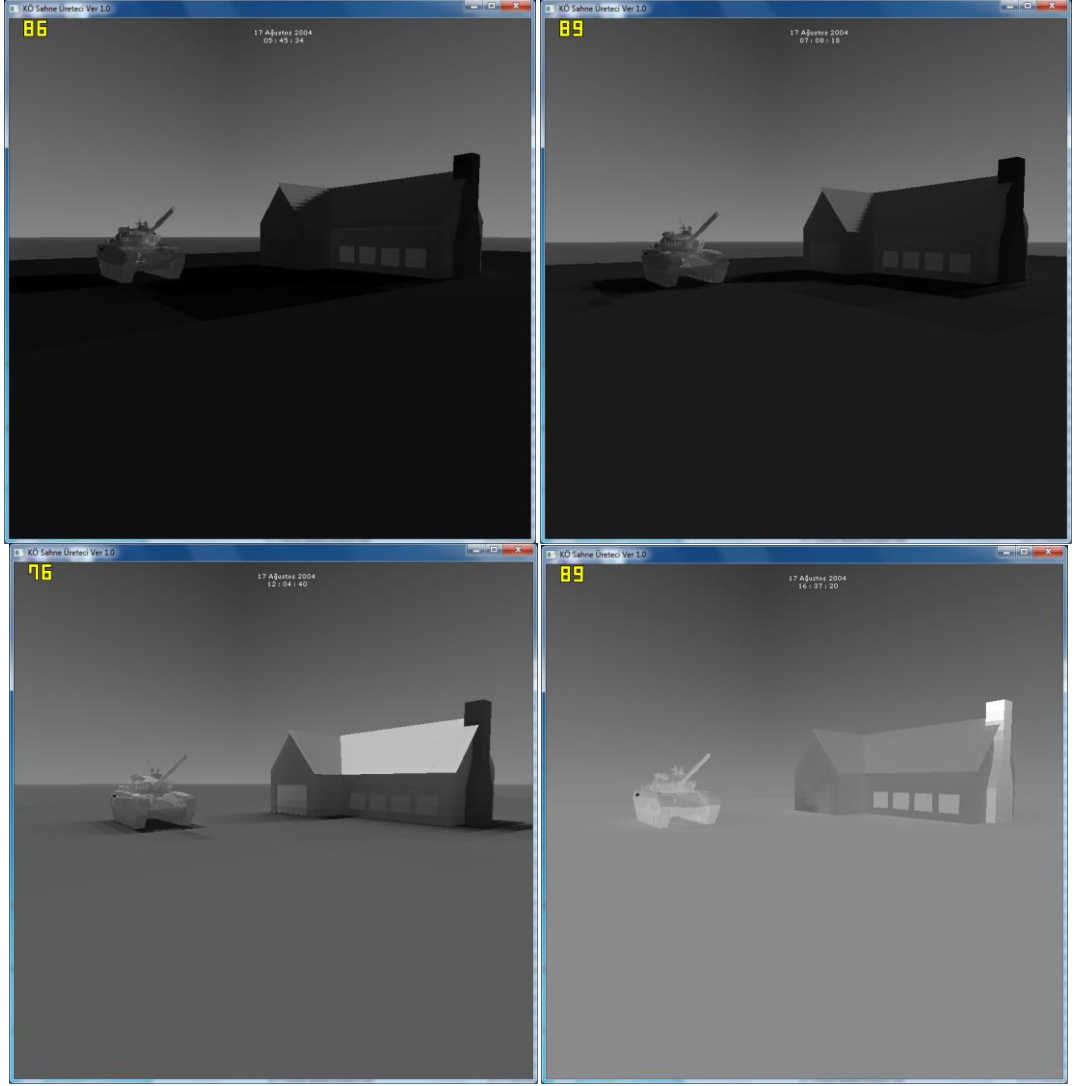
Şekil 4.50 KÖ-SÜ: RadThermIR Hava platformu benzetimi

Şekil 4.50'de görülebileceği üzere ilgili 3D ısı transfer denklemlerinin çözümü sonrası elde edilen "fiziksel olarak doğru" ışımaların KÖ-SÜ yazılımında dinamik kullanılabilir olması sebebiyle benzetim içerisinde KÖ ışıma açısından önemi bulunan ısısal gölge (thermal shadowing) etkileri gibi

etkilerde yer alabilmektedir. Böylelikle, Şekil 4.50 içerisinde yer alan imgeler üzerinde bariz olarak görülebileceği üzere, bir platformun uzun süre bir yer de kalması sonucunda oluşan ısısal gölge ve güneşin platform yüzeylerini ısıtması sonucu oluşan belirli bölgelerin ısınma ve/veya soğuma etkileri gibi etkilerde benzetim dâhilinde yer alabilmektedir.

4.9.1.3 Kara Platformu Benzetimi

Test senaryosu içerisinde bir kara platformunun (tank) benzetimi yer almaktadır. Senaryo bir tankın belirli bir süre (1 gün gibi) sabit bir konumda bulunduktan sonra, motorlarını çalıştırıp belirli bir doğrultuda ilerlemesini ve böylelikle KÖ ışınması üzerine etkili olan etkilerin gösterimini içermektedir. Şekil 4.51 içerisinde tankın sabit bir konumda yer aldığı, gün içerisindeki farklı anlara (05.45, 07.08, 12.04, 16.37) ait imgeler gösterilmektedir. Tankın motorları çalışmamaktadır. Böylelikle gözlemlenen KÖ ışınma üzerinde ilgili platforma ait sadece çevresel değişiklikler etkili olmaktadır. İlgili platform üzerinden yaklaşık olarak 20000 adet koşu boyunca üretilen her bir çerçeve için yenilenen yama bulunmaktadır. KÖ-SÜ yazılımı bu koşullar altında şekil üzerinde görülebileceği üzere yaklaşık olarak 90 Hz'de çalışmaktadır.



Şekil 4.51 KÖ-SÜ: RadThermIR Kara platformu benzetimi

Şekil 4.52’de ise Şekil 4.49’da yer alan benzetimin başka bir açıdan, gün içerisindeki farklı anlara (08.56, 12.56, 15.15, 20.07) ait gösterimi yer almaktadır.



