

T.C  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BOŞALTILMIŞ TÜPLÜ GÜNEŞ ENERJİ TOPLAYICI  
SİSTEMLERİNDE OPTİK UYUMLULUĞUN  
İNCELENMESİ

ÖMER RESULOĞULLARI

OCAK 2016



**Makine Anabilim Dalında** Ömer RESULOĞULLARI tarafından hazırlanan  
BOŞALTILMIŞ TÜPLÜ GÜNEŞ ENERJİ TOPLAYICI  
SİSTEMLERİNDE OPTİK UYUMLULUĞUN İNCELENMESİ adlı  
Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu  
onaylarım.

Prof. Dr. Ali ERİŞEN  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri  
yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Ali ERİŞEN  
Danışman

#### Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

Üye : Prof. Dr. Ali ERİŞEN

Üye : Prof. Dr. Yahya DOĞU

29/01 /2016

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

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Aileme**



## ÖZET

### BOŞALTILMIŞ TÜPLÜ GÜNEŞ ENERJİ TOPLAYICI SİSTEMLERİNDE OPTİK UYUMLULUĞUN İNCELENMESİ

RESULOĞULLARI, Ömer

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ali ERİŞEN

Ocak 2016, ..sayfa

Boşaltılmış Tüplü Güneş Enerji Toplayıcı Sistemlerinde Optik Uyumluluğun İncelenmesi adlı bu yüksek lisans tezinde; toplayıcı sisteminin parçalarının birbirlerine göre konumunun ve her bir parçanın şeklinin toplanabilecek ışınımına olan etkisi incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken; dış cam boru ve yutucu yüzeyli boru parçaları için silindirik ve kare kesitli, yansıtıcı yüzey için düzlem ve yarı silindirik geometrilere modeller oluşturulmuş ve hangi kombinasyonda toplanabilecek ışınımın maksimize edilebileceği belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir model için parçaların birbirlerine göre konumlarının, toplanabilecek ışınımına etkisi belirlenmiştir.

Yutucu yüzey geometrisinin kare kesitli olması durumunda toplanacak günlük ışınım değerinin silindirik yutuculu sistemlerden fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yutucu yüzeyin dış cam arka yüzeyine yaklaştırılması durumunda günlük toplanan ışınım değerinin tüm modellerde arttığı görülmüştür. Tüm modeller için değişik geliş açılarında toplanabilecek ışınım değerleri tezin sonuç ve bulgular ve değerlendirmeleri bölümlerinde verilerek ayrıntılı olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerji Sistemleri, Optik, Zemax, Optik Uyumluluk,  
Boşaltılmış Tüplü Güneş Enerji Toplayıcıları

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF OPTICAL COMPATIBILITY OF EVACUATED SOLAR COLLECTOR TUBES

RESULOGULLARI, Omer

Kırıkkale University

Graduate School of Natural And Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ali ERİŞEN

January 2016, .. pages

In this study, named as Investigation of Optical Compatibility of Evacuated Solar Collector Tubes, the effects of; shape of each and relative position to each parts of collector system on radiation that can be collected were examined. During the analysis; some models which contain, square cross sections or cylindrical pipes have been created for absorber and outer glass tubes , planar and semi cylindrical models have been created for reflective surface and were tried to determine the best combination of parts for maximizing the radiation that can be collected..The effects of relative position of each parts on collectible radiation have been determined for each models.

It has been detected that, square cross sectional absorber plate can collect more than cylindrical absorber plates throughout a day. In addition to this, a reduction of distance between reflector and evacuated tube cause an increment on daily collectible radiation. All the values for different incidence angles and different model have been broadly examined in parts 6 and 7.

**Keywords:** Solar Energy Systems, Optic, Zemax, Optical Compatibility,  
Evacuated Solar Collector Systems

## TEŐEKKÖR

Yüksek lisans tezimi hazırlarken yaptığım araştırmalar ve sayısal analizler sırasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi, tecrübe ve görüşlerinden yararlandığım değerli danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Ali ERİŞEN' e, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm Sayın Prof. Dr. Greg. SMESTAD' a ve tezde sunulan sayısal çalışmalar için deneme sürümünü kullanmamı sağlayan ZEMAX programlamacılarına teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Amaç ve Kapsam .....	1
1.2. Kaynak Özetleri .....	3
<b>2. GÜNEŞ ENERJİSİ</b> .....	<b>6</b>
2.1 Güneş.....	6
2.2 Güneş Açıları.....	8
2.2.1. Türetilen Güneş Açıları.....	11
2.3. Güneş Işınım Hesabı .....	14
2.3.1. Atmosfer Dışındaki Yüzeğe Gelen Güneş Işınımı.....	14
2.3.2. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı.....	15
2.4. Güneş Enerjisi Uygulamaları .....	19
2.4.1. Isıl Güneş Enerjisi Sistemleri (IGES).....	21
2.4.2. Fotovoltatik Güneş Enerjisi Sistemleri ( FGES ).....	22
<b>3. OPTİK</b> .....	<b>24</b>
3.1 Yansıma .....	24
3.2 Kırınım.....	26
3.3 Yutulma .....	28
3.4 ZEMAX .....	28
3.4.1 Işık Kaynağı Tasarımı .....	28
3.4.2 Ara Yüzey Tasarımı .....	29
3.4.3 Dedektör Tasarımı.....	35
<b>4. MATEMATİKSEL MODEL</b> .....	<b>37</b>

4.1 Kare Kesitli Dış Cam Tüp Modellenmesi .....	40
4.2 Silindirik Dış Cam Tüp Modellenmesi .....	41
4.3 Karekesitli Dedektör Modellenmesi .....	42
4.4 Silindirik Dedektör Modellenmesi .....	44
4.5. Düzlemsel Yansıtıcı Yüzey Modellenmesi .....	45
4.6. Yarı Silindirik Yansıtıcı Yüzey Modellenmesi .....	46
<b>5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME</b> .....	<b>48</b>
5.1. Kare Kesitli Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey (KK) Kombinasyonunda Toplanan Işınım .....	48
5.1.1 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Yansıtıcısız (KKY) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	48
5.1.2 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Düzlem Yansıtıcı (KKD) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	50
5.1.3 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Yarı Silindirik Yansıtıcı (KKS) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	52
5.2. Silindirik Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey (SK) Kombinasyonunda Toplanan Işınım .....	53
5.2.1 Silindirik Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Yansıtıcısız (SKY) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	54
5.2.2 Silindirik Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Düzlem Yansıtıcı (SKD) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	55
5.2.3 Silindirik Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Yarı Silindirik Yansıtıcı (KKS) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	57
5.3. Kare Kesitli Dış Cam Boru – Silindik Yutucu Yüzey (KS) Kombinasyonunda Toplanan Işınım .....	59
5.3.1 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey - Yansıtıcısız (KSY) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	59
5.3.2 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Silindirik Yüzey - Düzlem Yansıtıcı (KSD) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	61
5.3.3 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey - Yarı Silindirik Yansıtıcı (KSS) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	62

5.4. Silindirik Dış Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey ( SS ) Kombinasyonunda Toplanan Işınım.....	64
5.4.1 Silindirik Dış Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey - Yansıtıcısız ( SSY ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	64
5.4.2 Silindirik Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey - Düzlem Yansıtıcı ( SSD ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	66
5.4.3 Silindirik Dış Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey - Yarı Silindirik Yansıtıcı ( SSS ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım .....	68
<b>6. SONUÇLAR</b> .....	70
<b>KAYNAKLAR</b> .....	72



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>SEKİL</u>	<u>SAYFA</u>
2.1 ESAS GÜNEŞ AÇILARININ GÖSTERİMİ .....	9
2.2 DEKLİNASYON AÇISININ YIL BOYUNCA DEĞİŞİMİ .....	10
2.3 YATAY DÜZLEM AÇILARI .....	11
2.4 EĞİK DÜZLEM AÇILARI.....	13
2.5 YERYÜZÜNE GELEN IŞINIM BİLEŞENLERİ .....	16
2.6 GÜNEŞ ENERJİSİNİN FAYDALI ENERJİYE DÖNÜŞÜMÜ .....	20
2.7 FOTOVOLTAİK PANEL VE HÜCRE.....	23
3.1 YANSIMA OLAYI.....	24
3.2 KIRINIM OLAYI .....	26
4.1 BOŞALTIKMIŞ TÜPLÜ KOLEKTÖR SİSTEMİNİN PARÇALARI .....	37
4.2 CPC 1506 MODEL BOŞALTIKMIŞ TÜPLÜ KOLEKTÖR SİSTEMİ.....	39
4.3 KOLEKTÖR SİSTEMİNİN ÖNDEN GÖRÜNÜMÜ .....	39
4.4 KARE KESİTLİ DİŞ CAM TÜP SERİSİNİN ZEMAX GÖRSELİ.....	41
4.5 SİLİNDİRİK DİŞ CAM TÜP SERİSİNİN ZEMAX GÖRSELİ .....	42
4.6 KARE KESİTLİ YUTUCU YÜZEYİN KARE KESİTLİ VE SİLİNDİRİK DİŞ CAM TÜP SERİSİYLE ZEMAX GÖRSELİ.....	43
4.7 SİLİNDİRİK YUTUCU YÜZEYİN KARE KESİTLİ VE SİLİNDİRİK DİŞ CAM TÜP SERİSİYLE ZEMAX GÖRSELİ.....	45
4.8. DÜZLEMSEL YANSITICININ KULLANILDIĞI MODELLERİN ZEMAX GÖRSELİ .....	46
5.1 KKY ‘ DE YUTUCU YÜZEY KONUMUNUN IŞINIMA ETKİSİ.....	49
5.2 KKD ‘ DE YANSITICI KONUMUNUN IŞINIMA ETKİSİ .....	<b>HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.</b>
5.3 KKS ‘ DE YANSITICI KONUMUNUN IŞINIMA ETKİSİ .....	52
5.4 SKY ‘ DE YUTUCU YÜZEY KONUMUNUN IŞINIMA ETKİSİ .....	54
5.5 SKD ‘ DE YANSITICI KONUMUNUN IŞINIMA ETKİSİ .....	56
5.6 SKS’ DE YANSITICI KONUMUNUN IŞINIMA ETKİSİ.....	58
5.7 KSY ‘ DE YUTUCU YÜZEY KONUMUNUN IŞINIMA ETKİSİ .....	60
5.8 KSD ‘ DE YANSITICI KONUMUNUN IŞINIMA ETKİSİ .....	61

<b>5.9 KSS ‘ DE YANSITICI KONUMUNUN İŞİNIMA ETKİSİ.....</b>	<b>63</b>
<b>5.10 SSY ‘ DE YUTUCU YÜZEY KONUMUNUN İŞİNIMA ETKİSİ.....</b>	<b>65</b>
<b>5.11 SSD ‘ DE YANSITICI KONUMUNUN İŞİNIMA ETKİSİ.....</b>	<b>67</b>
<b>5.12 SSS’ DE YANSITICI KONUMUNUN İŞİNIMA ETKİSİ.....</b>	<b>68</b>
<b>6.1 KOLEKTÖR TİPLERİNDE TOPLANAN ORTALAMA İŞİNIM VE MAKSİMUM İŞİNIM.....</b>	<b>70</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
<b>3.1</b> BAZI MADDELERİN YANSITABİLİRLİK DEĞERLERİ.....	25
<b>3.2</b> BAZI MADDELERİN KIRCILIK İNDİSLERİ.....	27
<b>3.3</b> ZEMAX ARAYÜZEYLER.....	31
<b>4.1</b> KOLEKTÖR SİSTEMİNİN DEĞİŞKENLERİ.....	40



## SİMGELER DİZİNİ

a	Azimet Açısı
$a_g$	Güneş Azimet Açısı
CPC	Bütünleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı
d	Deklinasyon Açısı
e	Enlem Açısı
f	Güneş Sabiti Düzeltme Faktörü
g	Geliş Açısı
GS	Güneş Saati
h	Saat Açısı
$I_0$	Atmosfer Dışında Yatay Düzleme Gelen Anlık Işınım
$I_{0n}$	Güneş Işınlara Dik Yüzeye Gelen Işınım
$I_d$	Anlık Direk Güneş Işınımı
$I_y$	Anlık Yansımış Güneş Işınımı
L	Dünya-Güneş Mesafesi
$L_0$	Yıllık Ortalama Dünya - Güneş Mesafesi
n	1 Ocaktan İtibaren Gün Sayısı
PV	Fotovoltaik

$Q_0$	Gün Boyu Atmosfer Dışında Yatay Düzleme Gelen Anlık Işınım
$Q_d$	Günlük Direk Güneş Işınım
$Q_y$	Günlük Yansımış Güneş Işınımı
$s$	Eğim Açısı
$S$	Güneş Sabiti
$y$	Yükseklik Açısı
$z$	Zenit Açısı

## KISALTMALAR DİZİNİ

FGES	Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri
GES	Güneş Enerji Sistemleri
IGES	Isıl Güneş Enerji Sistemleri
KK	Kare Kesitli Dış Cam Boru Kare Kesitli Yutuculu Modeller
KKD	Düzlem Yansıtıcılı Kare Kesitli Dış Cam Boru Kare Kesitli Model
KKS	Yarı Silindirik Yansıtıcılı Kare Kesitli Dış Cam Boru Kare Kesitli Yutuculu Model
KKY	Yansıtıcısız Kare Kesitli Dış Cam Boru Kare Kesitli Yutuculu Model
KS	Kare Kesitli Dış Cam Boru Silindirik Yutuculu Modeller
KSD	Düzlem Yansıtıcılı Kare Kesitli Dış Cam Boru Silindirik Kesitli Yutuculu Model
KSS	Yarı Silindirik Yansıtıcılı Kare Kesitli Dış Cam Boru Silindirik Yutuculu Model
KSY	Yansıtıcısız Kare Kesitli Dış Cam Boru Silindirik Yutuculu Model
SK	Silindirik Dış Cam Boru Kare Kesitli Yutuculu Modeller

SKD	Düzlem Yansıtıcılı Silindirik Dış Cam Boru Kare Kesitli Yutuculu Model
SKS	Yarı Silindirik Yansıtıcılı Silindirik Dış Cam Boru Kare Kesitli Yutuculu Model
SKY	Yansıtıcısız Silindirik Dış Cam Boru Kare Kesitli Yutuculu Model
SS	Silindirik Dış Cam Boru Silindirik Yutuculu Modeller
SSD	Düzlem Yansıtıcılı Silindirik Dış Cam Boru Silindirik Yutuculu Model
SSS	Yarı Silindirik Yansıtıcılı Silindirik Dış Cam Boru Silindirik Yutuculu Model
SSY	Yansıtıcısız Silindirik Dış Cam Boru Silindirik Yutuculu Model

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Amaç ve Kapsam

Her geçen gün nüfusu artan ve modernleşen dünyada insanoğlunun karşılaştığı en büyük problem enerjiye erişimdir. Bu problemin çözümü için, insanoğlunun başvurduğu ilk kaynak fosil kaynaklı yakıtlar olmuştur. Fosil yakıtların kullanımı insanoğlunun gelişmişliğini mevcut kuşakta arttırırken, sonraki kuşaklarda fosil yakıtlara olan gereksinim geometrik olarak artmaya devam etmiştir. Eş zamanlı olarak fosil yakıt kullanımı, CO<sub>2</sub> ve diğer yanma ürünleriyle çevrede geri döndürülemez hızlı bir kirlenmeye sebep olmuştur. Milyonlarca yıllık enerji birikimini barındıran fosil kaynaklı yakıtlara erişim ise günümüzde gitgide daha yüksek teknolojilere gereksinim duymaktadır. Ekonomik olarak bir yük olan bu durum karşısında alternatif enerji kaynaklarının araştırılması gerekmektedir.

Alternatif enerji kaynakları çalışmalarında; nükleer enerji, hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisi yoğunlaşılın alanlardır. Bunlardan nükleer enerji sistemleri; ilk kurulum maliyetlerinin, teknoloji seviyelerinin ve bu teknolojiyle ilgili güvenlik kaygılarının yüksek olduğu günümüzde, yakıtlarının da sınırlı oluşundan küresel enerji üretimine katkıları küçük bir yüzdede kalmıştır. Hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerji sistemleri yerel çözümler açısından uygun olmakla beraber devasa enerji gereksinimini karşılayabilecek potansiyele sahip değillerdir. Güneş enerji sistemleri ise şu andaki küresel enerji üretimine katkıları çok az olmasına rağmen, erişilebilirlik açısından dünya üzerinde çok yaygın olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir.

Ülkemiz, fosil kaynaklı yakıtları kendine yetmeyen ve bunları enerji hammaddesi olarak ithal eden bir ülke olduğundan, bu yakıtların giderek tükenmesi ve fiyatlarının artmasından olumsuz etkilenmesi sonucunda, son 10-15 yıldır alternatif enerji sistemlerine yönelmiş bulunmaktadır. Bu bağlamda, ilk nükleer enerji santrali yapım aşamasında olup, teknolojisi ve finansmanı yurtdışı kaynaklıdır. Diğer alternatif enerji sistemleri de lokal olarak kullanılmaktadır, ve enerji üretimindeki payları giderek artmaktadır. Güneş enerji sistemlerinden, özellikle ısıl uygulamalı sistemler çok yaygın

olarak kullanılmakla beraber fotovoltaik sistemleri de elektrik enerjisi üretiminde kullanabilecek duruma gelinmiştir.

Güneş enerji sistemleri temelde fotovoltaik ve ısı sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Güneşten elektromanyetik ışınım formunda çıkan  $63 \times 10^6$  W/m<sup>2</sup>'lik devasa enerjinin kolektör yüzeyine gelen kısmı toplanarak PV hücrelerinde elektrik üretimi veya bir akışkanda iç enerji birikimine dönüştürülmesi esaslı olan bu sistemlerden ısı sistemlerinin kullanımı daha yaygındır. Diğer bir deyişle PV hücre uygulamaları gerek kullanılan yarı iletken malzemenin fiyatı ve bulunabilirliği gerek düşük sistem verimleri ve gerekse anlık değişken ışınım değerleriyle güneş takip mekanizması kullanılmadan sürdürülebilir alternatif enerji sistemleri olmaktan uzaktırlar.

Isıl güneş enerji sistemleri tasarlanırken amaç güneşten gelen ışınım enerjisinin bir yüzey aracılığıyla ısı formunda akışkana geçirilmesidir. Dolayısıyla sistem tasarlanırken; gelen ışınımın maksimum, kayıpların ise minimum olması hedeflenmelidir. Bu sistemlerde ısı kaybının minimize edilmesi için bulunan en iyi yollardan birisi akışkanın geçtiği tüpün dışarısında bir vakumlu ortam oluşturarak, tüp yüzeyinden taşınım ve iletim ile olan ısı kayıplarının miktarlarını azaltmaktır.

Boşaltılmış tüplü güneş enerji sistemleri olarak bilinen verimleri yüksek bu sistemlerde toplayıcı yüzeyine düşürülen ışınımın miktarının artırılması ise üzerine çalışılması gereken bir diğer alandır. Literatürde optik verim olarak tanımlanan, toplayıcı yüzeyine düşen anlık ışınımın kolektör dış yüzeyine düşen anlık ışınım oranının yüksek olması sistem tasarım parametrelerinin en önemlilerindedir.

Bu çalışmada IGES'lerin tanıtılması ve dış cam tüp, yutucu yüzey ve yansıtıcıdan oluşan boşaltılmış tüplü güneş enerji sistemlerinin optik verimlerine sistem elemanlarının ( dış cam, yansıtıcı yüzey ve yutucu yüzeyin şekillerinin ve sistem elemanlarının birbirlerine göre konumlarının ) etkisi gün boyu güneşten gelen değişik açılarda, sayısal olarak ZEMAX programıyla belirlenecek ve sistemin bir takip sistemiyle veya takip sistemi kullanılmadan en yüksek optik verim şartları incelenecektir.

## 1.2. Kaynak Özetleri

Günümüzde alternatif enerji kaynaklı sistemlerin kullanımına paralel olarak bu sistemlerin geliştirilmesine yönelik çalışmaların da sayısı hızla artmaktadır. Bu çalışmaların önemli bir kısmı güneş enerjili sistemlerle ilgiliyken 1980'li yıllardan itibaren boşaltılmış tüplü güneş enerji sistemlerinin geliştirilmesi ve diğer sistemlerle adaptasyonuna yönelik çokça çalışma yapılmıştır. Bu bölümde kısaca bu araştırmalardan bahsedilmiştir.

Taktakoğlu, R., (1996), absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde vakum tüplü güneş enerji toplayıcılarını, düzlem güneş enerji toplayıcılarıyla karşılaştırmıştır. Adana ilinde 23 Temmuz gününde yaptığı deneylerde, vakumlu güneş kolektör veriminin ve kolektörden dış ortama olan ısı kaybının; rüzgâr hızı, çevre sıcaklığı, yutucu plaka sıcaklığı, toplam ışınlam miktarı ve kolektör tüp – yutucu plaka geometrisine bağlı olduğunu belirlemiştir [1].

H. Zinian ve ark, vakumlanmış bir boru içinde, düz plaka ve yarı silindirik yutuculu toplayıcıların optik performanslarını karşılaştırmak için bir araştırma yapmıştır. Araştırmada çeşitli geliş açılarında ve ışınlam miktarlarında, cam tüp içerisindeki sanal yutucu yüzeyler için 9 ayrı noktadan ölçüm alınmıştır. Yapılan çalışma sonunda vakum borulu, yarı silindirik yutuculu toplayıcının düz plaka yutuculu toplayıcıya göre % 15,9 daha fazla enerji depoladığı belirlenmiştir [2].