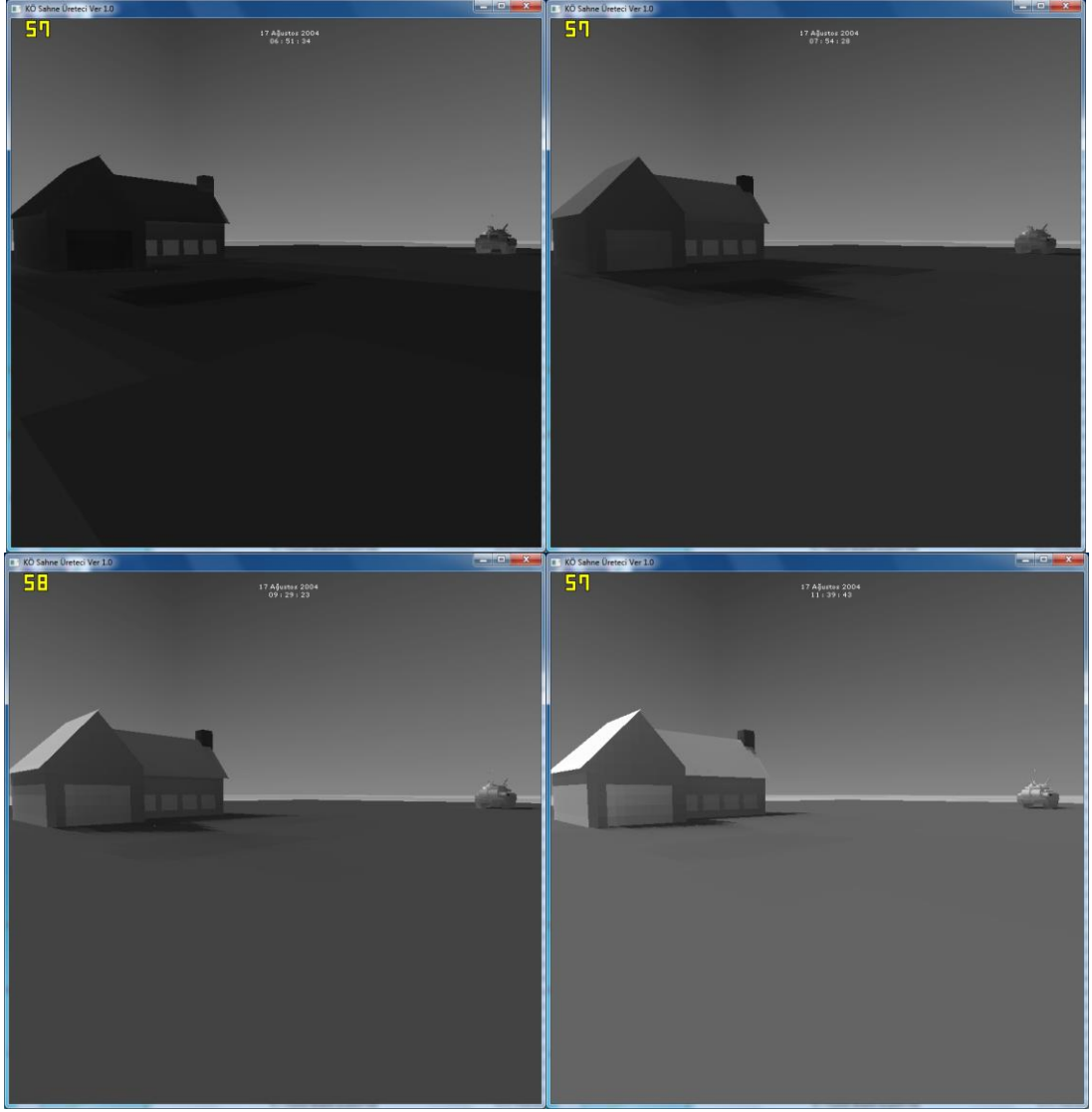
Şekil 4.52 KÖ-SÜ: RadThermIR Kara platformu benzetimi

Şekil 4.53'de platformun konumu ve güneşin açısına bağlı olarak evin camlarından içeriye sızan ve camın karşı duvarını ısıtması sonucunda oluşan ışımalar gösterilmektedir. Benzetimde yer alan imgeler, sırasıyla, günün 21.34 ve 22.29 saatlerinde elde edilmiştir.



Şekil 4.53 KÖ-SÜ: RadThermIR Kara platformu benzetimi

Şekil 4.54’de ise tankın motorlarını çalıştırdıktan sonra sabit konumundan belirli bir doğrultuda ilerlemesi sonrası alınan farklı zamanlara (06.51 (sol üst), 07.54 (sağ üst), 09.29 (sol alt), 11.39 (sağ alt)) ait imgeler gösterilmektedir. Şekil 4.54 sol üst imgede tankın daha önce sabit konumunda uzun süreler beklemesi sonucu oluşan ısısal gölge etkileri görülmektedir. Daha sonra tankın motorlarını durdurması ile birlikte elde edilen farklı zamanlara ait imgeler gösterilmektedir. Tankın motorlarını ve ilerlemesini durdurduğu an itibariyle tank üzerinde yer alan yüzeylerin ortam ile etkileşimleri sebebiyle soğumaya / ışımasının azalmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 4.54 KÖ-SÜ: RadThermIR Kara platformu benzetimi

Bununla birlikte, RadThermIR yazılımının bazı avantajları / dezavantajları bulunmaktadır. Bu avantajları / dezavantajlar Test Senaryosu 10'da gösterilmeye çalışılmaktadır.

4.10 Test Senaryosu 10

Bu test senaryosunda RadThermIR yazılımı ile tez kapsamında geliştirilen yazılımının benzerlikleri, kabiliyetleri ve zafiyetleri gösterilmektedir.