R. Tang ve ark, vakum cam borulu boşaltılmış tüpler için en iyi yönelme açısı tespiti için yaptıkları çalışmada; boşaltılmış tüp içerisinde toplanan ışınlam değerinin, kolektör türü, tüpler arası mesafe, yansıtıcı kullanımı ve ışık demetinin geliş açısına bağlı olduğunu belirlemişlerdir. T-tip (yönlendirilmiş) kolektörlerin H-tip (yönlendirilmemiş yatay boru demetli ) kolektörlere göre daha etkin olduklarını bulmuşlardır. T- tip kolektörler için optimum yönelme açısının enlem derecesinden  $10^{\circ}$  küçük olması gerektiğini saptamışlardır [3].

Ezen H, (2010), 15°, 30°, 45° ve 60° eğim açısına sahip vakum tüplü güneş kolektörlerinden oluşan deneysel bir sistem kurmuştur. Ağustos ayında Isparta ili için ölçülen değerlerle teorik ve deneysel analiz yapılmıştır. Deneysel olarak ölçülen değerler ve hesaplanan değerler sonucunda, Isparta ilinde Ağustos ayında en yüksek verim değerine 45° eğim açısında çalışan vakum tüplü güneş kolektörlü sistemde ulaşılmıştır. Bu eğim açısında çalışan kolektör sisteminde elde edilen verim yaklaşık % 60,3 değerindedir [4].

Demirpolat E, (2006), yaptığı tez çalışmasında, vakum borulu parabolik oluklu güneş toplayıcısının evsel sıcak su üretiminde kullanılabilirliğini ve verimini belirlemiştir. Deneysel toplayıcı açıklık yüzey alanı 1,6 m<sup>2</sup> olan vakum borulu parabolik oluk tip güneş toplayıcısı kullanılmıştır. Yansıtıcı yüzey krom-nikel alaşım saçtan yapılmıştır. Deneysel Mersin ilinde Ocak 2006 döneminde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde toplayıcı verimi % 43,3 ile % 50,02 arasında değişim göstermiştir [ 5].

Y. Kim ve ark, boşaltılmış cam tüplü kolektörlerin ısıl davranışlarını sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Hava'nın akışkan olarak kullanıldığı deneylerde tüpler 1200 - 37 mm (uzunluk – çap ) ebatlarında seçilmişlerdir. Dört farklı yutucu şeklinden ışık geliş yönüne dik olarak merkezden kaçıklığa sahip tüpleri barındıran model ile en iyi sonuçlara varmışlardır. Kolektörde toplanan ışınımın; yutucu yüzey şekli, güneş ışınlarının geliş açısı, kolektörde tüp konumu ve oluşan gölge noktalarından etkilendiği sonucuna varmışlardır [ 6].

M. Bernardi ve ark, 3 boyutlu güneş enerji toplayıcılarıyla ilgili yaptıkları araştırmada; uygun yutucu ve yansıtıcı kombinasyonu ile eş kolektör taban alanında düz PV'lerden 2-20 kat daha fazla güneş enerjisi toplanabileceğini göstermişlerdir. Düşük verime sahip, ucuz ince film malzemeleri için yeni bir uygulama alanı geliştirmişlerdir. Terawatt düzeyinde güneş kuleleri tasarlanabileceğini ve güneş kulelerinin güneş tarlalarına kıyasla maksimum güneşlenme sürelerini iki kata çıkarabileceğini saptamışlardır [7].

G. Pei ve ark, boşaltılmış tüplü güneş enerji toplayıcılarının; bütünleşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC) ve yansıtıcısız durumlarını karşılaştırmak için yaptıkları çalışmada, düşük sıcaklık uygulamalarında termodinamiğin 1. ve 2. yasa verimleri açısından CPC'li boşaltılmış tüp kullanımının daha iyi olduğunu öne sürmüşlerdir. Tanktaki su sıcaklığının 70 °C olduğu durumda CPC'nin, toplayıcı verimini % 29.6'dan % 35.4'e çıkardığını belirlemişlerdir [8].

E. Öz, E. Özbaş ve R. Dündar, boşaltılmış tüplü su ısıtma sistemiyle standart düz su ısıtma sistemini karşılaştırmak için aynı koşullarda her iki kolektör sistemini kurmuşlardır. Mayıs ayında yaptıkları ölçümlerde, boşaltılmış tüplü su ısıtma sisteminin verimini % 51.97, cam kasalı standart düz su ısıtma sisteminin verimini ise % 43.7 olarak belirlemişlerdir [9].

Yukarıda verilen kaynak özetlerinden anlaşılacağı üzere; güneş enerji sistemlerinde optik verimlilik çalışılması gereken bir konu olmakla beraber, bu konuda yapılacak kapsamlı bir sayısal çözüm ağı geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ

### 2.1 Güneş

Bilindiği üzere, güneş ve çevresindeki gezegenlerden oluşan güneş sisteminde Güneş temel bir enerji kaynağıdır. Özellikle, güneşin dünya üzerinde yaşayan canlılar için vazgeçilmez bir kaynak olduğu yadsınamaz bir geçektir. Bugün kullanılan çeşitli enerji kaynaklarının büyük kısmı, güneşin sebep olduğu olaylar sonucu ortaya çıkmakta veya çıkmış bulunmaktadır. Güneş enerjisi ile dünya aydınlatılabilmekte; yağışlar ile su döngüsü sağlanabilmekte ve en önemlisi de, fotosentez ile canlı yaşam sürdürülebilmektedir. Dünyamız için hayati öneme sahip bu yıldızdan endüstriyel manada enerji üretimi de sağlanabilmektedir.

Güneş, çapı 1.400.000 km (dünya çapının yaklaşık 110 katı), kütlesi  $2 \times 10^{30}$  kg (dünya kütlesinin yaklaşık 330.000 katı) olan bir yıldızdır ve kendi eksenini etrafında dönmektedir. Güneşin merkezinde, temelde hidrojen çekirdeklerinin kaynaşmasıyla füzyon reaksiyonu meydana geldiği ve sıcaklığın yaklaşık olarak  $15 - 16 \times 10^6$  °C 'a kadar ulaştığı bilinmektedir. Bu bağlamda, Güneşin yaklaşık % 90'ının hidrojenden oluştuğu belirtilmektedir [10].

Güneş, diğer yıldızlarda olduğu gibi, kendisini oluşturan maddelerin kütle çekimi ile birbirlerini çekmeleri sonucu oluşmuştur. Evrensel toz bulutlarında, bu toz bulutlarındaki parçacıkların birbirlerini kütle çekimi ile çekmesi sonucu oluşan yoğunlaşma ile birbirlerine doğru yaklaşan ve yaklaşırken de hızlanan parçacıklar, kinetik enerjilerinin iç enerjiye dönüşmesi ile güneş  $15-16 \times 10^6$  °C dolayında sıcaklığa ulaşmıştır. Bu sıcaklıklarda ortaya çıkan çekirdek tepkimeleri sonucu oluşan ışınımın ortaya çıkarttığı basınç, güneşin daha fazla yoğunlaşarak çökmesini engellemiş ve güneş, bugünkü boyutlarına ulaşmıştır [11].

Güneşin iç tabakalarında, hidrojen çekirdeklerinin füzyon reaksiyonuna katılmasıyla helyum çekirdekleri oluşmakta ve bu tepkime sonucunda büyük bir enerji ortaya çıkmaktadır. Güneşin toplam ışıması  $3,8 \times 10^{26}$  J/saniye olduğundan, güneşte bir

saniyede yaklaşık 600 milyon ton proton, yani hidrojen tüketilmektedir. Bu sayı ilk bakışta şaşırtıcı gibi görünse de, güneşin kütlesi ve bu kütlenin % 90'ına yakın kısmının protonlardan oluştuğu düşünülürse, güneşteki hidrojen yakıtının tüketilmesi için, yaklaşık 5 milyar yıllık bir süre daha olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu yönüyle Güneşin, insanlık için, en azından yakın bir gelecek için, tükenmez bir enerji kaynağı olduğu kabul edilmektedir. [12].

Dünyaya ulaşan güneş enerjisi, güneşin daha düşük sıcaklıklı (yaklaşık 5777 °K) ve birkaç yüz kilometrelik dar bir üst bölgesinden gelmektedir. Bu bölge, düşük yoğunlukta iyonlaşmış gazlardan oluşmaktadır. Bu bölgedeki atomlar, sıcaklıklarıyla orantılı olarak ışıma yapmakta ve böylece bu bölgenin ışımasına yol açmaktadırlar [13].

Dünya, güneşten yaklaşık 150 milyon km uzakta bulunmaktadır. Dünya hem kendi çevresinde hem de güneş çevresinde eliptik bir yörüngede dönmektedir. Bu yönüyle, dünyaya güneşten gelen enerji, hem günlük olarak değişmekte, hem de yıl boyunca değişmektedir. İlave olarak, dünyanın kendi çevresindeki dönüş eksenini, güneş çevresindeki yörünge düzlemiyle 23,5° lük bir açı yaptığından, yeryüzüne düşen güneş şiddeti yıl boyunca değişmekte ve mevsimler de böylece oluşmaktadır.

Dünyaya, güneşten saniyede, yaklaşık  $1.75 \times 10^{17}$  J' lük enerji, ışınlarla gelmektedir. Güneşin yaydığı toplam enerji göz önüne alındığında, bu hayli küçük bir değerdir. Ancak, bu miktar dahi, dünyada insanoğlunun bugün için kullandığı toplam enerjinin yaklaşık 15-16 bin katıdır. Dünyaya gelen güneş enerjisi çeşitli dalga boylarındaki ışınlardan oluşmakta ve güneş-dünya arasını yaklaşık 8 dakikada aşarak dünyaya ulaşmaktadır.

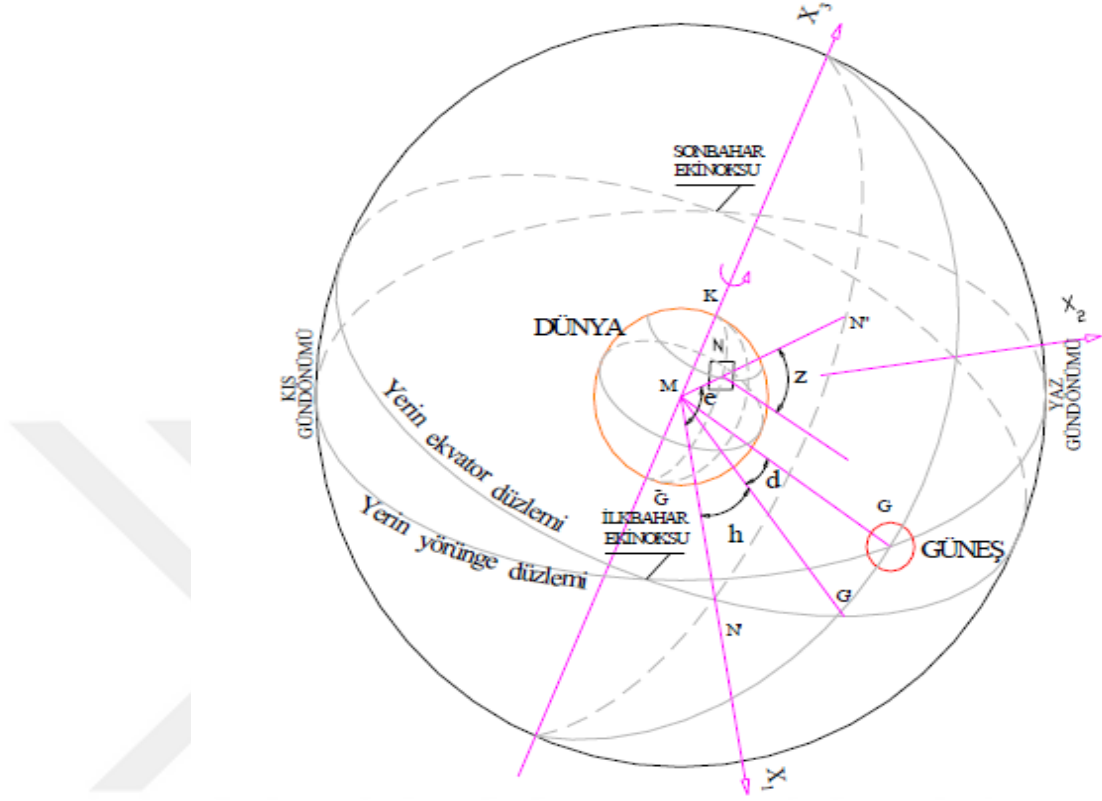
Atmosfer dışına, güneş ışınlarına dik bir metrekare alana gelen güneş enerjisi, Güneş sabiti (S) olarak adlandırılmakta olup bunun değeri  $S=1373 \text{ W/m}^2$  dir. Bu değer, tanım gereği, yıl boyunca değişmez alınabilir. Çünkü her zaman, gelen güneş ışınlarına dik yüzey göz önüne alınmalıdır. Ancak, dünyanın, güneş çevresindeki yörüngesi bir çember olmayıp bir elips olduğundan, yıl boyunca bu değerde % 3,3'lük bir değişim söz konusudur. Yeryüzüne bu enerjinin soğurma ve yansıma olaylarından dolayı  $832 \text{ W/m}^2$  lik kısmı ulaşmaktadır [14].

Yaklaşık bir saat içerisinde dünyaya ulaşan güneş enerjisi miktarının, yıllık küresel enerji talebini karşılayacak boyutta olduğu hesaplanmaktadır. Ancak, düşük yoğunluğa sahip olması, kesintiye uğrayabilmesi ve mevcut teknolojideki verimlilik gibi sorunlar nedeniyle güneş enerjisinin henüz yeterli oranda kullanıma sunulmadığı söylenebilir.

## 2.2 Güneş Açıları

Dünya üzerindeki bir noktaya veya düzleme göre güneşin konumu gün ve yıl boyunca değişir. Yeryüzünde herhangi bir noktaya doğrudan gelen güneş ışınımının şiddetini ve doğrultusunu bulabilmek için güneş ışınları ile dünyamız arasındaki ilişkiyi değerlendirmek gerekir. Işınlar ile dünya üzerindeki noktalar / düzlemler arasında belirli açılar oluşur. Güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanmak için bu açılar hakkında bilgi sahibi olunmalıdır.

Yeryüzünde herhangi bir noktaya ( N noktası) ( Şekil 2.1) doğrudan gelen güneş ışınımının doğrultusu, o noktanın içinde yer aldığı yatay düzlem yada ufuk düzlemine göre değerlendirilmek üzere, eğer o noktanın enlemi (e), saat açısı (h), deklinasyon açısı (d) biliniyorsa tayin edilebilir. Bu açılara esas güneş açıları denir [15].



**Şekil 2.1** Esas güneş açılarının gösterimi

**Enlem (e) :** Söz konusu noktayı dünya merkezine birleştiren doğrunun ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Bir başka deyişle; söz konusu nokta (N) ile yerin merkezini (M) birleştiren doğruyla N ile aynı boylamda ve ekvator düzlemindeki N' noktasıyla yerin merkezini birleştiren doğru arasında kalan açıdır (NMN'). Ekvatordan itibaren kuzeye doğru (+) işareti ve güneye doğru (-) işareti ile ölçülür.

**Saat açısı (h) :** Göz önüne alınan noktanın boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğrunun arasındaki açıdır. Bir başka deyişle; ekvator düzleminde; söz konusu yer ile aynı boylamdaki nokta (N'), güneşin dik geldiği boylamdaki nokta (G') ve yerin merkezi (M) arasında kalan açıdır (N'MG'). Güneş ışınımı hesapları, güneşin bulunulan yere göre konumunu veren güneş zamanına (Güneş Saati: GS) göre yapılır. GS, güneşin her günkü görünen hareketine göre ölçülür ve güneş öğlesinde GS=12.00

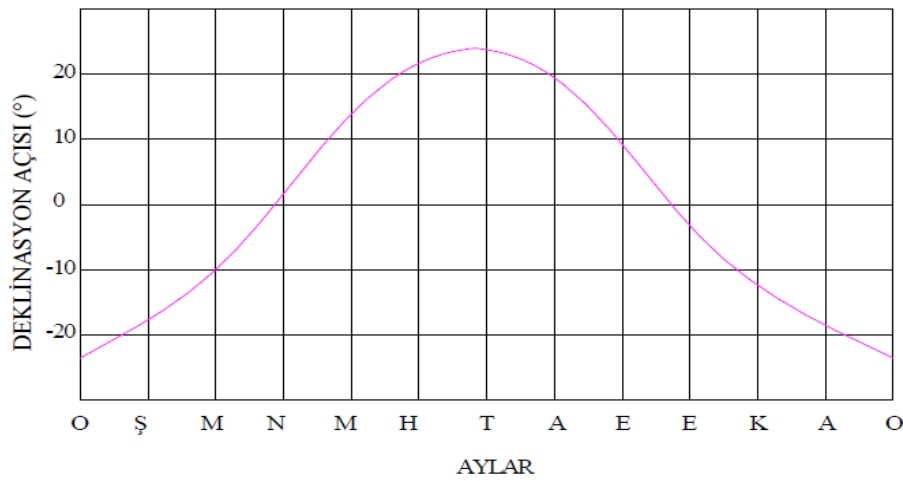
ve  $h=0^\circ$  dır. Bir saatlik zaman dilimi  $15^\circ$  saat açısına karşılık gelir. Öğleden sonra (-) negatif değer alır [15].

$$h=15(GS-12) \quad (2.1)$$

**Deklınasyon açısı (d) :** Şekil 2.1’ de gösterildiği gibi güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Güneş ışınları ile dünya arasındaki açısal ilişkiler yönünden en önemli olanı deklınasyon açısıdır. Bu açı dünyanın dönme ekseninin, yörünge düzleminin normali ile yaptığı  $23^\circ 27'$ lik açıdan ileri gelir. Güneş ışınları ekvator düzlemine dik geldiği zamanlara “Ekinoks” zamanları denir ve kuzey yarımküre için, ilkbahar ekinoksu 21 Mart, sonbahar ekinoksu 23 Eylül olarak belirlenmiştir. Ekinoks zamanlarında deklınasyon açısı, sıfır olur. Kışın deklınasyon açısı negatif, yazın ise pozitif değerler alır. Deklınasyon açısının yıl boyunca değişimi Şekil 2.2’de görülmektedir.

Deklınasyon açısı; n, 1 Ocaktan itibaren gün sayısı olmak üzere aşağıdaki yarı ampirik denklem ile hesaplanabilir. [15]

$$d=23.45^\circ \sin \left( 360 \frac{n+284}{365} \right) \quad (2.2)$$

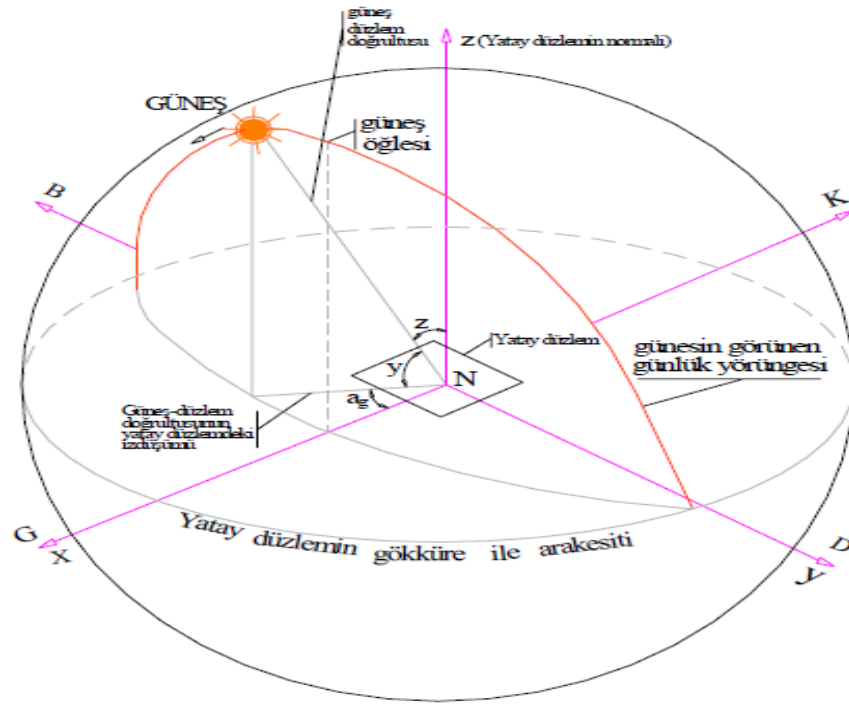


Şekil 2.2. Deklınasyon açısının yıl boyunca değişimi

## 2.2.1. Türetilen Güneş Açıları

### 2.2.1.1 Yatay Düzlem Açıları

Yatay bir düzleme gelen güneş ışınının hesaplanırken Şekil 2.3’de görülen düzlem ve güneş ışınlarının doğrultusu ile ilgili açılarda yararlanır. Bunlar, zenit açısı ( $z$ ), yükseklik açısı( $y$ ), güneş azimut açısı ( $a_g$ )’dir.