Thermoanalytics firması 1997 yılında kurulmuş olup, güdümlü olarak ısı aktarımlar konusunda uzun yıllardır faaliyetlerine devam etmektedir. Firma yapmış olduğu bir sunumda 4 adet doktoralı ve 12 adet yüksek dereceye sahip olmak üzere 15 kişilik teknik kadro ve toplamda 26 çalışan ile farklı ülke / yerleşkede yer alan 5 ofise sahip olduklarını belirtmişlerdir [53]. Firma tarafından açıklanan verilere göre firmanın kazancı yıllara göre giderek artmakta ve 2006 yılı içerisindeki kazancı 6 milyon dolar olarak belirtilmektedir. Firmanın elde ettiği kazancı, büyüklük sırasına göre Kolluk kuvvetleri (Army) (%55), Deniz kuvvetleri (Navy) (% 14) ve Otomotiv sektörü (% 10) kapsamında gerçekleştirildikleri çalışmalar oluşturmaktadır. Firma, kurulduğu yıllarda Ford firması ile ortak bir şekilde ısı transfer benzetimi gerçekleştirebilen RadTherm yazılımını geliştirmişlerdir. RadTherm yazılımının KÖ ışıma öngörüsünde bulunma kabiliyeti bulunmamaktadır. Daha sonraları firma, SBIR (Small Business Innovative Research) ve Amerikan askeri kuvvetlerinin sağladığı destekler kapsamında MuSES yazılımını geliştirmişlerdir. MuSES yazılımı ile birlikte 'plume radiance module' modülü de kullanılabilir. Bu modül STAR-CFD veya FLUENT gibi HAD yazılımları tarafından hesaplanmış sıcaklık, geometri ve baca gazı içeriği bilinen bir baca gazı verisini hesaba katabilme / görselleştirebilme kabiliyetine sahiptir.

Firma tarafından üretilen RadThermIR / MuSES yazılımları ısı aktarımların hesaplanması ile KÖ ışıma öngörüsünde / sahne benzetiminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bununla beraber RadThermIR yazılımının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu kapsamda RadThermIR yazılımı ile tez kapsamında geliştirilen yazılım arasındaki benzerlikler avantaj ve dezavantajlar aşağıda yer almaktadır.

- RadThermIR yazılımı bir KÖ sahne üretici yazılımı değil, sahne üretici yazılımlarında sıcaklık / ışıma öngörüsünde kullanılmak amacıyla kullanılabilen bir ara yazılımdır.
- RadThermIR yazılımının oluşturulma amacının doğrudan sentetik KÖ Sahne Üreteçlerine yönelik olmaması sebebiyle;
 - Gerçek zamanlı olarak çıktı üretememekte,

- Yazılım tarafından gerçekleştirilen hesaplamaların daha sonra gösterilmesi amacıyla, yazılımın herbir zaman aralığında ilgili sonuç verilerini belirli bir dosyaya kaydetmesi gerekliliği bulunmaktadır.

Bu ve benzeri sebepler dolayısıyla, RadThermIR yazılımının hesaplama süresi uzun sürmekte ve böylelikle yazılımının kendisi değil çıktıları gerçek zamanlı sentetik KÖ sahne üreticilerinde kullanılmaktadır (Tez kapsamında geliştirilen KÖ-SÜ yazılımı; RadThermIR yazılımının çıktılarını görselleştirebilme yeteneğine sahiptir)

- RadThermIR yazılımı, özellikle hareketli (dinamik) deniz sahnelerinin benzetimini gerçekleştirilememektedir. Tez kapsamında KÖ-ISIT yazılımı (ve ihtiyaç durumunda RadThermIR yazılımı çıktıların da) tarafından elde edilen çıktıların gerçek zamanlı ve dinamik olarak deniz senaryoları benzetimi içerisinde yer alabileceği bir yapı oluşturulmuştur.
- RadThermIR yazılımı içerisinde baca gazı ve / veya ısı fişğine ait görselleştirme / benzetim yer almamaktadır. Bu sebeple ilgili platformlar üzerinde, KÖ ışımaya açısından, yüksek ışımaya ve öneme sahip bu tip bileşenler benzetilememektedir. RadThermIR yazılımı üretici firması tarafından geliştirilen MuSES yazılımı baca gazına ait çıktıların görselleştirilmesi yeteneğini ek paket (plume radiance module) ile sunuyor olmasına rağmen, ilgili yazılımın (MuSES) Amerika dışında satışı bulunmamaktadır. Bununla birlikte, MuSES yazılımının baca gazı görselleştirme yeteneği ile ilgili olarak literatürde geçerliliği veya görselleştirmeyi nasıl gerçekleştirdiği ile ilgili bilgilerin yer almıyor olması sebebiyle güvenilirliği ile ilgili soru işaretleri bulunmaktadır. Tez kapsamında, belirli yaklaşımlar ve kabuller altında, baca gazı ve / veya ışık fişği benzetimi ile ilgili gerçek zamanlı olarak çalışabilen bir yöntem ortaya konulmuştur.
- Literatürde, RadThermIR yazılımının birçok ortam koşulu altında geçerliliğinin sağlandığı / test edildiğine dair ibareler bulunmasına rağmen bu testler ve sonuçları ile ilgili yeterince bilgi

bulunmamaktadır. Yazılım ile birlikte sunulan el kitabı (manual) içerisinde sadece basit 2D geometriler için oluşturulmuş senaryoların analitik sonuçlar ile karşılaştırmasına dair sonuçlar yer almaktadır. Bu sebeple bu örneklerin yazılımın bütün olarak geçerliliğinin gösterilmesi adına yeterli olmadığı düşünülmektedir. Ayrıca literatürde CUBI üzerine gerçekleştirilmiş olan geçerlilik sonuçları yer almakta olup bu geçerliliğe ait üretilen değerler, Test Senaryosu 2’de gösterildiği üzere KÖ-ISIT yazılımı ile de elde edilebilmektedir.

- RadthermIR yazılımı taşınım katsayısının (convection coefficient) hesaplanması kapsamında detaylı bir model sunmamaktadır. Bununla birlikte yazılım, detaylı taşınım katsayısı hesaplamaları yapabilen FLUENT yazılımı veya benzeri HAD yazılımlarının, önceden oluşturulmuş, çıktıları kullanabilmektedir. Tez kapsamında geliştirilen yazılımın, zaman kısıtı sebebiyle, FLUENT benzeri HAD yazılımlarının çıktıları kullanabilme yeteneği bulunmamasına rağmen ilgili kabiliyetin, istek dâhilinde, gerçekleştirmiş olduğum çalışmalar kapsamında, kısa zaman içerisinde kazanılabileceği değerlendirilmektedir.
- RadThermIR yazılımı içerisinde bir KÖ algılayıcı tarafından, belirli mesafelerden algılanan sentetik KÖ bir imgenin benzetimlerinde yer alması beklenen bulanma tabanlı sensör etkileri bulunmamaktadır. Tez kapsamında bu etkilerin benzetimi amaçlı KÖ-SENSÖR yazılımı geliştirilmiştir.
- Yazılımın belirli bir mesafeden gözlemlenmesi / benzetilmesi istenilen platform(lar)ın KÖ ışımalarının KÖ sahne üreteçlerinde kullanımı / tahmini amaçlı bir çözümü bulunmamaktadır. Bu kapsamda MODTRAN vb. çözümleri BRDF modülü içerisinde yer alsa da, ilgili modülün çıktıları bildiğimiz kadarıyla KÖ sahne üreteçlerinde kullanılamamaktadır.