Şekil 2.3. Yatay düzlem açıları

Zenit açısı ( $z$ ): Doğrudan güneş ışınlarının yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır (Şekil 2.3). Zenit açısının esas güneş açıları ile ilişkisi denklem (2.3) teki gibidir.

$$\cos z = \cos d \cos e \cos h + \sin d \sin e \quad (2.3)$$

Güneş Yükseklik Açısı (y) : Doğrudan güneş ışınlarının yatay düzlemle yaptığı açıdır (Şekil 2.3).Yükseklik açısıyla zenit açısı birbirini 90° tamamlar (Denklem (2.4) ). Ve yine güneş yükseklik açısı esas güneş açıları cinsinden denklem (2.5) teki veya eşdeğer olarak denklem (2.6) daki gibi ifade edilir.

$$y+z=90^\circ \quad (2.4)$$

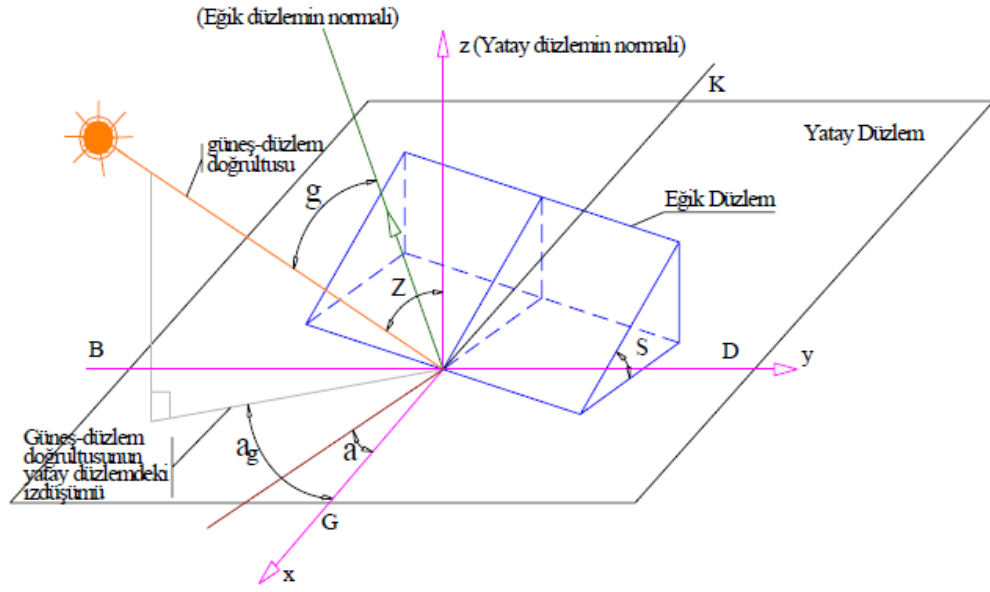
$$\sin y = \cos z = \cos d \cos e \cos h + \sin d \sin e \quad (2.5)$$

Güneş azimut açısı (a<sub>g</sub>) : Güneş–düzlem doğrultusunun, yatay düzlemdeki izdüşümünün, güney yönü ile yaptığı açıya güneş azimut açısı denir. Şekil 2.3’ de görülen güneş azimut açısı, güneyden batıya doğru pozitif, güneyden doğuya doğru negatif olarak alınır. Azimut açısının maksimum mutlak değeri, güneş doğusunda ve batışında deklinasyon açısına bağlı olarak 90° civarında gerçekleşir. Güneş ışınlarının kuzeye göre saat yönünde sapmasını gösteren açıdır [15].

$$\cos a_g = \frac{\cos d \sin e \cos h - \sin d \cos e}{\cos y} \quad (2.6)$$

### 2.2.1.2 Eğik Yüzeyin Açıları

Eğik bir düzleme gelen güneş ışınımının hesaplanmasında eğik düzlem ve güneş ışınlarının doğrultusu ile ilgili açılardan yararlanır. Bu açılar, eğim açısı (s), geliş açısı (g) ve azimut açısı (a)’dır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Eğik Düzlem Açılıarı

Eğim Açısı (s) : Eğik düzlemin yatay düzlemle yaptığı açıdır. (Şekil 2.4 )

Güneş geliş açısı (g) : Güneş-düzlem doğrultusunun eğik düzlemin normaliyle yaptığı açıdır. (Şekil 2.4 )

$$\cos g = \cos d \cos e \cos h \cos s + \cos a \cos d \sin a \cos h \sin s + \sin a \cos d \sin h \sin s + \sin d \sin e \cos s - \cos a \sin d \cos e \sin s \quad (2.7)$$

Azimut Açısı (a) : Eğik düzlemin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümünün güney yönü ile yaptığı açıdır ki bu açı eğik düzlemin yatay düzlem üzerinde baktığı yönü verir. (Şekil 2.4 )

### 2.3. Güneş Işınım Hesabı

Bir elektromanyetik dalga; yolu boyunca denk geldiği yüzeylerde yansıma, yutulma ve geçirilme işlemlerine uğrar. Ve bu yüzeyden geçen elektromanyetik dalgalar sanki bu yüzey kaynaklıymış gibi davranırlar (Huygen Prensibi). Boşlukta ise elektromanyetik dalgalar herhangi bir etkileşime girmediklerinden tamamen geçirilirler.

Güneşten saçılan elektromanyetik dalgalar, yeryüzüne ulaşmaya kadar izledikleri yolda; ilk olarak devasa uzay boşluğundan değişime uğramadan geçip daha sonra atmosferdeki gaz tabakalarında ve bulutlarda yansıma, yutulma ve geçirilme işlemine uğradıktan sonra hedeflerine ulaşırlar.

Güneş ışınım hesaplamalarında yeryüzüne düşen anlık ve günlük ışınım değerlerinin saptanması için önce atmosfere uğramamış güneş ışınımının hesabının bilinmesi gerekmektedir.

#### 2.3.1. Atmosfer Dışındaki Yüzeyle Gelen Güneş Işınımı

$1,4 \times 10^9$  m çapındaki yüzey sıcaklığı yaklaşık 5777 K olan bir kaynağın kendinden yaklaşık  $1,5 \times 10^{11}$  m uzaklıkta oluşturacağı ışınım şiddeti; güneş sabiti olarak bilinir,  $1373 \text{ W/m}^2$  dir. Bu değer tüm güneş ışınım hesaplarında referans olarak alınır. ( $I_{Gs}$ )

Bu değer hesaplanırken kullanılan; güneş çapı, sıcaklığı değerleri çok az değişirken güneşten gelen anlık ışınımı asıl değiştiren etken güneşe olan uzaklıktır. Güneş ışınımı hesaplanacak herhangi bir anda atmosfer dışında güneş ışınlarıyla normali çakışan yüzeye gelen güneş ışınımı ( $I_{0n}$ ), dünya-güneş mesafesi ( $L$ ) ve yıllık ortalama değeri ( $L_0$ ) ve güneş sabiti ( $I_{Gs}$ ) olmak üzere, aşağıdaki denklem ile ifade edilir.[16]

$$I_{0n} = \frac{L_0^2}{L^2} I_{Gs} = f I_{Gs} \quad (2.8)$$

Yukarıdaki denklemde  $f$ , güneş sabitini düzeltme faktörü olarak bilinir, 1 Ocaktan itibaren gün sayısı ( $n$ ) cinsinden aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$f = 1 + 0.033 \cos \left( 360 \frac{n}{365} \right) \quad (2.9)$$

Atmosfer dışındaki yatay düzleme gelen anlık ışınımın ( $I_0$ ), güneş sabiti ve zenit açısı cinsinden ifadesi aşağıdaki gibidir.

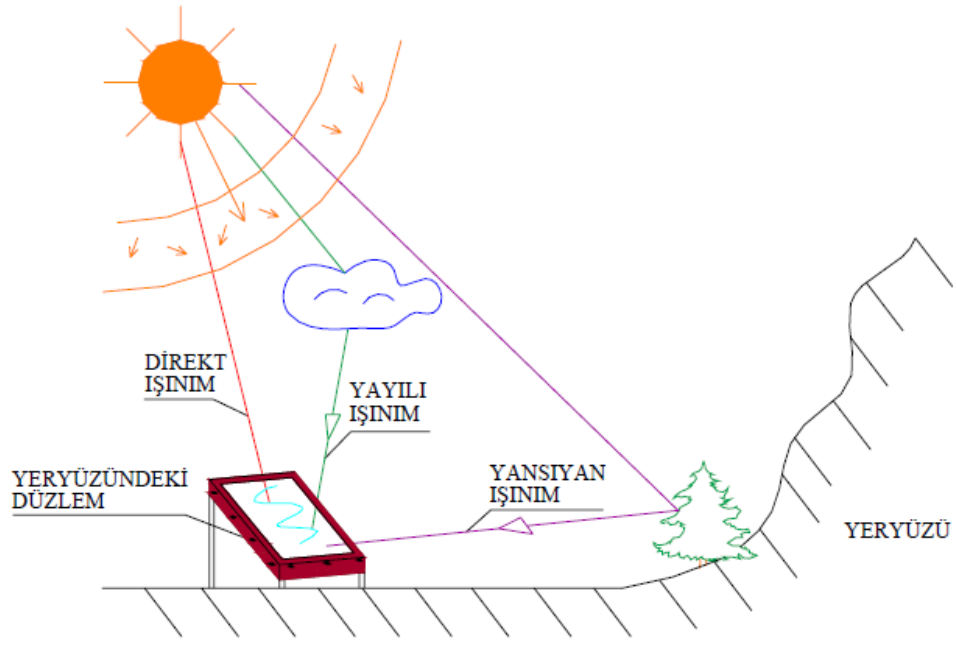
$$I_0 = f I_{Gs} \cos z \quad (2.10)$$

Atmosfer dışında yatay birim yüzeye gelen günlük ışınım ( $Q_0$ ) değeri gün boyu anlık ışınım değerlerinin toplamıdır, ve bu değerini aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$d Q_0 = f I_{Gs} \cos z dt \quad (2.11)$$

### 2.3.2. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı

Güneş ışınımı atmosferi geçerken, atmosferde bulunan parçacıklar (foton, molekül, toz v.s.) tarafından yutulur ve saçılır, böylece atmosfer dışına gelen ışınımın 0.1 ile 0.8 arasında bir kesri yeryüzüne ulaşır. Şekil 2.5 'de şematik olarak gösterildiği gibi bu ışınımın doğrudan yeryüzüne gelen kısmına direkt güneş ışınımı (anlık:  $I_d$ , günlük:  $Q_d$ ), saçılan ışınımın yeryüzüne gelen kısmına yayılı güneş ışınımı (anlık:  $I_y$ , günlük:  $Q_y$ ), yeryüzünde bulunan düzlemlere çarpıp yansıtılarak gelen kısmına ise yansıyan güneş ışınımı (anlık:  $I_{yan}$ , günlük:  $Q_{yan}$ ) adı verilir.[17]



**Şekil 2.5.** Yeryüzüne Gelen Işınım Bileşenleri

Yeryüzünde yatay düzleme gelen yansıyan güneş ışınım değeri, aynı düzlemdeki diğer ışınımlara göre çok küçük olduğundan ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle yeryüzünde yatay düzlemde gelen güneş ışınımı, direkt ve yayılı ışınımların toplamı olan “tüm güneş ışınımı” olarak isimlendirilir. Direkt ve yayılı güneş ışınımı pratik olarak 0.3–3.0  $\mu\text{m}$  dalga boyu aralığında olduğundan buna kısa dalga boylu ışınım da denir. Tüm güneş ışınımı, anlık ve günlük bileşenleri aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$I = I_d + I_y \quad Q = Q_d + Q_y \quad (2.12)$$

Yeryüzünde eğik düzleme gelen güneş ışınımı ise, direkt, yayılı ve yansıyan ışınımların toplamına eşittir ve “toplam güneş ışınımı” olarak isimlendirilir. Toplam ve tüm güneş

ışınımının bileşenleri Şekil 2.5' de gösterilmiştir. Toplam güneş ışıını, anlık ve günlük bileşenleri aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$I = I_{ed} + I_{ey} + I_{eyan} \quad Q = Q_{ed} + Q_{ey} + Q_{eyan} \quad (2.13)$$

Yeryüzüne gelen güneş ışıını, çok sayıda değişkenin fonksiyonudur. Bunlar arasında, astronomik faktörler (güneş sabiti, dünya-güneş mesafesi, deklinasyon açısı, saat açısı, vs.), coğrafik faktörler (bulunulan yerin enlemi boylamı ve deniz seviyesinden yüksekliği, vs.), geometrik faktörler (azimut açısı, eğim açısı, yükseklik açısı, güneş azimut açısı, vs.), fiziksel faktörler (hava moleküllerinin saçması, atmosferdeki su buharının azaltması, tozların saçması, ozon ve karbondioksinin yutması, vs.) ve meteorolojik faktörler (bulutların tesiri, çevrenin yansıtması, vs.) sayılabilir. Belirtilen bu faktörlerin hepsini dahil edecek teorik bir hesaplama yapılması oldukça zordur. Bu sebeple, güneş ışıını hesaplarında, daha çok, ölçülen güneş ışıını verilerinden yararlanılarak ilgili parametrelerin fonksiyonu olarak geliştirilen yarı-ampirik bağıntılar kullanılır. Aşağıda, yeryüzüne gelen güneş ışıını bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılan, bu yarı ampirik bağıntılar özetlenmiştir. Hesaplamalar yatay ve eğik düzlem olmak üzere iki grupta yapılır.

### 2.3.2.1. Yeryüzünde Yatay Düzleme Gelen Güneş Işını

Yeryüzünde yatay düzleme gelen güneş ışıını ile ilgili bağıntılar aşağıda hesap sırasıyla verilmiştir.

#### **Yeryüzünde yatay düzleme gelen günlük tüm ışıını, (Q):**

Yatay düzleme gelen günlük tüm güneş ışıını; güneşlenme süresi, izafi nem, mutlak nem, atmosferik basınç, sıcaklık, bulutluluk oranı gibi meteoroloji verilerinden birine

veya birkaçına bağılı olarak değişim gösterir. Yatay birim düzleme gelen günlük tüm güneş ışınımı (Q); atmosfer dışında, yatay birim düzleme gelen güneş ışınımı (Q<sub>0</sub>), güneşlenme süresi (t) ve gün uzunluğu (t<sub>0</sub>) olmak üzere aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$\frac{Q}{Q_0} = K_t = a + b \frac{t}{t_0} \quad (2.14)$$

Bu denklemde; K<sub>t</sub> berraklık indeksi, t/t<sub>0</sub> ise izafi güneşlenme süresidir. Denklemdeki, a ve b katsayıları ise bulunulan yeri anlatan katsayılardır ve Türkiye için aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$a = 0.103 + 0.000017(Z) + 0.198 \cos(e - d) \quad (2.15)$$

$$b = 0.533 - 0.165 \cos(e - d) \quad (3.33)$$

Burada, (Z), metre cinsinden, bulunulan yerin deniz seviyesinden yüksekliğidir.

#### **Yeryüzünde yatay düzleme gelen anlık tüm ışınım, (I):**

Anlık tüm güneş ışınımı (I), günlük tüm güneş ışınımının (Q) fonksiyonu olarak değişecektir. Bu oran (r<sub>t</sub>=I/Q); aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir.

$$r_t = \frac{I}{Q} = \frac{\pi}{4t_0} \left( \cos\left(90 \frac{h}{H}\right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - \psi) \right) \quad (2.16)$$

Burada  $\psi$  parametresi

$$\psi = e^{-4\left(1 - \frac{|h|}{H}\right)} \quad \text{denklemleriyle hesaplanır.} \quad (2.17)$$

#### **Yeryüzünde yatay düzleme gelen günlük direkt ışınım(Q<sub>d</sub>) ve yayılı ışınım (Q<sub>y</sub>):**

Herhangi bir yerde, herhangi bir günde yatay düzleme gelen günlük direkt güneş ışınımı, anlık direkt güneş ışınımının gün boyunca değişimine ve gün uzunluğuna bağılıdır. Günlük direkt ve yayılı güneş ışınımı hesabı için, çok sayıda ampirik bağıntı bulunmaktadır. Bunlardan birisi yayılı ışınım oranı (K<sub>y</sub>) olarak tarif edilen aşağıdaki denklemdir.

$$\frac{Q_y}{Q} = K_y = 1 - 1.13 K_t \quad [17] \quad (2.18)$$

### **Yeryüzünde yatay düzleme gelen anlık direkt ışınım ( $I_d$ ) ve yayılı ışınım ( $I_y$ ):**

Bir anda birim yatay düzleme gelen yayılı ışınımın ( $I_y$ ), günlük toplam yayılı ışınımına ( $Q_y$ ) oranı; atmosfer dışında yatay düzleme bir anda gelen ışınımın ( $I_0$ ), atmosfer dışında bir gün boyunca gelen ışınımına ( $Q_0$ ) oranına eşittir. Bu oran ise;

$$r_y = \frac{I_y}{Q_y} = \frac{I_0}{Q_0} \quad (2.19)$$

$$I_y = \frac{\pi}{24} \frac{\cos h - \cos H}{\sin H - \frac{\pi}{180} H \cos H} \quad (2.20)$$

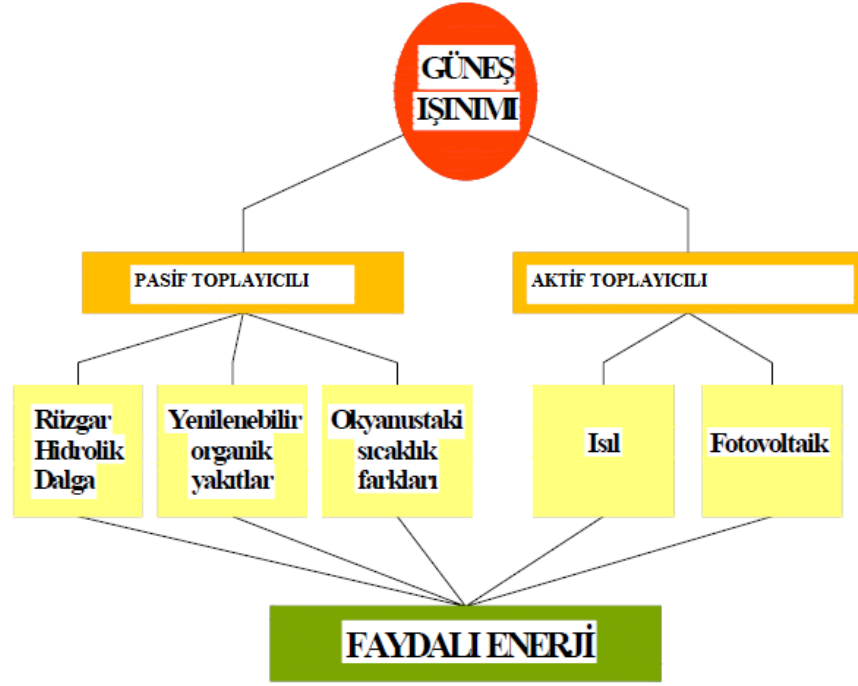
bağıntılarıyla gösterilir. Anlık direkt güneş ışınımı ( $I_d$ ) ise, anlık tüm ( $I$ ) ve anlık yayılı güneş ışınimleri ( $I_y$ ) kullanılarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanır:

$$I = I_d + I_y \quad (2.21)$$

Bu denklemler kullanılarak yeryüzünde yatay düzleme gelen güneş ışınımı hesaplanır. Eğik düzlem güneş ışınım hesabı bu kısımda verilmeyecektir, gerekli hesaplama yöntemlerine 17 nolu referanstan ulaşılabilir.

## **2.4. Güneş Enerjisi Uygulamaları**

Yerküremize ulaşan, enerji barındıran, güneş kaynaklı, elektromanyetik dalgalar etkileştikleri maddelerde değişime sebep olup enerjilerinin bir kısmını bu maddelere aktarırlar. Etkileşimin doğal veya zorlanmış olmasına göre güneş enerjisi uygulamaları aktif ve pasif toplayıcı sistemler olarak sınıflandırılırlar.



**Şekil 2.6.** Güneş Enerjisinin Faydalı Enerjiye Dönüşümü

Şekil 2.6 'da gösterilen pasif toplayıcıli sistemlerde güneş ışınımının etkileştiği madde (hava, su ve fotosentetikler) buldukları yerde ve zamanda değişime uğrarlarken etkileşimin hızı kontrolsüzdür; aktif toplayıcıli sistemlerde ise etkileşimin hızı ve miktarı kontrollüdür.

### 2.4.1. Isıl Güneş Enerjisi Sistemleri (IGES)

Güneş enerjisinin bir akışkana aktarılması esaslı sistemler olup; akışkanda oluşabilecek sıcaklıklara göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler.

- a) Düşük sıcaklık uygulamaları ( $20^{\circ}\text{C} - T - 100^{\circ}\text{C}$ )
- b) Orta sıcaklık uygulamaları ( $100^{\circ}\text{C} - T - 300^{\circ}\text{C}$ )
- c) Yüksek sıcaklık uygulamaları ( $T > 300^{\circ}\text{C}$ )

Düşük sıcaklık uygulamalarında genellikle düz toplayıcılar/boşaltılmış tüpler kullanılır. Bu uygulamaların bazıları:

- Isıtma – soğutma
- Tarımda kurutma
- Su damıtımı – tuz üretimi
- Seracılık
- Sulama
- PV sistemleri

Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımının yansıtılarak veya kırılarak bir noktaya veya eksene yoğunlaştırıldığı odaklı toplayıcılar kullanılır. Bu uygulamaların bazıları:

- Sulama için su pompaları
- Küçük motorlar
- Buhar jeneratörüdür.