Tez çalışması kapsamında KÖ-ISIT yazılımı tarafından üretilen sıcaklık / ışımaya verileri yardımıyla belirli mesafelerde gözlemlenmek istenen platform(lar)ın ışımalarının öngörüsü gerçekleştirilebilmektedir. Bu kapsamda MODTRAN yazılımının ürettiği atmosferik

parametre değerleri kullanılmaktadır. Ayrıca tez kapsamında MODTRAN yazılımının kullanımı amaçlı ilgili yazılımın arayüzünü kullanmadan girdi sağlanabileceği ve çıktıların okunabileceği bir yapı geliştirilmiştir.

- RadThermIR yazılımı yapmış olduğu hesaplamaların gerçekleştirilmesinde üzerinde koştuğu bilgisayarın sadece tek bir işlemcisini kullanmaktadır. Günümüz bilgisayarlarının 8 veya daha fazla işlemciye (veya thread) sahip oldukları düşünöldüğünde bu kısıt (8 çekirdekli bir sistem için ilgili sistemin işlem gücünün sadece %13'lük bölümünün kullanımı) hesaplama zamanı açısından önemli kayıplara yol açmaktadır. Tez kapsamında geliştirilen yazılım, üzerinde koştuğu bilgisayara ait işlemcileri kullanabilmesinin yanısıra ilgili bilgisayarın GPU işlemcisini de kullanmaktadır.
- Tez kapsamında geliştirilen yazılımın aksine RadThermIR yazılımı, benzetimi gerçekleştirilecek olan platformlara ait 3D katı model girdi formatı olarak sadece *.obj formatını kullanmaktadır. Tez çalışması kapsamında geliştirilen yazılım, birçok formatı destekliyor olmasının yanısıra, arzu edildiği takdirde istenilen dosya formatı girdisine yönelik olarak kısa sürede güncellenebilmektedir.
- RadThermIR yazılımının çıktılarının kullanılması istenildiği durumda çıktılarının ilgili KÖ Sahne üretici yazılımına entegrasyonu bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte ilgili yazılımın çıktılarının geliştirilen KÖ-SÜ yazılımının da görselleştirilebildiği bir yapı oluşturulmuştur.
- RadThermIR yazılımı ile birlikte kullanılabilen herbir modöl (deniz yüzeyi modölü (statik), üst düzey BRDF modölü gibi) ayrı ayrı satılmakta ve üretici firma bu modüller için ayrıca ücret talep etmektedir.
- RadThermIR yazılımının, üzerinde koştuğu herbir bilgisayar için ayrı ayrı (veya toplu olarak) lisans satın alınması gerekliliği bulunmakta olup bu lisans dağıtımları için ayrıca ücret talep edilmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tez kapsamında, sentetik KÖ Sahne imgeleri üretebilmek amacıyla bir KÖ Sahne Üretici (KÖ-SÜ) yazılımı ve bu yazılım kapsamında ihtiyaç duyulan verilerin eldesi amaçlı Isıl Transfer Yazılımı (KÖ-ISIT), KÖ Sensör Modeli (KÖ-SENSÖR) ve KÖ Hedef Tespit - Takip (KÖ-HTT) modülleri geliştirilmiştir. Yazılım, gerçek zamanlı olarak çalışmakta ve KÖ ışıma değerleri açısından önemi bulunan bileşenleri hesaplayabilmektedir.

Çalışma da KÖ-SÜ yazılımının ortam ile birlikte platform(lar)ın KÖ izlerinin benzetilmesi amacıyla yönelik olarak geliştirilme aşamaları, ihtiyaçları, başarımları ve zafiyetleri gösterilmiştir.

Geliştirilen yazılımın kabiliyetlerinin detaylı olarak belirlenmesi / gösterilmesi amacıyla test senaryoları oluşturulmuş ve kolayca erişilebilen sistem özelliklerine sahip bir kişisel bilgisayar üzerinde yazılımın gerçek zamanlı olarak bilgisayar tabanlı bir kapalı döngü de koşturulabildiği gösterilmiştir.

Döngü de, KÖ-ISIT yazılımı tarafından sağlanan ilgili platform(lar)a ait ışıma / sıcaklık dağılımı, KÖ-SÜ yazılımında görselleştirilmekte ve döngü bileşeni olarak KÖ-SÜ, KÖ-SENSÖR ve KÖ-HTT yazılımı yer almaktadır.

Döngü içerisinde yer alan her bir yazılım bileşenine ait çalışma süresi ve bu yazılım bileşenlerinin yer aldığı toplam kapalı döngü süresi detaylı olarak tespit edilerek yazılımların farklı imge boyutları altında başarımları tablo(lar) halinde gösterilmiştir. Böylelikle, kapalı döngünün daha hızlı koşması istenildiğinde hangi bileşenin / algoritmanın iyileştirmesi gerektiği konusunda tahminlerde bulunulabilmektedir.

KÖ-ISIT modülü, GPU tabanlı olarak çalışmaktadır. Yazılım, bir nesne üzerinde yer alan ısı kaynakları tarafından oluşan ısı aktarımları 1D, 2D ve 3D olarak benzetebilmektedir. Modül kendi ürettiği sıcaklık / ışıma verilerinin yanısıra, KÖ ışıma öngörüsü amaçlı literatürde sıklıkla kullanılan RadThermIR yazılımının ilgili platform(lar)a ait ürettiği sonuçları da kullanabilme / KÖ-SÜ yazılımına arayüz sağlayabilme yeteneğine sahiptir. Modül tarafından üretilen sıcaklık sonuçları bir CUBI nesnesi üzerinden elde

edilen ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmış ve ölçüm sonuçlarına kıyasla başarımı gösterilmiştir.