Güneş ışınımından yararlanılarak  $300^{\circ}\text{C}$ ' nin üzerindeki yüksek sıcaklık elde edilen sistemlerde “heliostat” adı verilen, geniş bir alana gelen güneş ışınımını, güneşi izleyerek bir noktaya odaklayan sistemlerden yararlanır. Güneş fırınları ve güneş

enerjili güç sistemlerinde yansıtıcı olarak aynalardan yararlanılmakta ve 3500 °C sıcaklığa kadar çıkılabilmektedir.

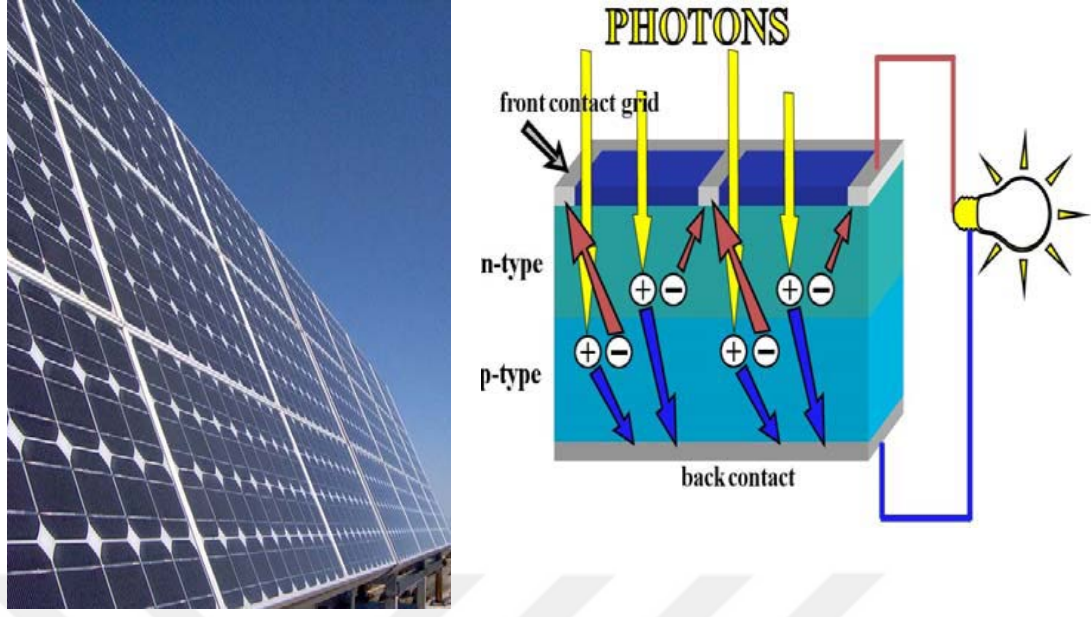
Yüksek sıcaklık uygulamaları ise;

- Güneş fırınları
- Elektrik üretimi
- Seramiktir [18]

#### **2.4.2. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri ( FGES )**

Güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi yaygın olarak fotovoltaik paneller yardımı ile de gerçekleşmektedir (Şekil 2.7). Güneş pili olarak da adlandırılan bu paneller, yüzeylerine gelen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken hücrelerin birleşiminden oluşur. Yarı iletken malzemede, fazla elektron ve boşluk bulunduran iki farklı maddenin teması ile tek bir kristal meydana getirilmesi ve ısı ışınım etkisi ile fazla elektronların boşluklara yönelmesi ile doğru akım oluşur. Verimleri %3 ile %42 arasında değişen bu sistemin, üretim ağının genişlemesi ile birlikte ülkemizde ve dünyada kullanımı yaygınlaşmıştır.

Genellikle sinyalizasyon, kırsal elektrik ihtiyacının karşılanması, bina içi ve dışı aydınlatma, deniz fenerleri, alarm ve güvenlik sistemleri, deprem ve hava gözleme istasyonları gibi küçük sistemlerden, elektrik üretim santrallerine kadar birçok kullanım alanları mevcuttur.



Şekil 2.7 Fotovoltatik Panel ve Hücre

### 3. OPTİK

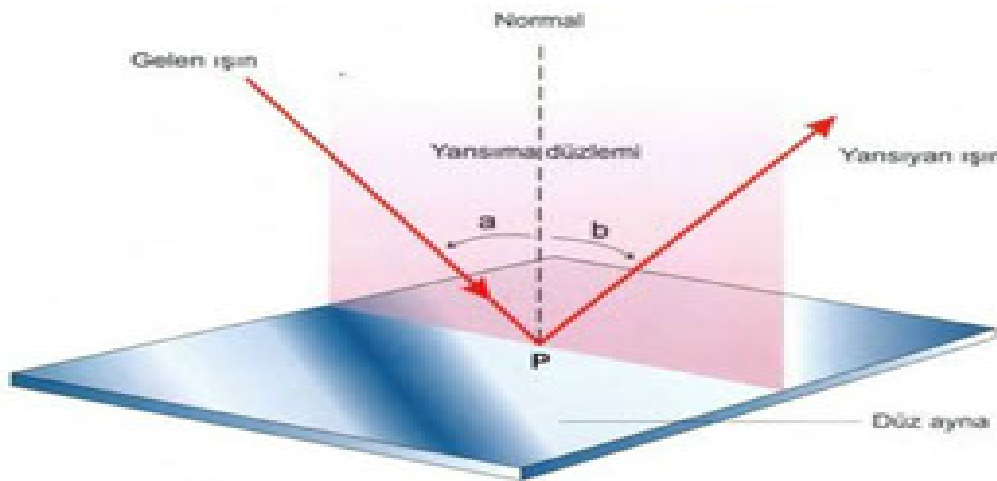
Güneşten yayılan elektromanyetik dalgaların boşaltılmış tüplerde toplanmasıyla ilgili yapılan bu çalışmada; elektromanyetik dalganın aldığı yoldaki davranışlarını tanımlamamız için gerekli olan Optik olaylar ve çözümlenmeleri bu bölümde verilmiştir.

Güneşten yayılan ışınım boşlukta  $c = 3.00 \times 10^8$  m/s hız ile yol almaktayken karşılaştığı yüzeylerde yansıma, kırınım veya yutulma olaylarından biri gerçekleşir.[19]

#### 3.1 Yansıma

Işığın düşük geçirgenlikteki yüzeylerce geldikleri ortama geri gönderilmesi olarak bilinen yansıma olayında, gelen ışığın yansıma oluşan yüzeyin normaliyle yaptığı açının yansıyan (geri çevrilen) ışığın yansıtıcı yüzey normaliyle yaptığı açının aynı olduğu bilinmektedir.

Işığın düzgün bir yüzeyde yansıması Şekil 3.1' deki gibi olduğu bilinmekte ve gelen ve yansıyan ışığın açılarındaki eşitlik 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1 Yansıma Olayı

$$\alpha = \beta$$

(3.1)

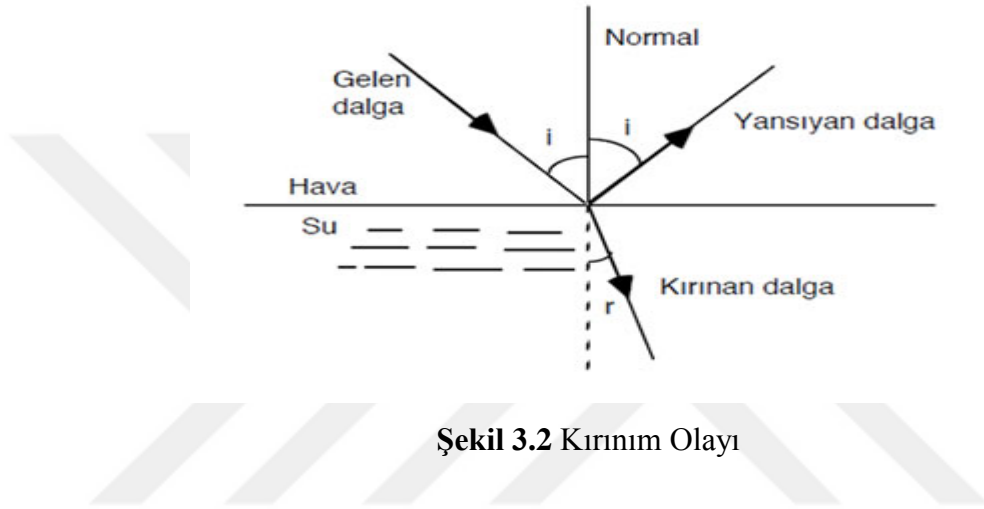
Yüzeyley için yansıtabilirlik farklı dayga boylu ışınımlarda farklı olmakla beraber; bazı maddelerin yansıtabilirlik (albedo) oranları Çizelge 3.1 deki gibidir.[20]

Madde	Albedo	Madde	Albedo	Madde	Albedo
temiz kar	0,80-0,90	<a href="#">tarla</a> (arazi)	0,26	deniz (eğim açısı > 30°) suyu	0,08
eski kar	0,45-0,90	<a href="#">çimen</a>	0,18-0,23	deniz (eğim açısı > 20°) suyu	0,12
<a href="#">bulut</a>	0,60-0,90	<a href="#">orman</a>	0,05-0,18	deniz (eğim açısı > 10°) suyu	0,22
<a href="#">cöl</a>	0,30	<a href="#">asfalt</a>	0,15		
<a href="#">savana</a>	0,20-0,25	deniz (eğim açısı > 45°) suyu	0,05		

**Çizelge 3.1** Bazı Maddelerin Yansıtabilirlik değerleri

### 3.2 Kırınım

Işık bir ortamdan kırılma indisi farklı olan başka bir ortama geçtiğinde, ışığın geçiş yüzeyiyle yaptığı açı değişir.[21] Bu olay kırınım olarak bilinmektedir. Kırınım olayı Şekil 3.2 'deki gibi olmakta ve bu geçiş ile ilgili kırınım kanunu olarak verilen eşitlikte 3.2 'deki gibidir.



$$n_1 \sin (i) = n_2 \sin (r) \quad (3.2)$$

Bazı maddeler için kırılma indisleri Çizelge 3.2 'de verilmiştir.[22]

<b>Madde</b>	<b><i>n</i></b>
<u>Gazlar 0 °C ve 1 atm</u>	
<u>Hava</u>	1.000293
<u>Helyum</u>	1.000036
<u>Hidrojen</u>	1.000132
<u>Karbon dioksit</u>	1.00045
<u>Sıvılar 20 °C</u>	
<u>Su</u>	1.333
<u>Etanol</u>	1.36
<u>Benzen</u>	1.501
<u>Katılar</u>	
<u>Buz</u>	1.309
Erimiş kuartz	1.46
<u>Pleksi</u>	1.49
Cam, kron	1.52
Cam, kristal	1.62 ya da 1.66
<u>Elmas</u>	2.42

**Çizelge 3.2** Bazı Maddelerin Kırıcılık İndisleri

Işığın kırıcılık indisi büyük olan ortamdan küçük olan ortama geçerken kritik açıdan büyük açılarla gelen ışık kırılmayacağı için tamamıyla yansır. Bu olaya tümenden yansıma denir.

Ve kritik açıyla ilgili eşitlik aşağıda eşitlik 3.3 de verilmiştir.

$$\sin r_c = \frac{n_2}{n_1} \sin 90^\circ = \frac{n_2}{n_1} \quad (3.3)$$

### 3.3 Yutulma

Yüzeyde gelen elektromanyetik dalganın enerjisinin maddeye aktarılması olarak bilinen yutulma olayında; birincil kaynaktan gelen ışınların yolu biterken, yüzey sahip olacağı enerji düzeyine göre yeni ışınlar saçacaktır.

Işığın izlediği yolun karışık geometriler için analitik olarak tanımlanması çok zor olduğundan, bu çalışmada da olduğu gibi bu yol nümerik yöntemlerle bazı bilgisayar programları aracılığıyla yapılmalıdır.

### 3.4 ZEMAX

Ray tracking olarak bilinen metot için kullanılan programlardan biri olan Zemax' ta tasarım ışık kaynağı tasarımı, genel tanımlamalar, ara yüzey tanımlamaları, detektör tanımlanması ve Merit Fonksiyonu tanımlanmasını kapsamaktadır.[23]

#### 3.4.1 Işık Kaynağı Tasarımı

Noktasal, doğrusal, düzlemsel veya 3 boyutlu geometrilerde ışık kaynağı tasarımına imkân veren ZEMAX programında düzlemsel ışık kaynağı tasarımı aşağıda özetlenmiştir.

Source Rectangle seçimi size programda dikdörtgensel bir ışık kaynağı tasarlatırken, program girdi olarak kaynağın içinde bulunduğu ortam, kaynağın x, y, z koordinatlarındaki konumu ve eksenlerle yaptığı açı, kaynaktan yapılan saçılımın gücü; bu güç değeri direk girilebilirken, birim yüzey başına da tanımlanabilir, kaynağın ebatlarının girilmesi ve saçılımın homojenliğinin tanımlanması, analizde kullanılacak

ışın sayısı ve görselde kullanılacak ışın sayısının tanımlanması işlemlerinden oluşmaktadır.

Bu parametrelerde en önemlisi kaynağınızı tanımlarken seçeceğiniz ışın sayısı olup, birim yüzeyden yapılacak saçınımında kullanılacak ışın sayısını artırtmak size gerçeğe en yakın sonucu verecektir. 4.000.000.000 ışınla sınırlı olan programda oluşturulacak tasarımı seçeceğiniz küçük ışın sayısı değeri işlem hızınızı arttıracığından tasarımı ölçeklendirmek daha gerçekçi sonuçları daha küçük ölçeklerde daha hızlı edinmenizde faydalı olacaktır.


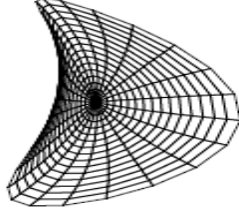
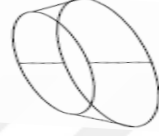
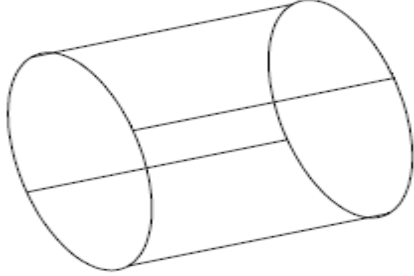

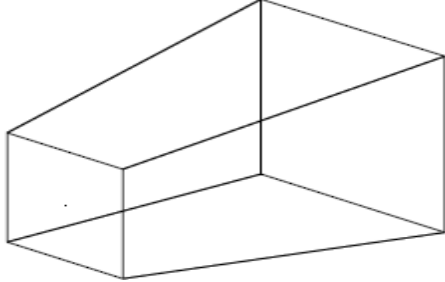
Işık kaynağının tek başına tasarlanması programın görsel vermesi için ve analiz yapabilmesi için yeterli değildir.

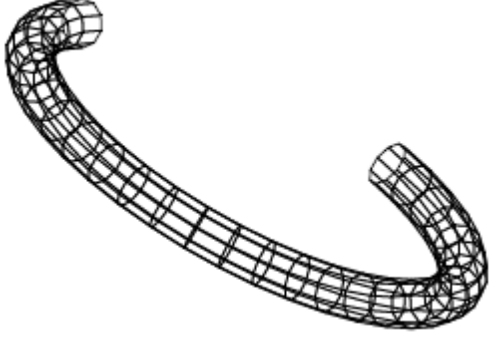
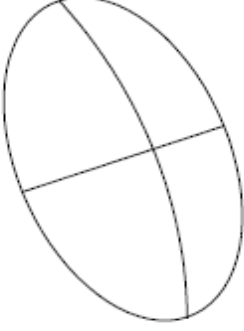
Kaynaktan çıkan ışınlar analizin yapılacağı dedektörlere uğramadan bazı ara yüzeylerden geçeceklerse ara yüzey tanımlamaları yapılmalıdır.

### **3.4.2 Ara Yüzey Tasarımı**

İki ve/ veya üç boyutlu ara yüzey tasarımlarını barındıran programda hazırlanmış geometriler kullanılabileceği gibi, farklı geometri kombinasyonlarıyla analiz yapmakta mümkündür.

Programda hazırlanmış ara yüzeylerden bazıları, bu yüzeylerin tanımlamaları ve görselleri Çizelge 3.3 verilmiştir.

Arayüzeyler	Tanımlama	Şekil
<b>Annulus</b>	<b>Ortasında eliptik bir boşluk bulunan düzlemsel elips</b>	
<b>Biconic Surface</b>	<b>X ve Y doğrultularında farklı eğrilik ve koniklik olan yüzey</b>	
<b>Cone</b>	<b>r-z tanımlamalarıyla oluşturulan bir koni parçası</b>	
<b>Cylinder Volume</b>	<b>Kapalı bir silindirik hacim</b>	
<b>Triangle</b>	<b>3 noktasıyla tanımlanan üçgensel yüzey</b>	
<b>Rectangular Volume</b>	<b>6 yüzeyden kapalı bir hacim</b>	

<b>Torus Surface</b>	<b>Bir çemberin belli bir eksen etrafında belirlenen açı aralığında döndürülmesiyle elde edilen yüzey</b>	
<b>Standart Surface</b>	<b>Bütün özellikleri dışarıdan girilen bir yüzey oluşumu</b>	

**Çizelge 3.3 ZEMAX arayüzeyler**

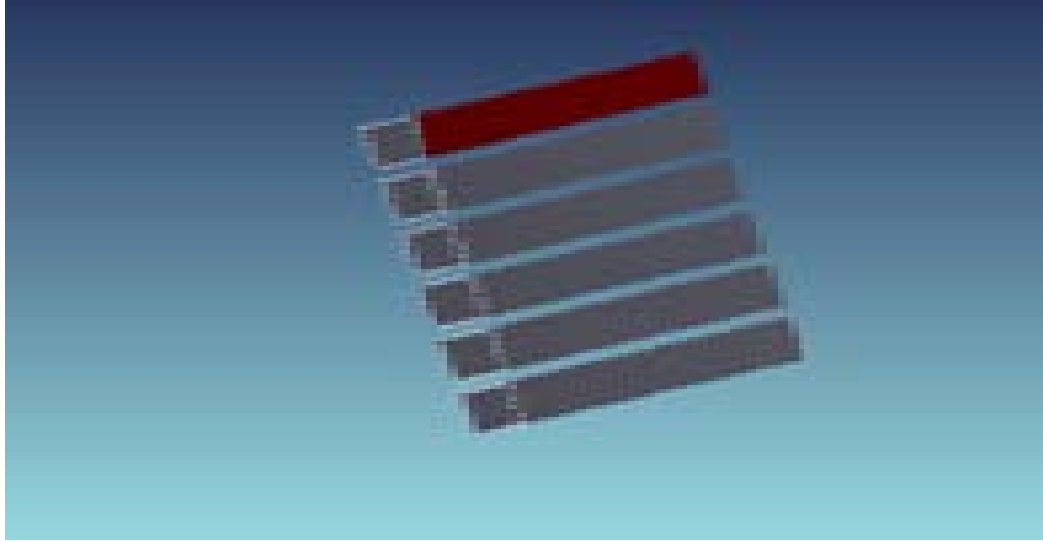
Zemax'ta Tools menüsünün altında bulunan Combine Objects ile önceden tanımlanmış iki nesnenin birleşimi, kesişimi veya farkı alınarak yeni nesne tasarımı yapılabilmektedir.

Bu çalışmada dış cam geometrisi ve yansıtıcı geometrisi tasarlanırken kullanılan nesnelere ilgili tanımlamalar aşağıdaki gibi olmuştur.

### 3.4.2.1 Kare Kesitli Dış Cam Tüp Tasarımı

Bu geometri oluşturulurken; iki farklı ebatta Rectangular Volume tanımlanmış ve Combine Object ile iki nesnenin farkı yeni bir nesne olarak tanımlanmış ve oluşturulan tüp Replicate Object ile z ekseninde aralarında 20 mm olacak şekilde 6 tüp oluşturulmuş ve Combine Objects ile 6 tüpün birleştirilmesiyle bir kolektör dış cam serisi elde edilmiştir.

Kare kesitli dış cam tüp serisi için piyasada en sık kullanılan cam olması sebebiyle F\_SILICA seçilmiştir. Bor-silis karışımından oluşan camla ilgili detaylı bilgi Matematiksel Model bölümünde anlatılacaktır. Dış cam serisinin Zemax görseli Şekil 3.3 te verilmiştir.

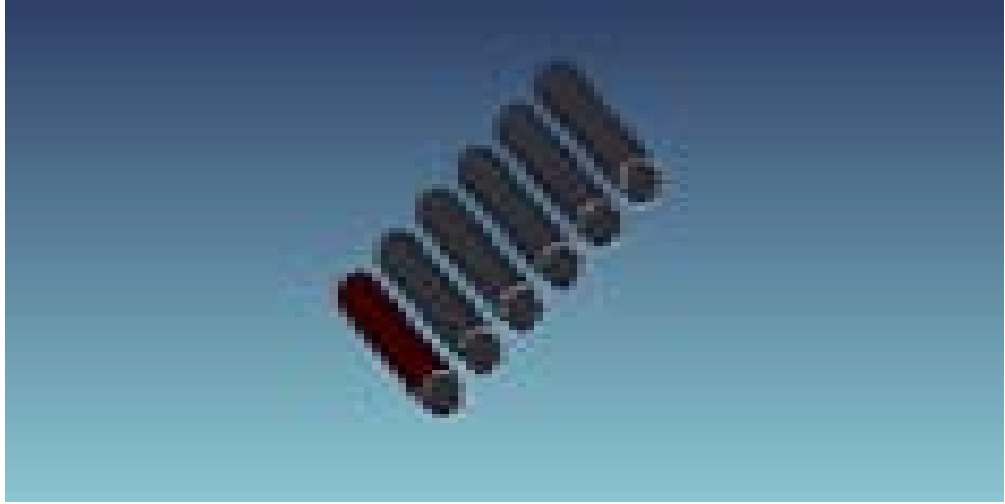


**Şekil 3.3** Kare kesitli dış cam tüp serisinin Zemax görseli

### 3.4.2.2 Silindirik Dış Cam Tüp Tasarımı

Bu geometri oluşturulurken; iki farklı ebatla Cylinder Volume tanımlanmış ve Combine Object ile iki nesnenin farkı yeni bir nesne olarak tanımlanmış ve oluşturulan tüp Replicate Object ile z ekseninde aralarında 20 mm olacak şekilde 6 tüp oluşturulmuş ve Combine Objects ile 6 tüpün birleştirilmesiyle bir kolektör dış cam serisi elde edilmiştir.