KÖ-SENSÖR modülü, GPU tabanlı olarak çalışmaktadır. Bu sayede modül, bir KÖ algılayıcının gördüğü sahnenin fiziksel olarak doğru benzetimini gerçekleştirebilmek adına algoritma içerisinde yer alan yüksek karmaşıklığındaki işlemler altında dahi gerçek zamanlı olarak koşabilmektedir. Tez kapsamında GPU tabanlı KÖ-SENSÖR yazılımının, optimize bir KÖ-SENSÖR algoritmasının CPU üzerinde çalıştırılmasına karşın 5 kata varan oranlarda daha hızlı çalıştığı gösterilmiştir. KÖ-SENSÖR yazılımı ile birlikte KÖ-SÜ yazılımı tarafından üretilen imgeler üzerinde, MTF tabanlı olarak, ortam şartlarından kaynaklanan atmosferik ve KÖ sensör sistemi üzerinde bulunan optik sistem tarafından meydana getirilen optik bozulmalar olmak üzere sensör sistemi öncesinde ve sonrasında oluşan önemli bozulmalar hesaba katılmaktadır.

KÖ-HTT modülü, gerçek zamanlı olarak çalışmakta ve sentetik sahne içerisinde yer alan ilgili platform(lar)ı yüksek başarımla tespit / takip edebilmektedir. Modülün başarımı; KÖ-SÜ ve KÖ-SENSÖR modülü yardımıyla üretilen dinamik imgeler üzerinden görsel olarak döngüde (açık ve kapalı döngü) gösterilmiştir. Oluşturulan uygulama ile kullanıcı, kontrollü bir şekilde oluşturduğu bozulmaların bir hedef tespit / takip algoritmasının başarımına olan etkisini inceleyebilmektedir.

Çalışma da günümüzde yeni olarak kullanılmaya başlanan grafik kartı üzerinde paralel veri işleminin başarımları ve zafiyetlerinden bahsedilmiştir. Bu kapsamda GPU üzerinde geliştirilen yazılım(lar)ın sağladığı kazanımlar / zafiyetler hakkında gösterimlerde bulunulmuştur.

Çalışma ile KÖ bandında, sentetik sahne imgeleri oluşturulması aşamasında ihtiyaç duyulan sıcaklık / ışınma değerlerinin eldesinde ısı transferlerinin hesaplanması kapsamında çalışma(lar) gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, KÖ-SÜ yazılımı tarafından ihtiyaç duyulan atmosferik parametre değerlerinin hesaplanmasında, literatürde de sıklıkla kullanılan, MODTRAN yazılımı kullanılmıştır. Bu kapsamda MODTRAN yazılımı arayüzünün kullanımına ihtiyaç duyulmadan MODTRAN yazılımına girdi sağlanabileceği / çıktıların elde edilebileceği bir yapı oluşturulmuştur.

Tez kapsamında oluşturulan test senaryoları ile yazılımın farklı senaryolar altındaki başarımı gösterilmiştir. Testler kapsamında yazılım içerisinde yer alan platform(lar)ın sahip olduğu poligon sayısının yazılımın çalışma hızı üzerine olan etkisi gösterilmiştir. İlgili test senaryoları dahilinde KÖ-SÜ yazılımı tarafından farklı tel örgü sayılarına sahip deniz senaryoları oluşturularak denize ait çalışma hızı açısından eniyelenmiş (optimum) tel örgü sayısının tespitine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Çalışma da özellikle yüksek sıcaklıklarda bulunan gazların / parçacıkların oluşturdukları baca gazı (plume) ve ısı fişegi (flare) ışımalarının tayinine / benzetimine / görselleştirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen baca gazı ve ısı fişegi ışımaya benzetimlerin de parçacık sistemi kullanılmıştır. Böylelikle benzetim, yüksek çerçeve hızlarında ve dinamik olarak değişebilen olgular (rüzgâr hızı ve yerçekimi gibi) gözönünde bulundurularak gerçekleştirilebilmektedir.

Tez kapsamında ada / arazi modellerinin 3D geometrilerinin oluşturulmasında ölçüm sonuçları sonucunda elde edilen SRTM verileri kullanılmıştır. Bu kapsamda SRTM verilerinin Sahne Üreteçlerinde kullanımı ile ilgili bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntem SRTM verileri ve 3DsMax gibi bir CAD yazılımı kullanımı ile ilgili ölçüm verisinin 3D geometri dosyasına dönüşümünü içermektedir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen benzetimlerde kullanılmak amacıyla 200'ü aşkın platforma ait 3D katı geometrinin (kara, hava ve deniz platformları) yer aldığı bir veritabanı oluşturulmuştur.

Tez kapsamında özellikle deniz platformları ve deniz senaryoları üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, geliştirilen yazılım kara, deniz ve hava unsurlarının yer aldığı senaryoları içeren benzetimleri de gerçekleştirebilme yeteneğine sahiptir.

Çalışma kapsamında yer alan KÖ sahne benzetimlerinde, çoğunlukla, 1 adet platform yer alıyor olmasına rağmen geliştirilen yazılım dâhilinde sahne içerisinde yer alacak olan platform sayısına dair bir sınırlama yer almamaktadır. Uygun poligon sayısı sınırı altında istenilen sayıda platform benzetimde yer alabilmektedir. Belirli poligon sayıları altında KÖ-SÜ yazılımının başarımı, ilgili test senaryoları dâhilinde yer almaktadır.

Ülkemizde özellikle fiziksel yaklaşımlar altında, problemi nesnenin ısısal etkileşimlerinden başlayarak ele alan ve farklı atmosferik ortam koşulları altında belirli KÖ dalgaboylarında çalışan bir algılayıcının gördüğü 'fiziksel olarak doğru' bir KÖ sahnenin oluşturulması basamağına kadar inceleyen bugüne kadar yapılmış bir çalışma bilginiz dâhilinde bulunmamaktadır.

Bu kapsamda çalışmanın özellikle sentetik KÖ sahne benzetimi ile ilgili önemli bir temel sağlayacağı değerlendirilmektedir. Çalışmanın, platform yüzeylerinin ortam ve birbirleriyle ısı etkileşimleri ile algılayıcı etkilerinin hesaba katıldığı durum(lar) altında koşturulacak olan hedef tespit, tanıma ve izleme algoritmalarının eniyilenmesine yönelik yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Çalışmanın gerçek zamanlı olarak çalışan hedef tespit, tanıma ve izleme algoritmalarının başarımlarının artırılması kapsamındaki çalışmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen yazılımın KÖ bandında, bilgisayar tabanlı döngüde (açık veya kapalı döngü) test sistemlerinin geliştirilmesi kapsamındaki çalışmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Çalışmanın sonuçlarının bilgisayar tabanlı KÖ sentetik açık ve kapalı-döngü benzetim gerçekleştirebilen ve hız bakımından yüksek başarıma sahip düzeneklerin geliştirilmesi kapsamındaki çalışmalara yol gösterici olacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca çalışmanın, platform(lar)a ait KÖ ışımının bastırılması ve bu konuda alınabilecek tedbirler konusunda ki çalışmalara da yarar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