Silindirik dış cam tüp serisi için piyasada en sık kullanılan cam olması sebebiyle F\_SILICA seçilmiştir. Bor-silis karışımından oluşan camla ilgili detaylı bilgi Matematiksel Model bölümünde anlatılacaktır. Dış cam serisinin Zemax görseli Şekil 3.4 te verilmiştir.



Şekil 3.4 Silindirik dış cam tüp serisinin Zemax görseli

### 3.4.2.3 Dikdörtgensel Yansıtıcı Yüzey Tasarımı

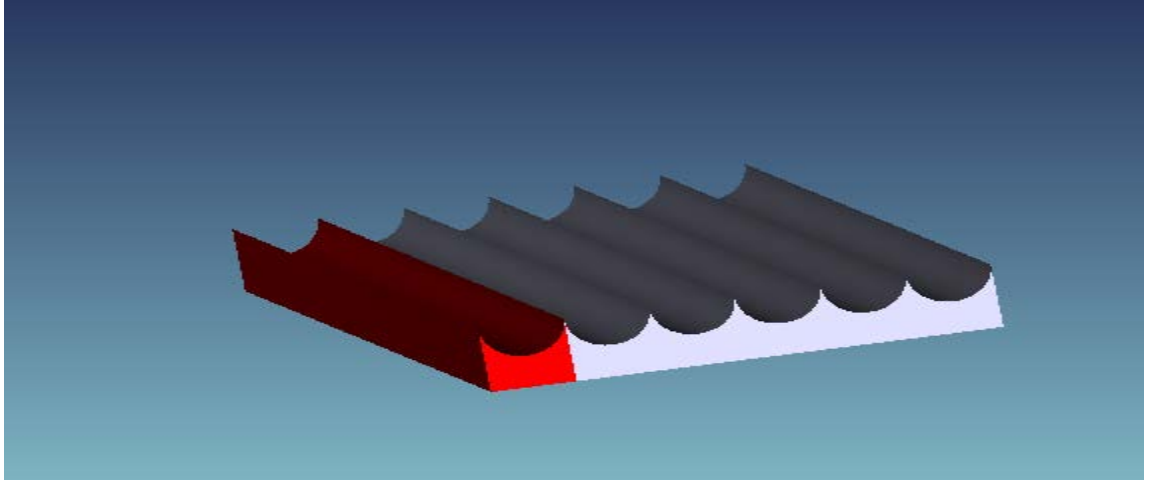
Bu geometri oluşturulurken; Rectangle seçilir ve x-y-z koordinatlarında konum belirlendikten sonra Tilt about x-y-z komutlarıyla da oluşturulacak yansıtıcının eksenlerle yaptığı açı tanımlanır. X ve Y half width ile ebatları belirlenen yansıtıcı yüzey için malzeme seçiminde material kısmında mirror ile yansıtıcı tasarımı yapılabilmekteyken, herhangi bir malzeme üzerine kaplama (coating ) ile de istenen yansıtma sağlanabilmektedir. Yansıtıcı yüzeylerle ilgili detaylı bilgi Matematiksel Model bölümünde anlatılacaktır.

### 3.4.2.4 Silindirik Oluk Tipi Yansıtıcı Yüzey Tasarımı

Bu geometri oluşturulurken; birer adet Cylinder Volume ve Rectangle Volume tanımlanmış ve Combine Object ile iki nesnenin farkı yeni bir nesne olarak tanımlanmış (rectangle volume ile oluşturulan hacmin üst kısmına oturtulan cylinder volume ile tanımlı hacmin çıkarılması ayrı silindirik bir yüzey elde edilmesini sağlar) ve oluşturulan hacim Replicate Object ile y ekseninde aralarında 100 mm olacak şekilde 6 tüp oluşturulmuş ve Combine Objects ile 6 hacim elemanın birleştirilmesiyle bir silindirik oluk tipi yansıtıcı serisi elde edilmiştir.

Silindirik oluk tipi yansıtıcı yüzey için malzeme seçiminde material kısmında mirror ile yansıtıcı tasarımı yapılabilmekteyken, herhangi bir malzeme üzerine kaplama (coating ) ile de istenen yansıtma sağlanabilmektedir. Yansıtıcı yüzeylerle ilgili detaylı bilgi Matematiksel Model bölümünde anlatılacaktır.

Silindirik oluk tipi yansıtıcı yüzeyin oluşturulmasında başka geometri kombinasyonları kullanılabilmesi bilinmekte olup, bu çalışmada kullanılan yüzeyin Zemax görüntüsü Şekil 3.5 te verilmiştir.



Şekil 3.5 Silindirik Oluk Tipi yansıtıcı yüzeyin Zemax görseli

### 3.4.3 Dedektör Tasarımı

Zemax'ta dedektör tasarımı; programdan alınacak çıktıya bağlı olarak iki veya 3 boyutta yapılabilir. Programda ;

- |                  |                      |                        |
|------------------|----------------------|------------------------|
| *Detector Color  | * Detector Rectangle | * Detector Volume      |
| * Detector Polar | * Detector Surface   | * Object as a detector |

seçenekleriyle verilen dedektör türlerinden en yaygın kullanılanı dedector rectangle tasarımında gereken parametreler;

**X and Y Half Width:** Dedektörün x-y eksenlerindeki boyutları

**# X and #Y Pixels :** Dedektörün x ve y eksenleri boyunca kaç farklı hücreden oluşacağını tanımlar. 5000 bölme her bir eksen için üst limittir.

**Data Type :** Kaynaktan gelen ve dedektöre çarpan ışınlar için ölçülecek, sayılabilir büyüklüğün tanımlandığı sekmedir. Tutarlı ışınım hesaplamasında 0 seçilirken; tutarlı ışınım hesaplamasında 1, radyasyon şiddeti için 3 seçilmelidir. Tutarlı ve

tutarsız ışınım hesaplamasında yakın hücelere düşen anlık ışınım miktarının sapmasının normalizasyonu yapılmaktadır. Pixel sayısının düşük olduğu analizler için tutarsız ışınım hesaplaması önerilmektedir.



#### 4. MATEMATİKSEL MODEL

Boşaltılmış tüplü Güneş Enerji Sistemlerinin genel görünümü Şekil 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4.1 Boşaltılmış Tüplü Kolektör Sisteminin Parçaları

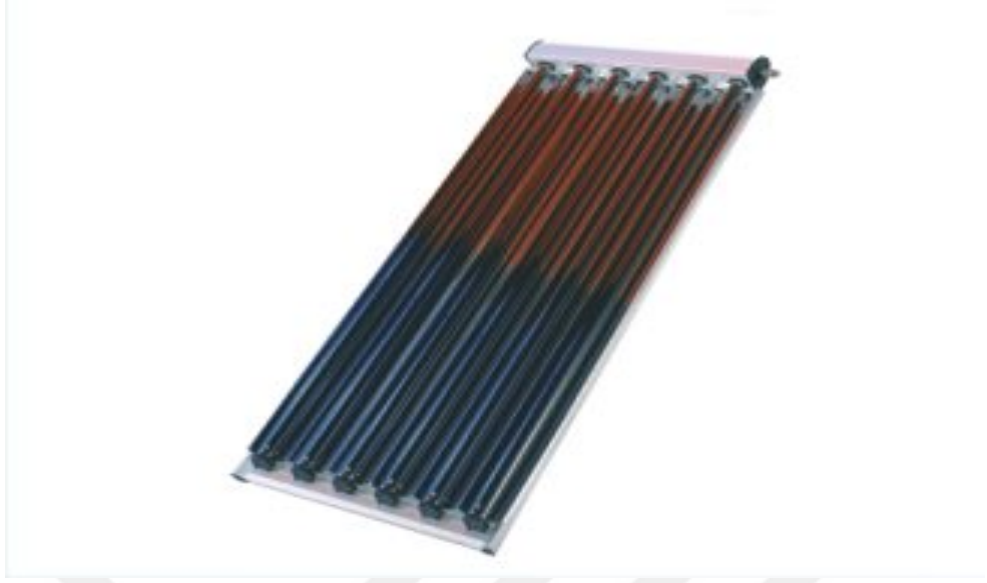
Bu sistemlerin verimlerinin, sistem elemanlarının herbirinin ısı ve optik verimlerine bağlı olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada sistem elemanlarından; dış cam, yutucu yüzey ve yansıtıcı yüzeylerin şekillerinin ve birbirlerine göre konumlarının sistemin optik verimine olan katkısı incelenmiş ve farklı yansıtıcı, yutucu yüzey ve dış cam geometrilerinin kombinasyonları için en iyi (optik verimin en yüksek olduğu) geliş açısı belirlenmiştir.

Bilindiği üzere; Güneş Enerji Sistemlerinde verimi arttırmak sisteme gelen ışınımı arttırmak ve sistemden olacak ısı kayıplarını minimize etmekle sağlanabilir. Isı kayıplarını minimize etmek üzere tasarlanmış olan boşaltılmış tüplü sistemlerde, sistem verimini arttırmak sisteme gelecek ışınım miktarını arttırmakla mümkündür.

Güneşten gelen ışınımın yutucu yüzeyde toplanması için oluşturulacak modelde; yutucu yüzeye ulaşan ışınımın miktarı yüzeyin güneşe uzaklığı ve güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olduğu Güneş Işınımı hesabı (2. 4) de anlatılmıştır. Güneş ışınlarının geliş açısı saat açısına bağlı olarak gün içerisinde değişen bir büyüklük olarak tanımlanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan boşaltılmış tüplerde, güneş ışınımı, dış cam ve yansıtıcı yüzeyde kırınım ve yansıma işlemlerine maruz kalarak geliş açısında değişime uğrarlar. Bu değişkenlik problemin analitik çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu problemin çözümü olarak çalışmada Zemax optik analiz programı kullanılmış ve geliş açısı boşaltılmış tüp sistemine paralel olarak tasarlanmış ışık kaynağının çıkış açısı olarak alınmıştır.

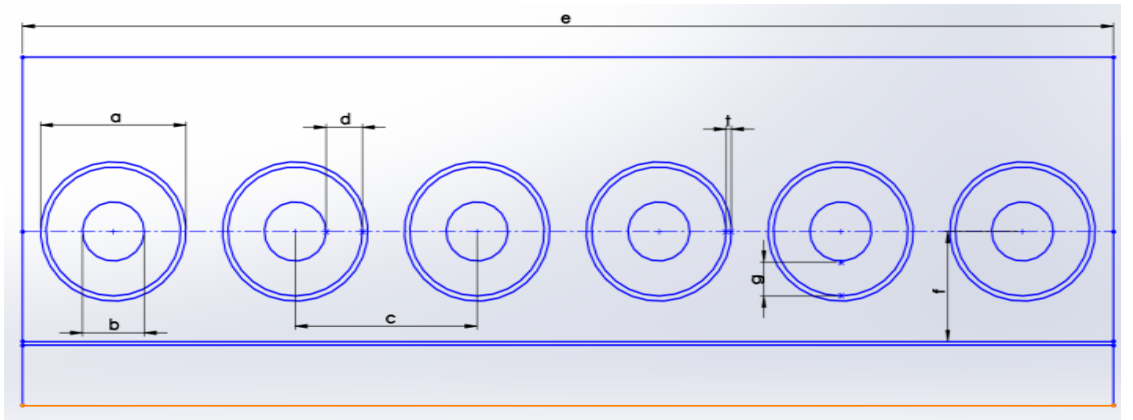
Çalışmada; Şekil 4.2 deki LINUO RITTER firmasının CPC 1506 numaralı 6 tüplü ürünü esas alınmış olup; dört ve fazla tüplü sistemlerde benzer bir analizle doğru sonuçlar alınabileceği bilinmektedir .



**Şekil 4.2** CPC 1506 Model Boşaltılmış Tüplü Kolektör Sistemi

Bu bölümün ilk paragrafında sözü edildiği gibi, çalışılan modelde, optik verimi değiştirecek parametrelerden; dış cam, yutucu yüzey ve yansıtıcı şekilleri ve bu sistem elemanlarının birbirine göre konumlarının verim üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 4.3 de önden görünüşü verilen modeldeki değişkenler ve değişim aralıkları Tablo 4.1 deki gibidir.



**Şekil 4.3** Kolektör Sisteminin Önden Görünümü

<b>Simge</b>	<b>Tanım</b>	<b>Değer</b>
a	Dış cam dış çapı	40 mm
b	Yutucu plaka çapı	17 mm
t	Dış cam et kalınlığı	3 mm
g	Yutucu plaka ile dış cam arasındaki mesafe	Değişken
f	Yansıtıcı yüzey konumu	Değişken

**Çizelge 4.1** Kolektör Sisteminin Değişkenleri

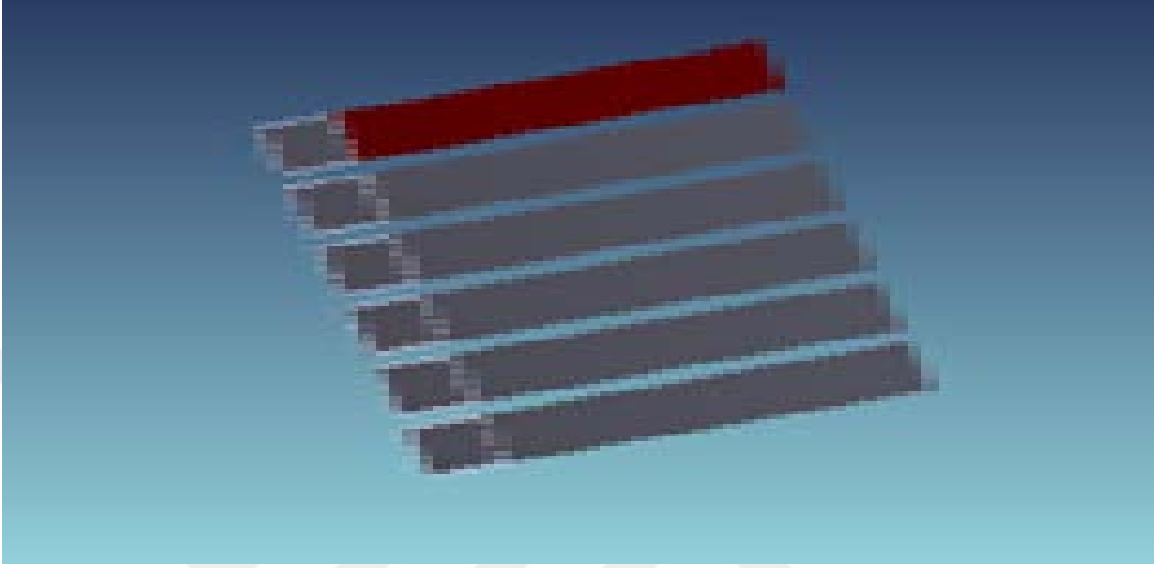
Bu çalışmada dış cam şekli olarak kare kesitli ve silindirik boru şekilleri kullanılmıştır. Bu borulara ait özellikler ve Zemax tasarımları aşağıda anlatılmıştır.

#### **4.1 Kare Kesitli Dış Cam Tüp Modellenmesi**

40 x 40 x 1400 – 37 x 37 x 1400 mm ebatlarındaki 6 adet tüpten oluşan kolektör sisteminde dış cam malzemesi F-Silica' dır. Bu cam  $n= 1.46$  kırıcılık indisine sahip Bor – silis karışımı bir camdır. Camlar arası mesafe sabit ve 20 mm olarak tasarlanmıştır.

Bu geometri Zemax'ta oluşturulurken; iki farklı ebatla Rectangular Volume tanımlanmış ve Combine Object ile iki nesnenin farkı yeni bir nesne olarak elde edilmiştir. Oluşturulan tüpten Replicate Object ile z ekseninde, aralarında 20 mm olacak şekilde 6 tüp oluşturulmuş ve Combine Objects ile 6 tüpün birleştirilmesiyle bir kolektör dış cam serisi elde edilmiştir.

Kare kesitli dış cam serisinin Zemax görseli Şekil 4.4 de verilmiştir.



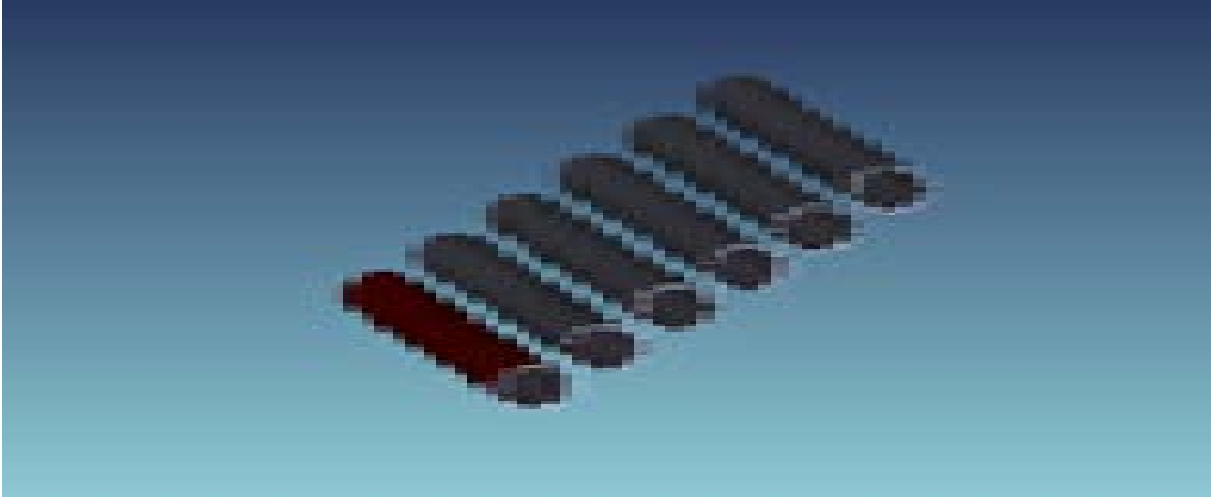
Şekil 4.4 Kare Kesitli Dış Cam Tüp Serisinin ZEMAX Görseli

#### 4.2 Silindirik Dış Cam Tüp Modellenmesi

40 x 1400 – 37 x 1400 mm ebatlarındaki 6 adet tüpten oluşan kolektör sisteminde dış cam malzemesi F-Silica' dır. Bu cam  $n = 1,46$  kırıcılık indisine sahip Bor – silis karışımı bir camdır. Camlar arası mesafe sabit ve 20 mm olarak tasarlanmıştır.

Bu geometri Zemax'ta oluşturulurken; iki farklı ebatla Cylinder Volume tanımlanmış ve Combine Object ile iki nesnenin farkı yeni bir nesne olarak elde edilmiştir. Oluşturulan tüpten Replicate Object ile z ekseninde, aralarında 20 mm olacak şekilde 6 tüp oluşturulmuş ve Combine Objects ile 6 tüpün birleştirilmesiyle bir kolektör dış cam serisi elde edilmiştir.

Silindirik dış cam serisinin Zemax görseli Şekil 4.5 de verilmiştir.



**Şekil 4.5** Silindirik Dış Cam Tüp Serisinin ZEMAX Görseli

### **4.3 Karekesitli Dedektör Modellenmesi**

17 x 17 x 1400 – 15 x 15 x 1400 mm ebatlarındaki 6 adet borudan oluşan akışkanın geçtiği kare kesitli boru serisinde, yutucu plaka yüzeyi malzemesi olarak, yutuculuğu yüksek ve ısı iletim katsayısı yüksek olan bakır ve krom uygulamaları görülmektedir. Bu çalışmada siyah boya ile kaplanmış bakır bir plaka yüzeyi kullanılmıştır.

Bu geometri Zemax'ta oluşturulurken; iki farklı ebatla Rectangular Volume tanımlanmış ve Combine Object ile iki nesnenin farkı yeni bir nesne olarak elde edilmiştir. Referans dedektör olarak oluşturulan bu geometri için Object as a Dedector seçeneği kullanılması gerekir (aksi takdirde program geometriyi tanımlayamamaktadır). Oluşturulan tüpten Replicate Object ile z ekseninde, aralarında 20 mm olacak şekilde 6 tüp oluşturulmuştur.

Dış cam geometri oluşturulurken yapılan, 6 tüpün tek geometri olarak tanımlanması işlemi dedektörler için yapılmamıştır. Dedektör yüzeylere çarpan ışınların etkileri her bir dedektör için ayrı ayrı hesaplandıktan sonra, Merit fonksiyonunda her bir dedektör için NSDD komutunun çalıştırılmasının ardından OSUM komutuyla bütün dedektörlerdeki ışınım miktarları toplatılmıştır.

Dedektör geometrisindeki et kalınlığı veya bakır borunun cidarı optik analiz aşamasında herhangi bir etkinliğe sahip değilken, ısı analizlerde bu değerin ısı geçişini ve enerji toplama verimini değiştirdiği bilinmektedir.

Kare kesitli yutucu yüzey geometrisi ticari uygulamalarda kullanılmayan bir model olmasına rağmen özellikle Fotovoltaik hücre konumlandırmaları için kullanılabilceğinden bu çalışmada bu modele yer verilmiştir.

Oluşturulan karekesitli yutucu yüzey geometrisinin silindirik ve kare kesitli dış cam ile birlikte önden görünüşü Şekil 4.6' da verilmiştir.



**Şekil 4.6** Kare Kesitli Yutucu Yüzeyin Kare Kesitli ve Silindirik Dış Cam Tüp Serisiyle ZEMAX Görşeli

Oluşturulan modelde yutucu yüzeyin dış cam tüp serisine göre konumunun toplanan ışınım etkisinin incelenmesi aşamasında, dış cam tüp serisinin konumlandırması z yönünde değişken seçilip, programın Analiz kısmında değişken değeri geometriye uygun olarak -19 mm den 19 mm ye seçilmiştir. 20 mm iç boşluğa sahip tüp sisteminde yutucu yüzey konumu incelenirken bu değişim  $\pm 20$  mm aralıklarında olmaktadır 20 mm uç değerlerinde iki yüzeyin kesişimi söz konusu olacağından program söz konusu konumda hangi yüzeyin işleme gireceği konusunda hata vermektedir. Konum  $\pm 19$  mm

aralıklarında değiştirirken 5 ayrı konum kullanılmıştır. Bu değer yutucu yüzeyin dış cam tüp serisinin merkezinden simetrik uzaklıklar için sonuç alınmasını sağlamıştır.

#### 4.4 Silindirik Dedektör Modellenmesi

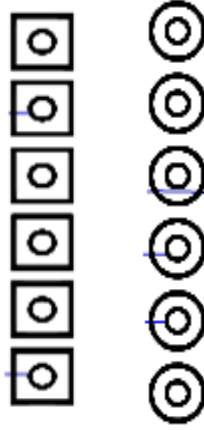
17 x 1400 – 15 x 1400 mm ebatlarındaki 6 adet silindirik borudan oluşan akışkanın geçtiği kolektör sistemi parçasında, yutucu plaka malzemesi olarak yutuculuğu yüksek ve ısı iletim katsayısı yüksek olan bakır ve krom uygulamaları görölmektedir. Bu çalışmada da siyah kaplanmış bakır bir yüzey kullanılmıştır.

Bu geometri Zemax'ta oluşturulurken; iki farklı ebatta Cylinder Volume tanımlanmış ve Combine Object ile iki nesnenin farkı yeni bir nesne olarak elde edilmiştir. Referans dedektör olarak oluşturulan bu geometri için Object as a Dedector seçeneği kullanılmalı (aksi takdirde program geometriyi tanımlayamamaktadır). Oluşturulan tüpten Replicate Object ile z ekseninde, aralarında 20 mm olacak şekilde 6 tüp oluşturulmuştur.

Dış cam geometri oluşturulurken yapılan, 6 tüpün tek geometri olarak tanımlanması işlemi dedektörler için yapılmamıştır. Dedektör yüzeylere çarpan ışınların etkileri herbir dedektör için ayrı ayrı hesaplandıktan sonra, Merit fonksiyonunda herbir dedektör için NSDD komutu çalıştırılmalı ardından OSUM komutuyla bütün dedektörlerdeki ışınım miktarları toplatılmıştır.

Dedektör geometrisindeki et kalınlığı optik analiz aşamasında herhangi bir etkinliğe sahip olmadığı gibi ısı analizlerde bu değerin ısı geçişini ve enerji toplama verimini değiştirdiği bilinmektedir.

Oluşturulan kare kesitli yutucu yüzey geometrisinin silindirik ve kare kesitli dış cam ile birlikte önden görünüşü Şekil 4.7' de verilmiştir.



**Şekil 4.7.** Silindirik Yutucu Yüzeyin Kare Kesitli Ve Silindirik Dış Cam Tüp Serisiyle ZEMAX Görseli

Oluşturulan modelde yutucu yüzeyin dış cam tüp serisine göre konumunun toplanan ışınımına etkisinin incelenmesi aşamasında, dış cam tüp serisinin konumlandırması z yönünde değişken seçilip, programın Analiz kısmında değişken değeri geometriye uygun olarak -19 mm den 19 mm ye seçilmiştir. 20 mm iç boşluğa sahip tüp sisteminde yutucu yüzey konumu incelenirken bu değişim  $\pm 20$  mm aralıklarında olmaktadır 20 mm uç değerlerinde iki yüzeyin kesişimi söz konusu olacağından program söz konusu konumda hangi yüzeyin işleme gireceği konusunda hata vermektedir. Konumu  $\pm 19$  mm aralıklarında değiştirirken değişim sayısı 5 olarak seçilmiştir. Bu değer yutucu yüzeyin dış cam tüp serisinin merkezinden simetrik uzaklıklar için sonuç alınmasını sağlamıştır.

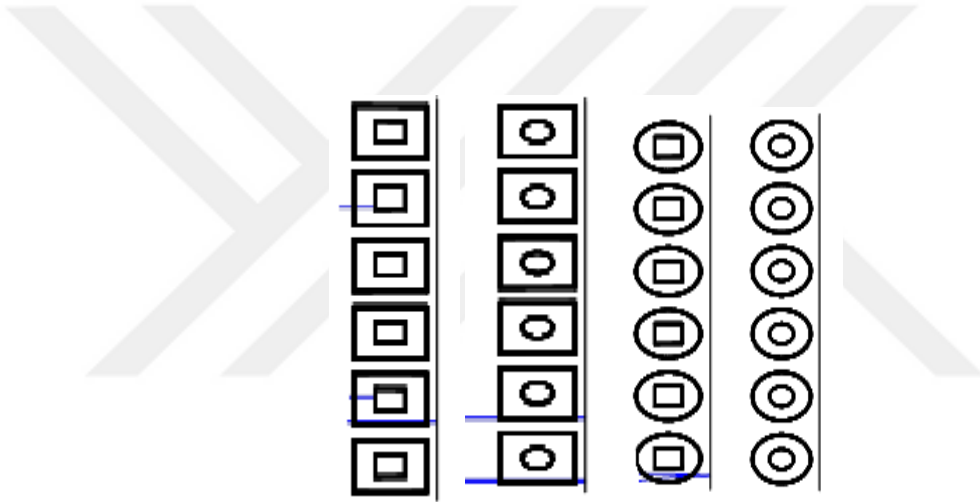
#### **4.5. Düzlemsel Yansıtıcı Yüzey Modellenmesi**

Bu çalışmada kullanılan yansıtıcı yüzeyler, yansıtıcılık değerleri  $r = 1$  olarak program tarafından kabul edilen mükemmel yansıtıcı aynalarla yapılmıştır. Bu seçimle sistemde olası yansıtıcı yüzey varlığıyla elde edilebilecek maksimum fayda belirlenmeye çalışılmıştır.

Tüm yansıtıcı etkinliği hesaplamalarında kolektör sisteminin diğer parçaları ( iç ve dış boru) eş merkezli olarak konumlandırılmışlardır.

Dikdörtgensel olarak tasarlanan yansıtıcının ebatları tüm kolektör sistemi arka yüzeyini kapsayacak şekilde 360 x 1400 mm olarak alınmıştır. Yansıtıcı yüzeyin yutucu yüzeye göre olan konumu değiştirilerek her bir geometride yansıtıcı konumunun toplanan ışınımına olan etkisi belirlenmiştir. Yansıtıcı için  $f= 41- 130$  mm aralığında 5 ayrı değerde analizler yapıp bu amaca ulaşılmıştır.

Düzlem yansıtıcının 4 farklı yutucu plaka ve dış cam tüp serisiyle görünümü Şekil 4.8 de verilmiştir.



**Şekil 4.8.** Düzlemsel Yansıtıcının kullanıldığı modellerin ZEMAX görseli

#### **4.6. Yarı Silindirik Yansıtıcı Yüzey Modellenmesi**

Mükemmel yansıtıcı ( $r=1$ ) olan yüzeyin geometrisinin toplanan ışınımına etkisini bulabilmek üzere tasarlanan yüzeyin oluşturulması için 50 x50 x1400 mm boyutlarındaki Rectangular Volume'den 50 x1400 mm boyutlarındaki Cylinder Volume çıkarılarak arada kalan yüzey için Material kısmında Mirror seçilmiştir. Oluşturulan bu

geometri her bir tüpün arkasına yerleştirilecek şekilde Replicate Object ile merkezleri aralarında 50 mm olacak şekilde 6 adetlik bir seri haline getirilip bu 6 yüzey Combine Objects ile tek geometriye dönüştürülmüştür.

Yansıtıcı yüzeyin yutucu yüzeye merkezendirilmiş dış cama göre konumunun; kare dış cam boru serisi ile kullanıldığında  $f = 61 - 130$  mm aralığındaki 5 değer için ,silindirik dış cam serisi için düzlem yansıtıcı konumlarında olduğu gibi  $f = 41 - 130$  mm aralığındaki 5 değer için analizler yapılmıştır.



## 5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

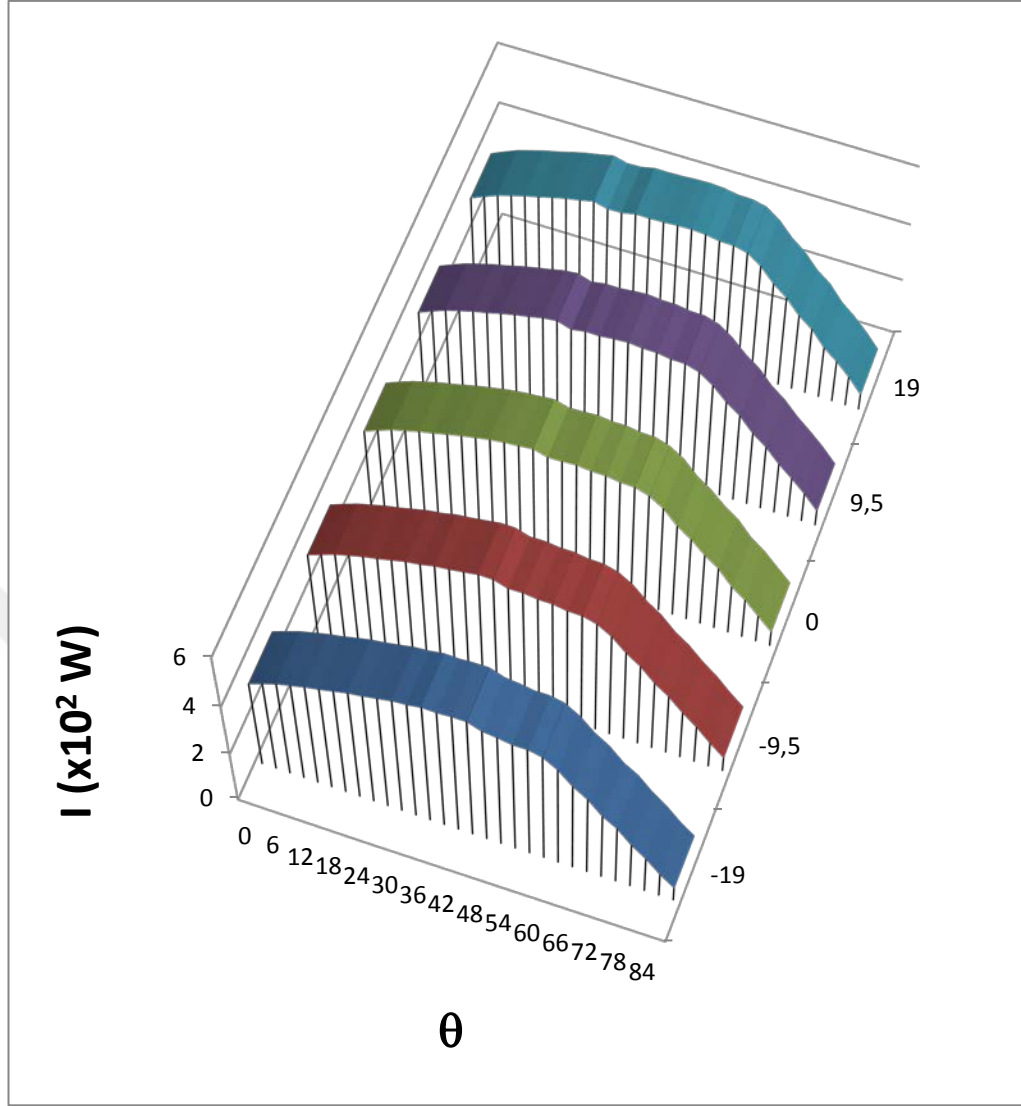
Bu kısımda, çalışmada kullanılan 4 ayrı yansıtıcı yüzey - dış cam tüp geometrisi kombinasyonları için yansıtıcısız, düzlem yansıtıcılı ve yarı silindirik yansıtıcılı hal için bulunan ışınım değerleri ve bu değerlerin değişim aralıkları verilmiştir. Bu bölümde verilen sonuçların tartışılması ve bu sonuçlar ışığında boşaltılmış tüplü güneş enerji sistemlerinin geometrik uyumluluğu hakkındaki öneriler Bölüm 6' da verilmiştir.

### 5.1. Kare Kesitli Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey ( KK ) Kombinasyonunda Toplanan Işınım

Çalışmada kare kesitli dış cam – kare kesitli yutucu yüzey kombinasyonu ( KK ) ; yansıtıcısız ( KKY ) , düzlem yansıtıcılı ( KKD ) ve yarı silindirik yansıtıcılı ( KKS ) hallerde topladığı ışınım değerleri;

#### 5.1.1 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Yansıtıcısız ( KKY ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; kare kesitli dış cam boru – kare kesitli yutucu yüzey - yansıtıcısız ( KKY ) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkezine göre konumunun ,  $\pm 19$  mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık ışınım değerleri Grafik 5.1' de verilmiştir.



Şekil 5.1. KKY ' de Yutucu Yüzey Konumunun Işınmaya Etkisi

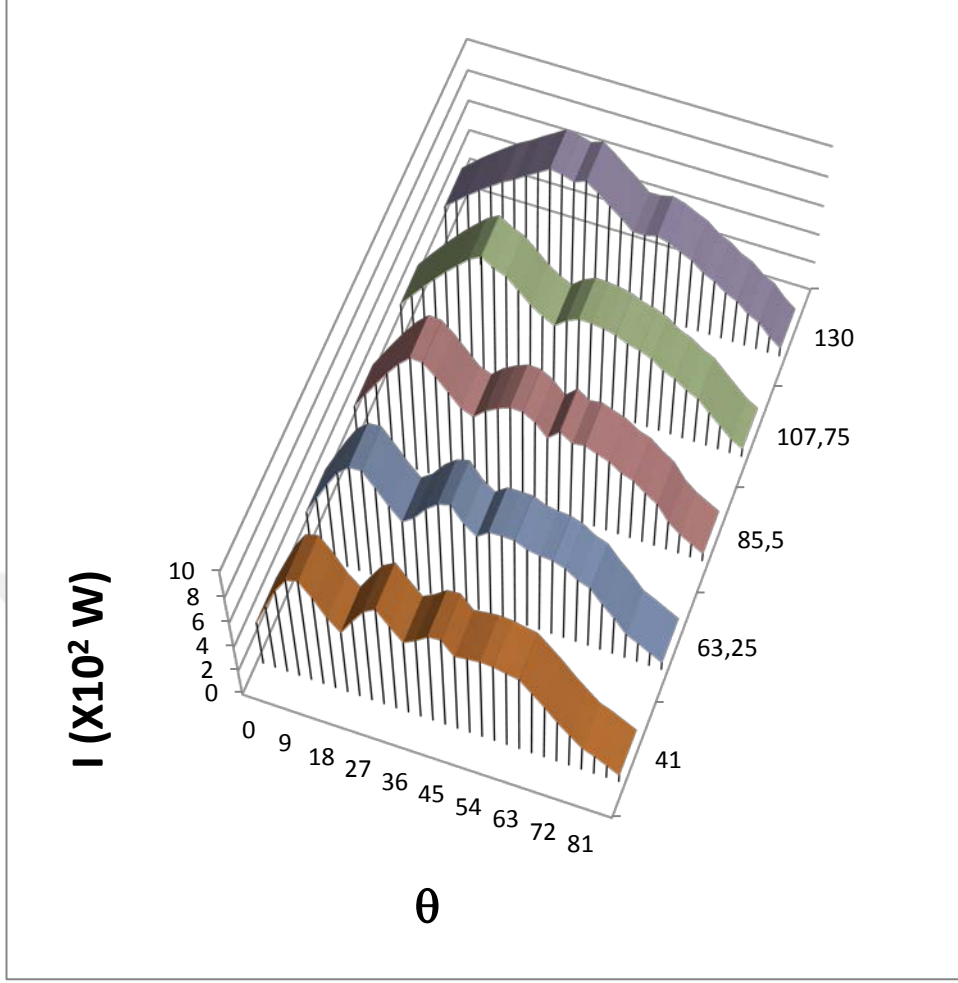
- Yutucu yüzey merkezinin kare dış cam boru merkezine çakışık olduğu 0 konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışınım miktarı 469.65 W olarak bulunmuş ve bu değerin 45 ° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.
- Yutucu yüzey merkezinin dış cam borunun arka yüzeyine en yakın olduğu - 19 mm konumunda toplanan ortalama ışınımın maksimum olduğu belirlenmiş,

380.311 W olan bu değerin yutucu yüzey merkezi ile dış cam boru merkezinin çakışık olduğu durumdaki 377.515 W değerinden yaklaşık % 0.75 daha büyük olduğu ve yine; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru arka yüzeyine en uzak olduğu 19 mm konumunda elde edilen 375.771 W değerinden yaklaşık % 1.2 daha büyük olduğu belirlenmiştir.

- Optimum geliş açısının yutucu yüzeyin her konumu için 45 – 48 ° aralığında olduğu grlmştir.

### **5.1.2 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Düzlem Yansıtıcı ( KKD ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım**

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; kare kesitli dış cam boru – kare kesitli yutucu yüzey - düzlem yansıtıcı ( KKD ) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkeziyle çakışık olduğu durumda düzlem yansıtıcının dış cam boru serisine göre konumunun 41- 130 mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık işınım değerleri Grafik 5.2' de verilmiştir.



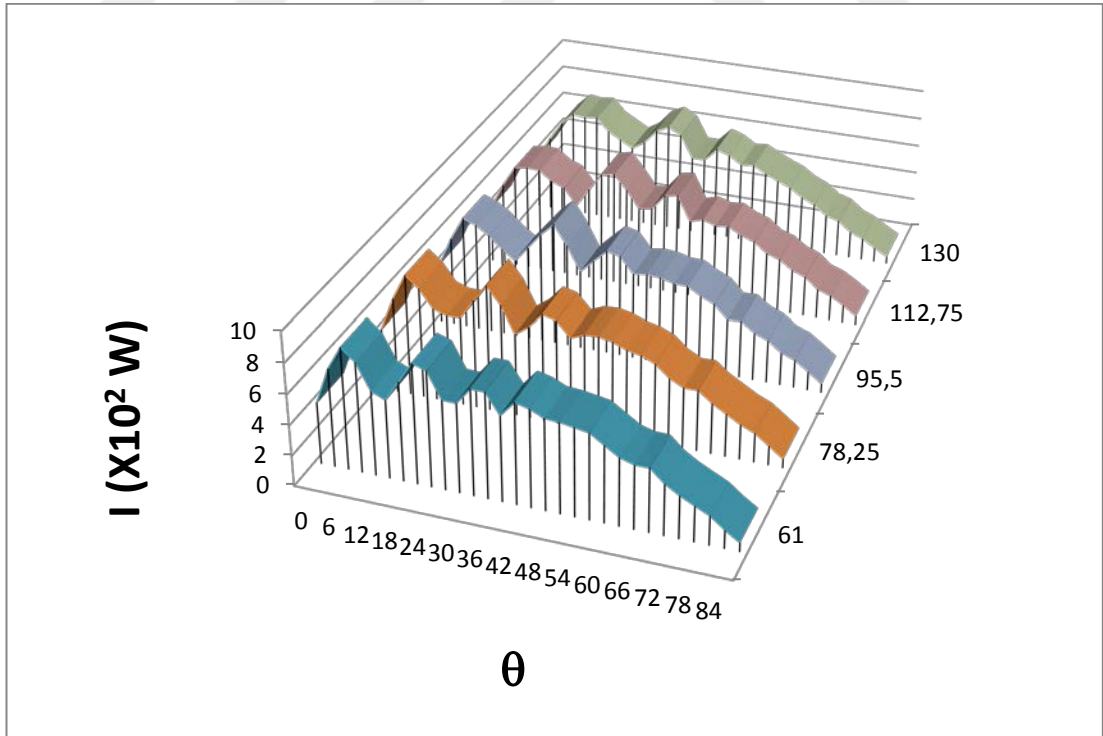
**Şekil 5.2.** KKD ‘ de Yansıtıcı Konumunun Işınım Etkisi

- Yansıtıcı yüzeyin kare dış cam boru merkezine en yakın olduğu (neredeyse bitişik ) 41 mm konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışınım miktarı 806.77 W olarak bulunmuş ve bu değerin 12 ° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.
- Yansıtıcı yüzeyin dış cam borunun merkezine en yakın olduğu 41 mm konumunda toplanan ortalama ışınımın maksimum olduğu belirlenmiş, 539.363 W olan bu değerin yansıtıcı yüzey ile dış cam boru merkezinin en uzak olduğu durumdaki (130 mm ) 526.237 W değerinden yaklaşık % 2.5 daha büyük olduğu belirlenmiştir.