KÖ güdümlü mermi sistemlerinin bir defaya mahsus kullanılabilmesi (fırlat ve unut) ve bu sistemlerin birim maliyetlerinin yüksek olması dolayısıyla tam teşekküllü bir sistem kabiliyet ve atış testleri yüksek maliyet giderlerini de beraberinde getirmektedir. Literatürde tez kapsamında geliştirilen yazılıma benzer yazılımların KÖ güdümlü mermi sistemlerinin son güdüm yörüngeleri üzerinde gördüklerini benzeten ve bu amaçla gerçekleştirilen testlerde kullanılabilmesine dair çalışmalar yer almaktadır. Tez kapsamında geliştirilen yazılımın, ihtiyaç kapsamında, benzer faaliyetler de kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Çalışma ile geliştirilen yazılım yardımıyla üretilen KÖ sentetik sahne imgeleri kullanılarak bilgisayar ortamında (açık saha ortamına çıkmadan)

belirli ortam koşulları benzetimi yardımıyla, operatör eğitim(ler)inin gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir. Operatörün, sentetik sahne üretici kabiliyetleri dâhilinde arzu edilen bir platform(lar)un farklı atmosferik koşullar, algılayıcı özellikleri, gün koşulları gibi KÖ ışımaya üzerinde etkisi bulunan bileşenlerin katkısı altında benzetilen sentetik görüntülerin eldesi ile eğitim(ler)ini gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalara rağmen, yazılımın başarımının tam olarak belirlenebilmesi ve geliştirilmesi amacıyla daha fazla test ve mümkün olduğunca yazılımın geçerlenmesi / geliştirilmesi amaçlı, saha ölçümlerine ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] JRM, Chimaera <http://jrmtech.com/Products/Chimaera>, (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [2] OKTAL-SE, SE-WORKBENCH <http://www.oktal-se.com>, (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [3] ThermoAnalytics (TAI), Multi-Service Electro-optics Signature Code (MuSES) and PRISM <http://www.thermoanalytics.com>, (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [4] Presagis, Vega Prime IR Scene <http://www.presagis.com>, (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [5] Tactical Technologies, Tactical Engagement Simulation Software (TESS), <http://www.tti.on.ca>, (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [6] Santa Barbara Infrared (SBIR), Kinetic's Inc, Dynamic real time infrared scene generator <http://www.sbir.com>, (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [7] NVESD, CECOM, Paint-the-Night (PTN) IR Scene Simulator <http://www.nvesd.com>, (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [8] Lockheed Martin, DSTL, Cameo-Sim. www.lockheedmartin.co.uk, (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [9] High Post, CounterSim. <http://www.highpost.com>, (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [10] Raytheon, IR Scene Generator of Missile Systems. <http://www.raytheon.com>, (Erişim tarihi: 01.02.2014).

- [11] CI-SYSTEMS, IR Target Generator (IRTG) and Target IR Simulator (TIRS). <http://www.ci-systems.com>, (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [12] Northrop Grumman Corporation. www.northropgrumman.com, (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [13] EMIT, http://www.mbda-systems.com/mediagallery/files/emit_datasheet-1387440013.pdf. (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [14] Yunus Çengel, Isı ve Kütle Transferi.Güven Bilimsel, İzmir, 2011.
- [15] Ashrae, Ashrae Handbook: Fundamentals, Amer Society of Heating, 2013.
- [16] Chris Sideroff , Christine Moussa David A. Vaitekunas, "*Improved signature prediction through coupling of ShipIR and CFD*" in Proc. of SPIE Vol. 8014, 80140Q, 2011.
- [17] P. Foulkes, "*Using predicted irradiation profiles to extract shape information from infrared images*", IEEE Proceedings, Communications, Speech and Vision, 139(6), pp. 569-574, 1992.
- [18] D. And Kopeika, N. S. Sadot, "*Thermal imaging atmospheric effects and image restoration*," Proceedings of the SPIE, 2268, pp. 366-385, 1994.
- [19] S. P., Rao, G. A., Sonawane, H. R., Potnuru, S. K., Kolhe, P.S. And Prasad, H. S. S., Mahulikar, "*Infrared signature studies of airborne targets (Invited Lecture)*", Proceedings of International Conference on Aerospace Science and Technology, INCAST 2008-IT9, Bangalore, India, 2008.
- [20] Ontar Şirketi, "*PcModWin 5*" Ontar Corporation, North Andover, MA, 2009.

- [21] A. J., Anderson, G. P. And Devir, A. D. Ratkowski, "*Comparison of atmospheric transmittance measurements in the 3-5 and 8-12 micron spectral regions with MODTRAN: considerations for long near-horizontal path geometries*" Proceedings of the SPIE Optic in Atmospheric Propagation and Adaptive Systems III, 3866, pp. 11-22, 1999.
- [22] M. P. Lévesque, D. St-Germain, "*Generation of synthetic IR sea images*" in Proceedings of SPIE on Characterization, Propagation, and Simulation of Infrared Scenes, September 1990, pp. vol. 1311, pp. 352-357.
- [23] Juergen H. Richter, "*Marine atmospheric effects on electro-optical systems performance*" in Proceedings of SPIE on, "Propagation Engineering: Third in a Series", 1990, pp. vol. 1312, pp. 368 – 404.
- [24] Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), <http://srtm.csi.cgiar.org> (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [25] SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>, (Erişim tarihi: 01.03.2014).
- [26] L. C. and Philips ve R. L. Andrews, Laser Beam Propagation through Random Media, 2. Baskı, SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, WA, 2005.
- [27] D. L. Fried, "*Optical Resolution Through a Randomly Inhomogenous Medium for Very Long and Very Short Exposures*" J. Opt. Soc. Am., 56(10), pp. 1372-1379, 1966.
- [28] G. G. And Belenkii, M. S. Gimmestad, "*Mitigation of Atmospheric Effects on Imaging Systems*" Georgia Tech Research Institute, 2004.
- [29] M. Serkan Tokay, Z. Gürkan Figen, "*Simulation of Image Blur*", 2010

IEEE 18th Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU), pp 832– 835, 2010, Diyarbakır.

- [30] Richard F. Lutomirski, "*Atmospheric degradation of electrooptical system performance*" Appl. Opt., 17(24):, pp. 3915-3921, 1978.
- [31] NVIDIA NPP (Nvidia Performance Primitives).
<https://developer.nvidia.com/npp> (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [32] NVIDIA CUDA (Compute Unified Device Architecture).
<http://www.nvidia.com/> (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [33] Tien-Tsin Wong, "*Shader Programming vs CUDA*", CIGPU, IEEEWorld Congress on Computational Intelligence (WCCI) 2008, Hong-Kong, 2008.
- [34] Lars Trygve Heen Erik Brendhagen, "*ShipIR model validation using spectral measurement results from the NATO SIMVEX trial*" in Targets and Backgrounds IX: Characterization and Representation, Proceedings of SPIE Vol. 5075, 2003.
- [35] HEEN Lars Trygve BRENDHAGEN Erik, "*SIMVEX 2001 TRIAL - SPECTRAL IR MEASUREMENTS*" FFI (FORSVARETS FORSKNINGSS INSTITUTT Norwegian Defence Research Establishment), Kjeller, Norway, 2002.
- [36] Efthimios (Themie) Gouthas and Owen M. Williams Chad L. Christie, "*Graphics Processing Unit (GPU) real-time infrared scene generation*" in Proc. of SPIE Vol. 6544, 65440C, 2007.
- [37] Efthimios (Themie) Gouthas, Owen M. Williams and Leszek Swierkowski Chad L. Christie, "*Dynamic thermal signature prediction for real-time scene generation*" in Proc. of SPIE Vol. 8707, 87070C, 2013.

- [38] Chad L. Christie, Guangfu Shen, Efthimios (Themie) Gouthas Owen M. Williams, "Real-time scene generation infrared radiometry" in *Proc. of SPIE Vol. 7663, 76630N*, 2010.
- [39] SPA (Solar Position Algorithm), <http://rredc.nrel.gov/solar/codesandalgorithms/spa> (Erişim tarihi: 01.02.2014).
- [40] M. Serkan Tokay, Z. Gürkan Figen, "GPU-Based Infrared Sensor Model Capable Of Operating In Real Time", 2013 IEEE 21th Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU), 2013.
- [41] 1.M. Serkan Tokay, Z. Gürkan Figen, "Evaluation Of A Target Detection Algorithm Using The Infrared Sensor Model In Real Time", 2012 IEEE 20th Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU), 2012, Ölüdeniz, Fethiye.
- [42] G. C. HOLST, *Electro-Optical Imaging System Performance*, 5th baskı, JCD Publishing, Winter Park, Florida 32789, 2008.
- [43] H. V. Kennedy, "Modelling Noise in Thermal Imaging Systems" in *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling and Testing IV*, SPIE Vol. 1969, 1993, pp. 66-77.
- [44] Naci Saldı, M. Serkan Tokay, Mert Küçük, Z. Gürkan Figen, S. Gökhun Tanyer, "Evaluation of a target recognition algorithm using the sensor model" 2011 IEEE 19th Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU), pp.706 – 709, 2011, Antalya.
- [45] Peter Grossmann, Frédéric Schwenger Alain Malaplate, "CUBI: a test body for thermal object model validation", April 30, 2007.
- [46] Al Curran, Alice Gerhardt, David Less, Pete Rynes, John S. Curlee, Bob Baratono Teresa Gonda, "V & V of MuSES 6.0 Status Report",

Houghton, MI, 5-8 August 2002.

- [47] Peter Grossmann, Alain Malaplate Frédéric Schwenger, "*Validation of the thermal code of RadTherm-IR, IR-Workbench, and F-TOM*" April 22, 2009.
- [48] Mehmet Serkan Tokay, Ziya Gürkan FİGEN, Sedat AĞAN, "*Heat Transfer Calculation Software and Its Applications*", ITBMS-2013 (International IR Target and Background Modeling & Simulation Workshop), 2013, Toulouse, Fransa.
- [49] Ziya Gürkan FİGEN, Mehmet Serkan Tokay, Onur AKIN, "*Infrared Sensor Model Software (IR-SEM) and Its Applications*", ITBMS-2013 (International IR Target and Background Modeling & Simulation Workshop), 2013, Toulouse, Fransa.
- [50] Lars Trygve Heen Erik Brendhagen, "*ShipIR model validation using spectral measurement results from the NATO SIMVEX trial*" in Targets and Backgrounds IX: Characterization and Representation, Proceedings of SPIE Vol. 5075, 2003, pp. 60-71.
- [51] Thierry CATHALA David PRATMARTY, "*Software coupling between RadThermIR and SE-WORKBENCH*" in ITBMS, 2011.
- [52] Peter Grossmann, Alain Malaplate Frédéric Schwenger, "*Validation of the Thermal Code of RadTherm-IR, IR-Workbench*" in Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing XX, edited by Gerald C. Holst, 2009, pp. 73000J-p.1-p.10.
- [53] Keith R. Johnson, SBIR Workshop, 2007, ThermoAnalytics firması tanıtım sunumu.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar (tokay.serkan@gmail.com) 1982, Ankara doğumludur. Lisans (2004), Yüksek Lisans (2006) ve Doktora (2014) eğitimlerini Kırıkkale Üniversitesi, Fizik Bölümünde gerçekleştirmiştir.

Yazarın çalışma konuları arasında Elektro-Optik Sistemler, Isıl Transfer, Kızılötesi (KÖ), KÖ Sahne Üretici, GPU destekli programlama (CUDA), Görüntü İşleme ve ilgili konular yer almaktadır.

Başta Visual C ortamı olmak üzere; DirectX, CUDA, NPP ve OpenCV gibi yazılım ortamlarında deneyim sahibidir. Bunun dışında; AutoDesk Inventor, 3dsMax, RadTherm(IR), MATLAB, LabVIEW, Origin, LaTeX, PeakFit ve Zemax yazılımlarının / programlarının kullanımı kapsamında deneyim sahibidir.

Yazar, 2005-2007 yılları arasında Bilkent Üniversitesi, İleri Araştırma Laboratuvarında Araştırma Asistanı olarak, 2007 tarihinde Bilkent Üniversitesinde Proje Mühendisi olarak çalışmıştır. 2008 yılından itibaren ise TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN'de Ürün gerçekleştirme sorumlusu olarak çalışmalarına devam etmektedir.

Yazar, bugüne kadar uluslararası (Avrupa Birliği Çerçeve programı), TÜBİTAK ve SSM destekli olarak farklı projeler de aktif görev almıştır.