- Optimum geliş açısının yansıtıcı yüzeyin her konumu için 15 – 18 ° aralığında olduğu görülmüştür. Özellikle küçük geliş açılarında yansıtıcısız sistemdeki ışın kayıplarından kaynaklanan optimum açının KKD sistemlerine göre çok küçük olduğu belirlenmiştir.

### 5.1.3 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Yarı Silindirik Yansıtıcı ( KKS ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; kare kesitli dış cam boru – kare kesitli yutucu yüzey - yarı silindirik yansıtıcılı ( KKS ) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkeziyle çakışık olduğu durumda yarı silindirik yansıtıcının dış cam boru serisine göre konumunun 61 - 130 mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık ışınım değerleri Grafik 5.3’ de verilmiştir.



Şekil 5.3 KKS ‘ de Yansıtıcı Konumunun Işınım Etkisi

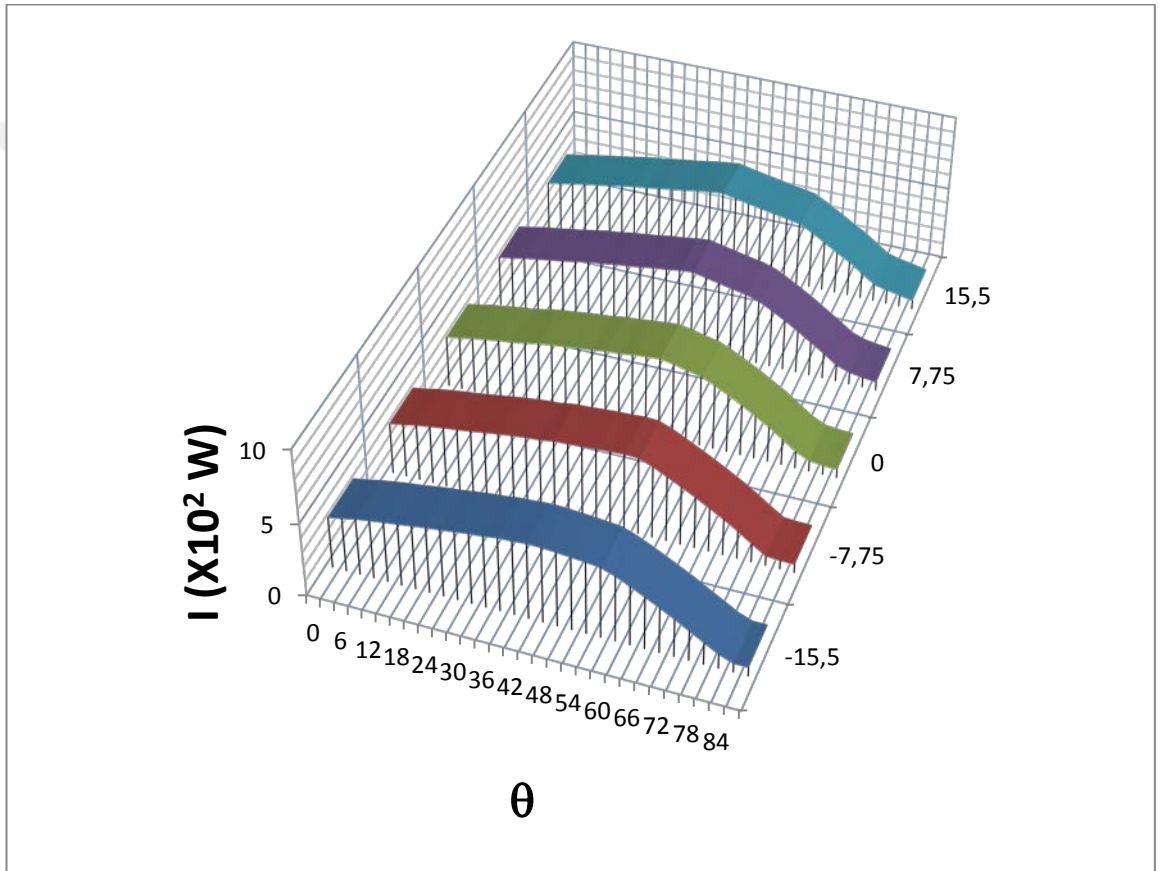
- Yansıtıcı yüzeyin kare dış cam boru merkezine en yakın olduğu (neredeyse bitişik ) 61 mm konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışınım miktarı 800.59 W olarak bulunmuş ve bu değerin 9 ° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.
- Yansıtıcı yüzeyin dış cam borunun merkezine göre 78.25 mm konumunda toplanan ortalama ışınımın maksimum olduğu belirlenmiş, 527.278 W olan bu değerin yansıtıcı yüzey ile dış cam boru merkezinin en uzak olduğu durumdaki (130 mm ) 497.693 W değerinden yaklaşık % 6 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine en yakın olduğu 61 mm konumunda 523 W olan ortalama ışınım değerinin bu geometri için daha uygun yansıtıcı konumunun ortalama ışınım değerinden % 0.8 daha küçük olduğu belirlenmiştir.
- Optimum geliş açısının yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine yakın olduğu durumlar için 9-15 ° aralığında olduğu ve yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine uzak olduğu durumlar için 30-36 ° aralığında olduğu görülmüştür.

## **5.2. Silindirik Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey ( SK ) Kombinasyonunda Toplanan Işınım**

Çalışmada silindirik dış cam – kare kesitli yutucu yüzey kombinasyonu ( SK ) ; yansıtıcısız ( SKY ) , düzlem yansıtıcılı ( SKD ) ve yarı silindirik yansıtıcılı ( SKS ) hallerde topladığı ışınım değerleri ;

### 5.2.1 Silindirik Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Yansıtıcısız ( SKY ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; silindirik dış cam boru – kare kesitli yutucu yüzey - yansıtıcısız ( SKY ) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkezine göre konumunun ,  $\pm 15.5$  mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık ışınım değerleri Grafik 5.4’ de verilmiştir.



Şekil 5.4. SKY ‘ de Yutucu Yüzey Konumunun Işınım Etkisi

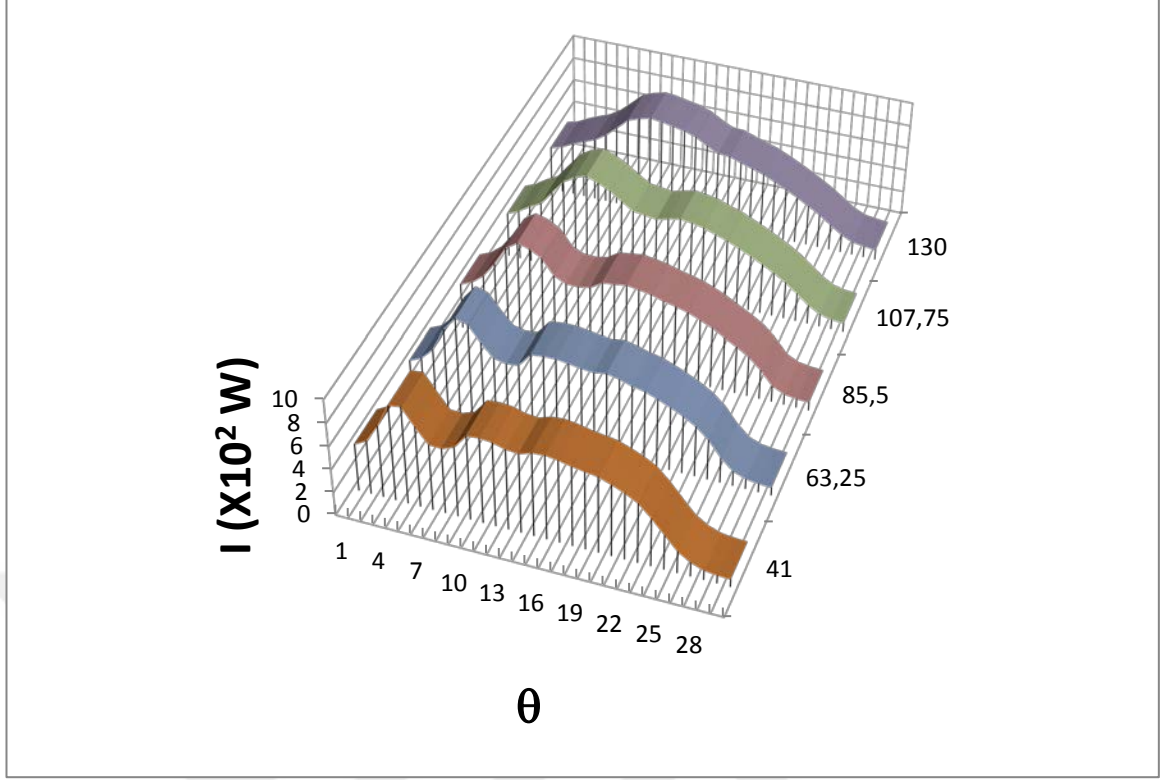
- Yutucu yüzey merkezinin kare dış cam boru merkezine çakışık olduğu 0 konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışınım

miktarı 545,4 W olarak bulunmuş ve bu değerin 51 ° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.

- Yutucu yüzey merkezinin dış cam borunun arka yüzeyine en yakın olduğu – 15.5 mm konumunda toplanan ortalama ışınımın maksimum olduğu belirlenmiş, 387.412 W olan bu değerin yutucu yüzey merkezi ile dış cam boru merkezinin çakışık olduğu durumdaki 384.551 W değerinden yaklaşık % 0.75 daha büyük olduğu ve yine; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru arka yüzeyine en uzak olduğu 15.5 mm konumunda elde edilen 379.252 W değerinden yaklaşık % 2.15 daha büyük olduğu belirlenmiştir.
- Optimum geliş açısının yutucu yüzeyin her konumu için 48 – 51 ° aralığında olduğu görülmüştür.

### **5.2.2 Silindirik Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Düzlem Yansıtıcı ( SKD ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım**

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; silindirik dış cam boru – kare kesitli yutucu yüzey - düzlem yansıtıcılı ( SKD ) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkeziyle çakışık olduğu durumda düzlem yansıtıcının dış cam boru serisine göre konumunun 41- 130 mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık ışınım değerleri Şekil 5.5’ de verilmiştir.



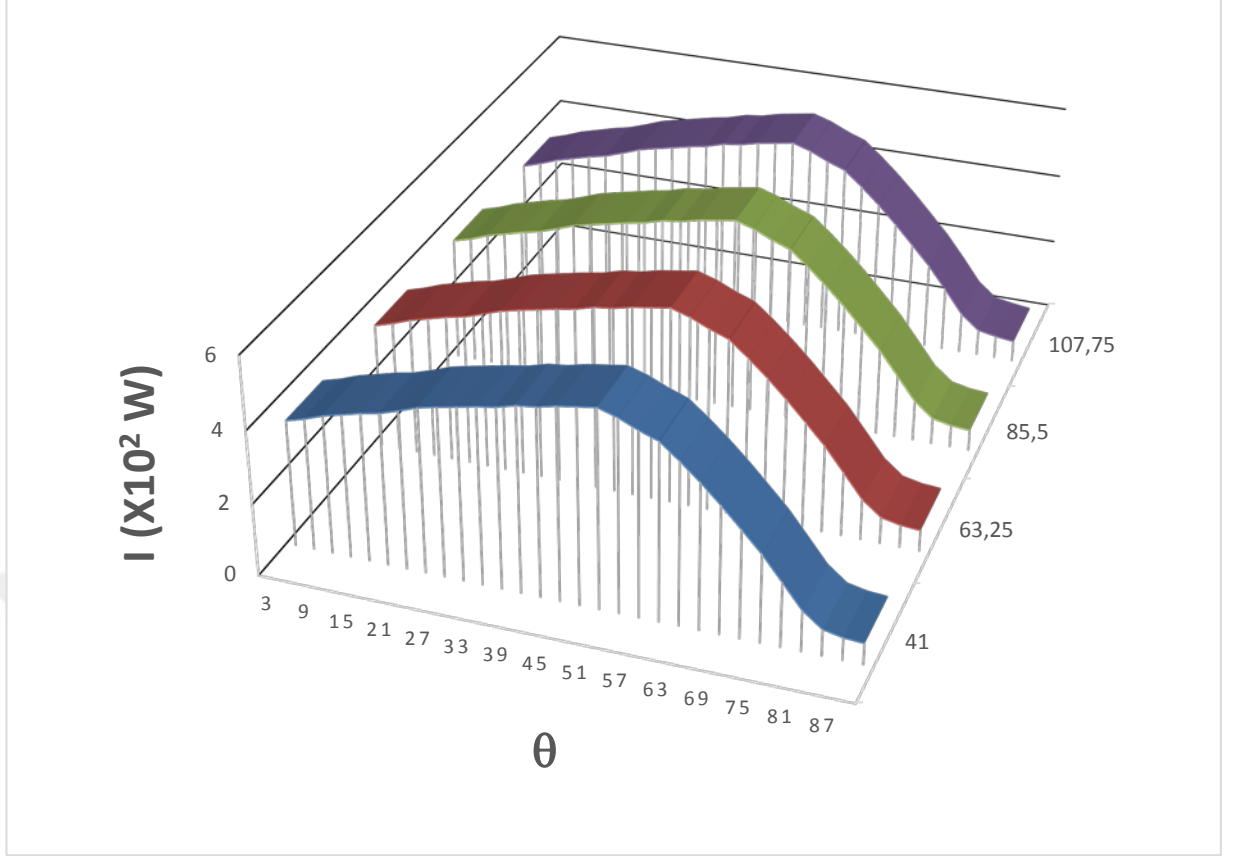
**ŞEKİL 5.5** SKD ‘ de Yansıtıcı Konumunun Işınım Etkisi

- Yansıtıcı yüzeyin kare dış cam boru merkezine en yakın olduğu (neredeyse bitişik ) 41 mm konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışınım miktarı 841.02 W olarak bulunmuş ve bu değerin 15 ° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.
- Yansıtıcı yüzeyin dış cam borunun merkezine en yakın olduğu 41 mm konumunda toplanan ortalama ışınımın maksimum olduğu belirlenmiş, 548.156 W olan bu değerin yansıtıcı yüzey ile dış cam boru merkezinin en uzak olduğu durumdaki (130 mm ) 521.953W değerinden yaklaşık % 5 daha büyük olduğu belirlenmiştir.
- Optimum geliş açısının yansıtıcı yüzeyin her konumu için 15 – 18 ° aralığında olduğu görülmüştür. Özellikle küçük geliş açılarında yansıtıcısız sistemdeki ışın kayıplarından kaynaklanan optimum açının SKD sistemlerine göre çok küçük olduğu belirlenmiştir.

### **5.2.3 Silindirik Dış Cam Boru – Kare kesitli Yutucu Yüzey - Yarı Silindirik Yansıtıcı ( SKS ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım**

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; silindirik dış cam boru – kare kesitli yutucu yüzey - yarı silindirik yansıtıcı ( SKS ) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkeziyle çakışık olduğu durumda yarı silindirik yansıtıcının dış cam boru serisine göre konumunun 41 – 107,75 mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık ışınım değerleri Şekil 5.6’ da verilmiştir.





**Şekil 5.6.** SKS' de Yansıtıcı Konumunun Işınım Etkisi

- Yansıtıcı yüzeyin kare dış cam boru merkezine en yakın olduğu (neredeyse bitişik ) 61 mm konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışınım miktarı 800.59 W olarak bulunmuş ve bu değer 9 ° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.
- Yansıtıcı yüzeyin dış cam borunun merkezine göre 78.25 mm konumunda toplanan ortalama ışınımın maksimum olduğu belirlenmiş, 527.278 W olan bu değer yansıtıcı yüzey ile dış cam boru merkezinin en uzak olduğu durumdaki (130 mm ) 497.693 W değerinden yaklaşık % 6 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine en yakın olduğu 61 mm konumunda 523 W olan ortalama ışınım değerinin bu geometri için daha uygun yansıtıcı konumunun ortalama ışınım değerinden % 0.8 daha küçük olduğu belirlenmiştir.

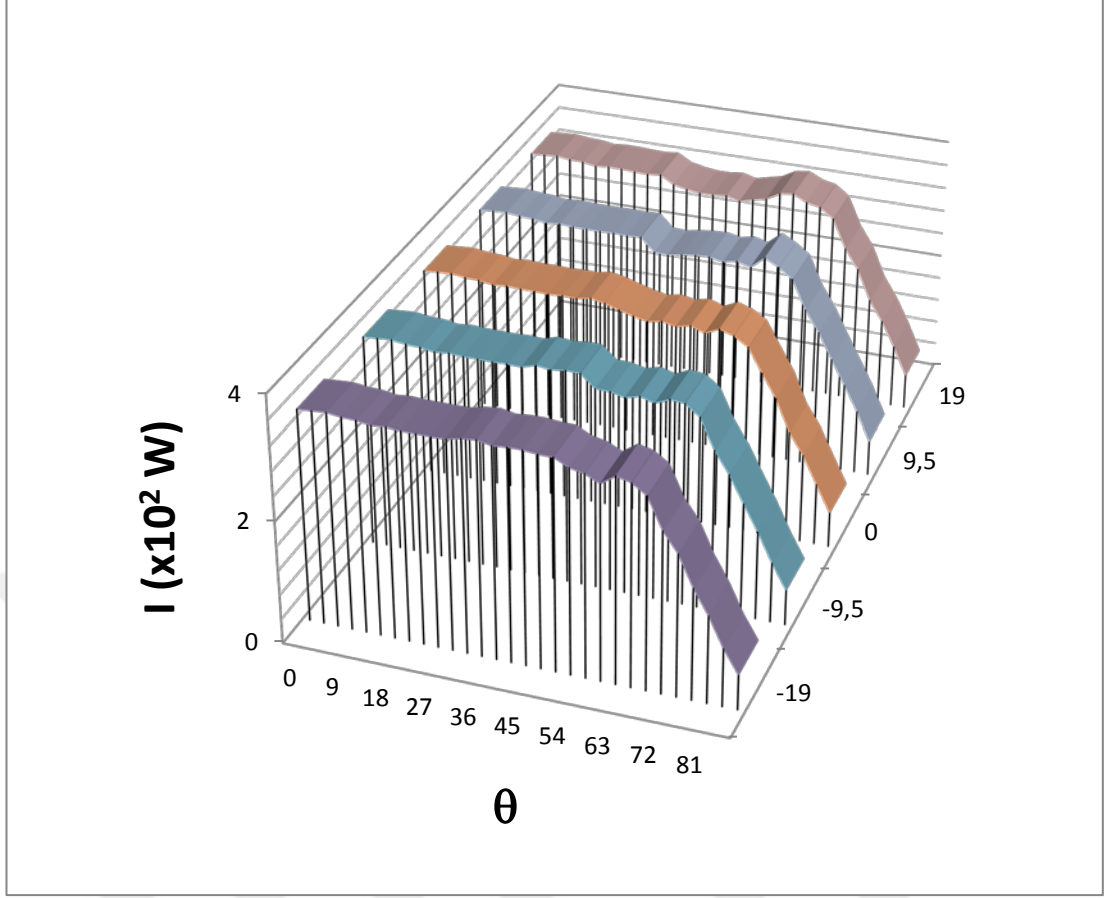
- Optimum geliş açısının yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine yakın olduğu durumlar için 9-15 ° aralığında olduğu ve yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine uzak olduğu durumlar için 30-36 ° aralığında olduğu görülmüştür.

### **5.3. Kare Kesitli Dış Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey ( KS ) Kombinasyonunda Toplanan Işınım**

Çalışmada kare kesitli dış cam – silindirik yutucu yüzey kombinasyonu ( KS ) ; yansıtıcısız ( KSY ) , düzlem yansıtıcılı ( KSD ) ve yarı silindirik yansıtıcılı ( KSS ) hallerde topladığı ışınım değerleri ;

#### **5.3.1 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey - Yansıtıcısız ( KSY ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım**

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; kare kesitli dış cam boru – silindirik yutucu yüzey - yansıtıcısız ( KSY ) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkezine göre konumunun ,  $\pm 19$  mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık ışınım değerleri Şekil 5.7’ de verilmiştir.