Yazarın, bugüne kadar 4 adet uluslararası hakemli dergilerde yayınlanmış makale ve 15 adeti uluslararası konferanslarda sunulmak üzere toplam 19 adet yayını ve 29 adet atfı bulunmaktadır. Yazarın, gerçekleştirmiş olduğu çalışmaları ile ilgili yayınları aşağıda yer almaktadır.

Yayınlar

1. M. Serkan Tokay, Erdem Yaşar, Sedat Ağan, Atilla Aydınli, "1.5 μm Luminescence in Annealed Germanosilicate Layers", Journal of Luminescence 147 (2014) p.121–126.
2. Mehmet Serkan Tokay, Ziya Gürkan FİGEN, Sedat AĞAN, "Heat Transfer Calculation Software and Its Applications", ITBMS-2013 (International IR Target and Background Modeling & Simulation Workshop), 2013, Toulouse, Fransa.
3. Ziya Gürkan FİGEN, Mehmet Serkan Tokay, Onur AKIN, "Infrared Sensor Model Software (IR-SEM) and Its Applications", ITBMS-2013 (International IR Target and Background Modeling & Simulation Workshop), 2013, Toulouse, Fransa.
4. M. Serkan Tokay, Z. Gürkan Figen, "GPU-Based Infrared Sensor Model Capable Of Operating In Real Time", 2013 IEEE 21th Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU), 2013.
5. M. Serkan Tokay, Z. Gürkan Figen, "Evaluation Of A Target Detection Algorithm Using The Infrared Sensor Model In Real Time", 2012 IEEE 20th Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU), 2012, Ölüdeniz, Fethiye.
6. Naci Saldı, M. Serkan Tokay, Mert Küçük, Z. Gürkan Figen, S. Gökhan Tanyer, "Evaluation of a target recognition algorithm using the sensor model" 2011 IEEE 19th Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU), pp.706 – 709, 2011, Antalya.
7. M. Serkan Tokay, Z. Gürkan Figen, "Simulation of Image Blur", 2010 IEEE 18th Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU), pp 832– 835, 2010, Diyarbakır.
8. Aykutlu Dana, Sedat Ağan, Serkan Tokay, Atilla Aydınli, Terje Finstad, "Raman and TEM Studies of Ge Nanocrystal Formation in SiO₂:Ge/SiO₂ Multilayers", Journal of Physica Status Solidi C 4, No. 2 288-291 (2007).
9. Aykutlu Dana, Serkan Tokay and Atilla Aydınli, "Formation of Ge Nanocrystals and SiGe in PECVD Grown SiNx:Ge Thin Films", Materials Science in Semiconductor Processing 9 (2006) 848–852.
10. S.Yerci, U. Serincan, I. Dogan, S. Tokay, M. F. Genisel, R. Turan, A. Aydınli, "Formation of Silicon Nanocrystals in Sapphire Matrix by Ion Implantation and the Origin of Visible Photoluminescence", Journal of Applied Physics 100, 074301 (2006).

- 11.** Imran Akça, Serkan Tokay, Aykutlu Dâna, Atilla Aydınli, "Effect of Tunnel Dielectric Thickness on Performance of Nanocrystals Memory Devices with Silicon nanocrystals in Silicon Nitride Studied by Graded Growth" E-MRS (Materials Research Society) Toplantısı B-14 2, 28 Mayıs-1 Haziran 2007, Strasbourg, Fransa.
- 12.** Imran Akça, Serkan Tokay, Aykutlu Dâna, "Effect of Tunnel Dielectric Thickness on Performance of Nanocrystals Memory Devices with Silicon nanocrystals in Silicon Nitride Studied by Graded Growth", Atilla Aydınli, E-MRS (Materials Research Society) 2007 Spring Meeting B-14 2, 28 Mayıs-1 Haziran 2007, Strasbourg, Fransa.
- 13.** Serkan Tokay, Aykutlu Dana, Seckin Senlik, Feridun Ay, Atilla Aydınli, "1.5 μm Luminescence in Annealed Germanosilicate Layers", ICSNN (International Conference on Superlattices, Nanostructures and Nanodevices)-2006 Toplantısı 30 Temmuz – 4 Ağustos 2006, İstanbul.
- 14.** Dâna, Aykutlu & Sedat Agan, Serkan Tokay, Terje Finstad, Atilla Aydınli, "Raman and TEM Studies of Ge Nanocrystal Formation in $\text{SiO}_2\text{:Ge/SiO}_2$ Multilayers", ICSNN (International Conference on Superlattices, Nanostructures and Nanodevices)-2006 Toplantısı, 30 Temmuz – 4 Ağustos 2006, İstanbul.
- 15.** Yerci, Selcuk & U. Serincan, I. Dogan, M. S. Tokay, M. F. Genisel, "Evolution of Silicon Nanocrystals in $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ Matrix by Ion Implantation and the Origin of Visible Photoluminescence", ICSNN (International Conference on Superlattices, Nanostructures and Nanodevices)-2006, 30 Temmuz – 4 Ağustos 2006, İstanbul, Türkiye.
- 16.** Aykutlu Dâna, Serkan Tokay, Feridun Ay and Atilla Aydınli, "Precipitation of Germanium in Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposited Germanosilicate Layers", EMRS IUMRS ICEM 2006 Spring Meeting, paper T P2 15, 29 Mayıs – 2 Haziran 2006, Nice, Fransa.
- 17.** Aykutlu Dâna, Selcen Aytakin, M. Serkan Tokay, and Atilla Aydınli, "Formation of Ge Nanocrystals and SiGe in PECVD Grown $\text{SiN}_x\text{:Ge}$ Thin Films", E-MRS IUMRS ICEM 2006 Spring Meeting paper T P2 16, 29 Mayıs – 2 Haziran 2006, Nice, Fransa.
- 18.** Sedat Agan, Serkan Tokay, Aykutlu Dâna, Atilla Aydınli, "TEM and Raman characterization of Ge nanocrystals in amorphous SiO_2 films synthesized by PECVD", International Workshop on nanostructured materials (NANOMAT)-2006, 21 – 23 Haziran 2006, Antalya, Türkiye
- 19.** Serkan Tokay, Aykutlu Dana, Atilla Aydınli, "Ge Diffusion Dynamics and Nanocrystal Formation in PECVD Grown $\text{SiN}_x\text{:Ge}$ ", NANOMAT-2006 Toplantısı 21 – 23 Haziran 2006, Antalya, Türkiye.