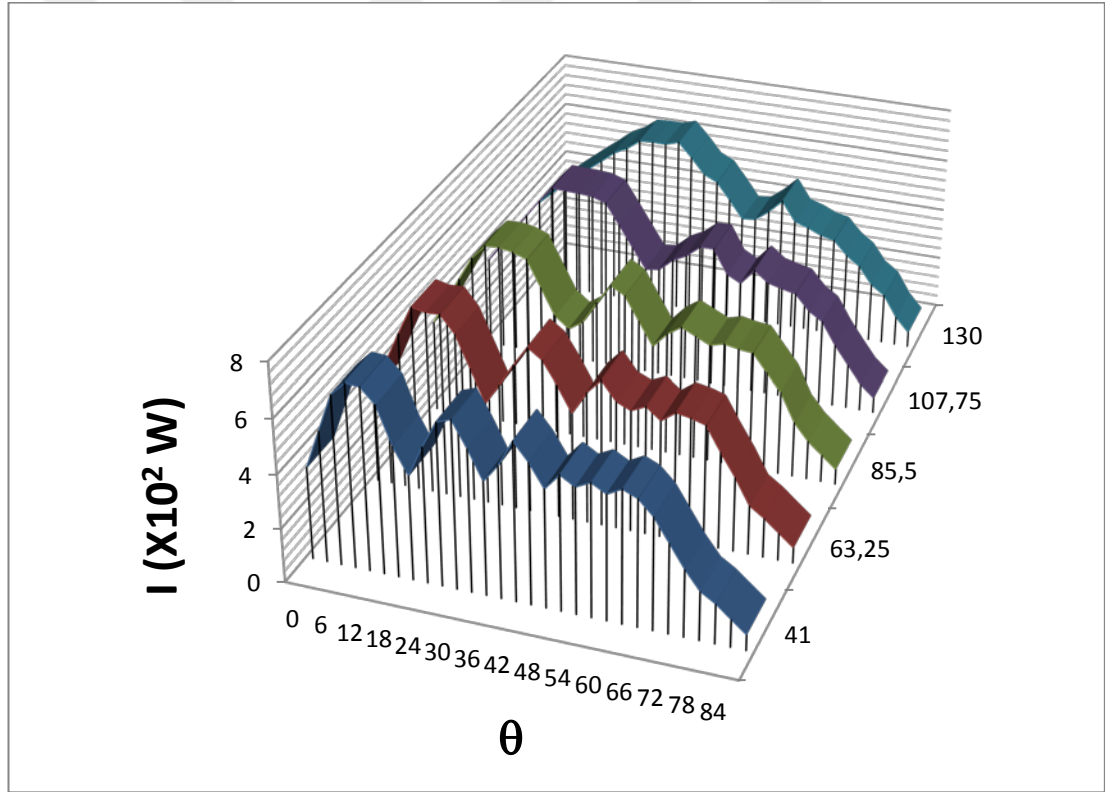
Şekil 5.7 KSY ' de Yutucu Yüzey Konumunun Işınıma Etkisi

- Yutucu yüzey merkezinin kare dış cam boru merkezine çakışık olduğu 0 konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışıınım miktarı 3.44 kW olarak bulunmuş ve bu değerin 42 ° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.
- Yutucu yüzey merkezinin dış cam borunun arka yüzeyine en yakın olduğu - 19 mm konumunda toplanan ortalama ışıınımın maksimum olduğu belirlenmiş, 304 W olan bu değerin yutucu yüzey merkezi ile dış cam boru merkezinin çakışık olduğu durumdaki 301 W değerinden yaklaşık % 1 daha büyük olduğu ve yine; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru arka yüzeyine en uzak olduğu 19 mm konumunda elde edilen 299 W değerinden yaklaşık % 1.7 daha büyük olduğu belirlenmiştir.

- Optimum geliş açısının yutucu yüzeyin her konumu için 42 – 48 ° aralığında olduğu görülmüştür.

### 5.3.2 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Silindirik Yüzey - Düzlem Yansıtıcı ( KSD) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; kare kesitli dış cam boru – silindirik yutucu yüzey - düzlem yansıtıcılı ( KSD ) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkeziyle çakışık olduğu durumda düzlem yansıtıcının dış cam boru serisine göre konumunun 41- 130 mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık ışınım değerleri Şekil 5.8’ de verilmiştir.

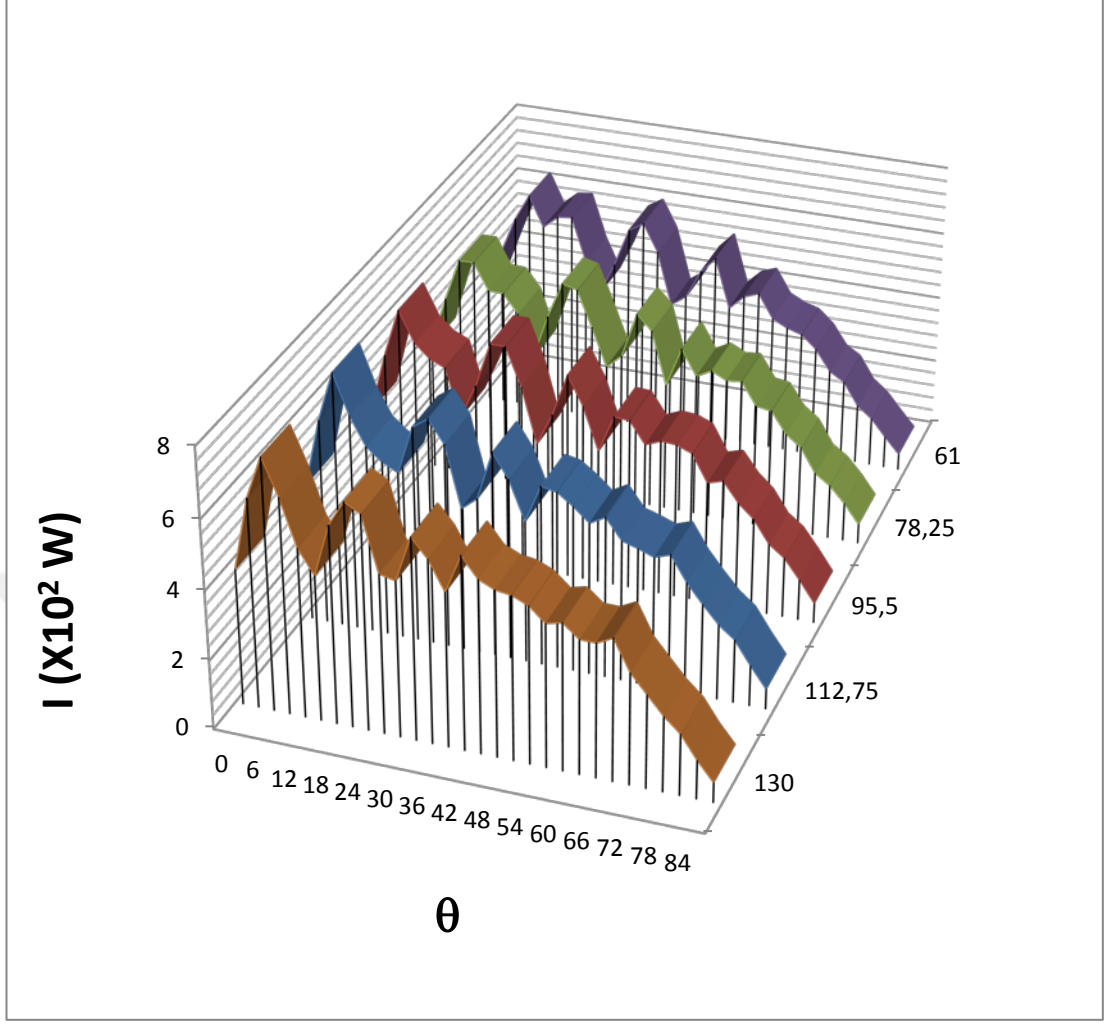


Şekil 5.8 KSD ‘ de Yansıtıcı Konumunun Işınım Etkisi

- Yansıtıcı yüzeyin kare dış cam boru merkezine en yakın olduğu (neredeyse bitişik ) 41 mm konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışınm miktarı 679 W olarak bulunmuş ve bu değerin 12 ° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.
- Yansıtıcı yüzeyin dış cam borunun merkezine en yakın olduğu 41 mm konumunda toplanan ortalama ışınmın maksimum olduğu belirlenmiş, 452 W olan bu değerin yansıtıcı yüzey ile dış cam boru merkezinin en uzak olduğu durumdaki (130 mm ) 447 W değerinden yaklaşık % 1.12 daha büyük olduğu belirlenmiştir.
- Optimum geliş açısının yansıtıcı yüzeyin her konumu için 12 – 15 ° aralığında olduğu görülmüştür. Özellikle küçük geliş açılarında yansıtıcısız sistemdeki ışınm kayıplarından kaynaklanan optimum açının KSD sistemlerine göre çok küçük olduğu belirlenmiştir.

### **5.3.3 Kare Kesitli Dış Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey - Yarı Silindirik Yansıtıcı ( KSS ) Kombinasyonlarında Toplanan ışınm**

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; kare kesitli dış cam boru – silindirik yutucu yüzey - yarı silindirik yansıtıcılı ( KSS ) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkeziyle çakışık olduğu durumda yarı silindirik yansıtıcının dış cam boru serisine göre konumunun 61 - 130 mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık ışınm değerleri Şekil 5.9' de verilmiştir.



Şekil 5.9. KSS ‘ de Yansıtıcı Konumunun Işınıma Etkisi

- Yansıtıcı yüzeyin kare dış cam boru merkezine en yakın olduğu (neredeyse bitişik ) 61 mm konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışınım miktarı 724 W olarak bulunmuş ve bu değer 9° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.
- Yansıtıcı yüzeyin dış cam borunun merkezine göre 78.25 mm konumunda toplanan ortalama ışınımın maksimum olduğu belirlenmiş, 444.15 W olan bu değer yansıtıcı yüzey ile dış cam boru merkezinin en uzak olduğu durumdaki (130 mm ) 427.55 W değerinden yaklaşık % 3.9 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine en yakın olduğu 61 mm

konumunda 439 W olan ortalama ışınım değerinin bu geometri için daha uygun yansıtıcı konumunun ortalama ışınım değerinden % 1.2 daha küçük olduğu belirlenmiştir.

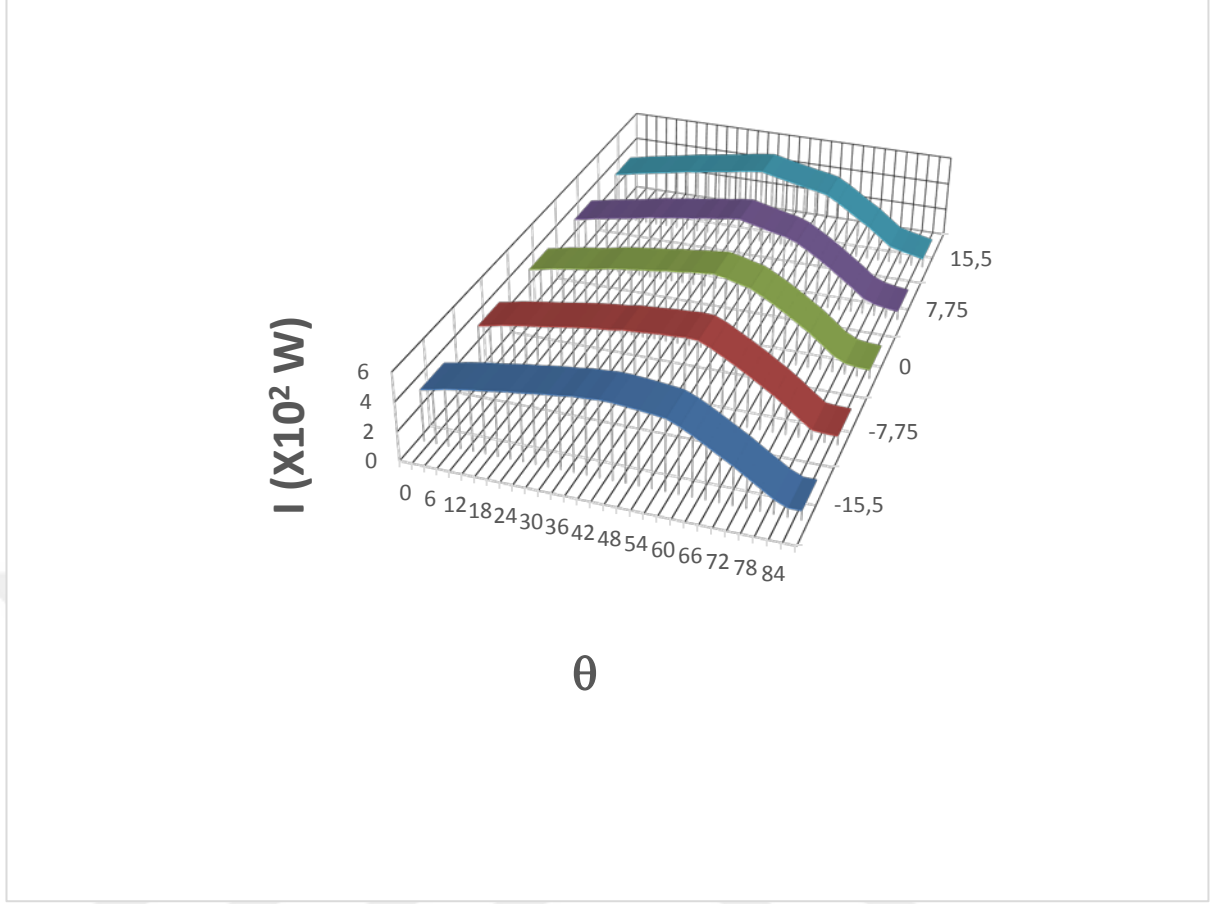
- Optimum geliş açısının yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine yakın olduğu durumlar için 9-15 ° aralığında olduğu ve yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine uzak olduğu durumlar için 30-36 ° aralığında olduğu görülmüştür.

#### **5.4. Silindirik Dış Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey ( SS ) Kombinasyonunda Toplanan Işınım**

Çalışmada silindirik dış cam – silindirik yutucu yüzey kombinasyonu ( SS ); yansıtıcısız ( SSY ), düzlem yansıtıcılı ( SSD ) ve yarı silindirik yansıtıcılı ( SSS ) hallerde topladığı ışınım değerleri ;

##### **5.4.1 Silindirik Dış Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey - Yansıtıcısız ( SSY ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım**

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; silindirik dış cam boru – silindirik yutucu yüzey - yansıtıcısız ( SSY ) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkezine göre konumunun ,  $\pm 19$  mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık ışınım değerleri Grafik 5.10’ da verilmiştir.



**Şekil 5.10.** SSY ‘ de Yutucu Yüzey Konumunun Işınıma Etkisi

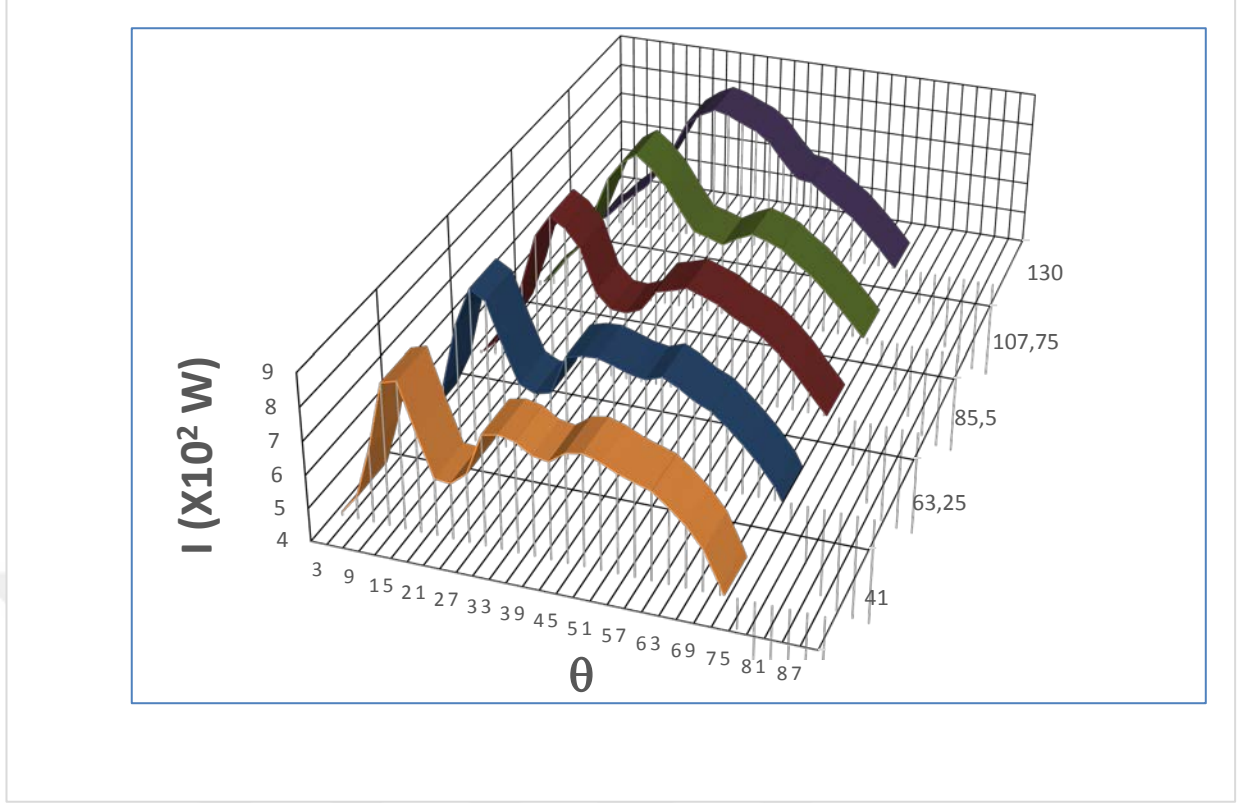
- Yutucu yüzey merkezinin kare dış cam boru merkezine çakışık olduğu 0 konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışıınım miktarı 5.454 kW olarak bulunmuş ve bu değerin 51 ° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.
- Yutucu yüzey merkezinin dış cam borunun arka yüzeyine en yakın olduğu – 15.5 mm konumunda toplanan ortalama ışıınımın maksimum olduğu belirlenmiş, 387.412 W olan bu değerin yutucu yüzey merkezi ile dış cam boru merkezinin çakışık olduğu durumdaki 384.551 W değerinden yaklaşık % 0.75 daha büyük olduğu ve yine; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru arka yüzeyine en uzak

olduğu 15. 5 mm konumunda elde edilen 379.252 W değerinden yaklaşık % 2.15 daha büyük olduğu belirlenmiştir.

- Optimum geliş açısının yutucu yüzeyin her konumu için 48 – 51 ° aralığında olduğu görölmüştür.

#### **5.4.2 Silindirik Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey - Düzlem Yansıtıcı ( SSD ) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım**

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; silindirik dış cam boru – silindirik yutucu yüzey - düzlem yansıtıcı ( SKD ) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkeziyle çakışık olduğu durumda düzlem yansıtıcının dış cam boru serisine göre konumunun 41- 130 mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık işınım değerleri Şekil 5.11’ de verilmiştir.



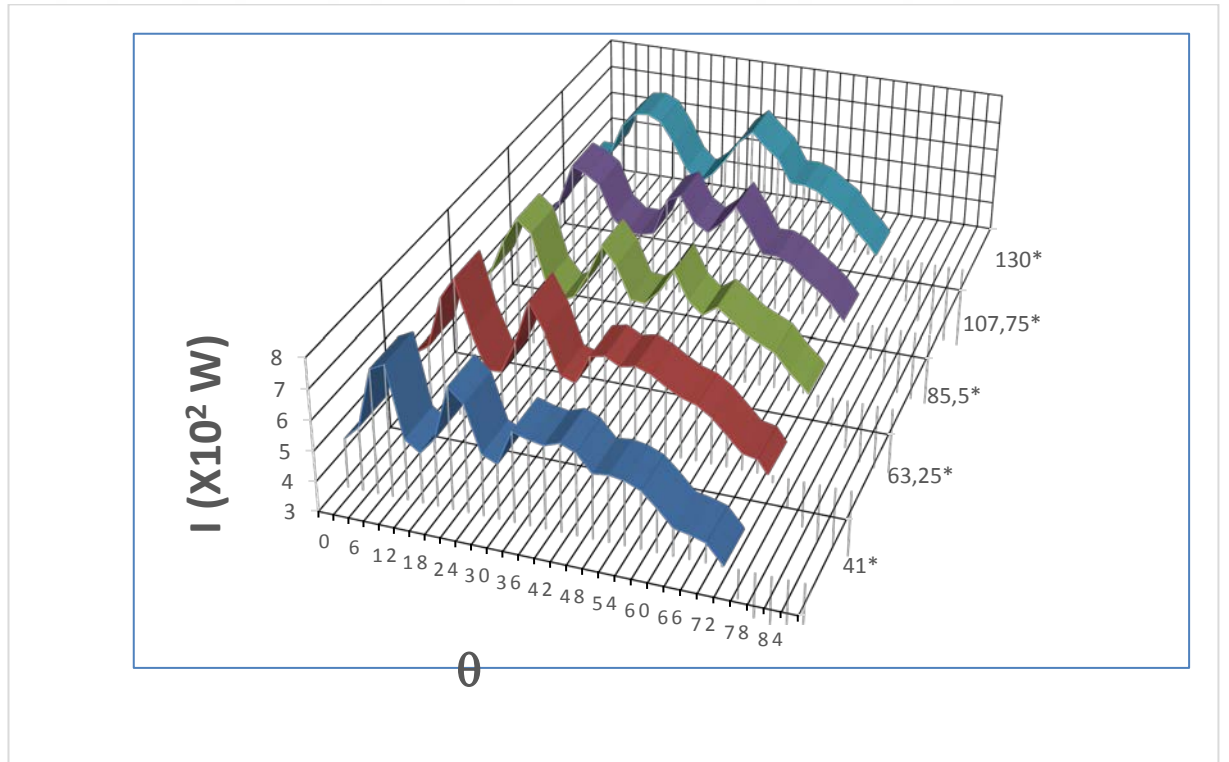
Şekil 5.11. SSD ' de Yansıtıcı Konumunun Işınıma Etkisi

- Yansıtıcı yüzeyin kare dış cam boru merkezine en yakın olduğu (neredeyse bitişik ) 41 mm konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışınım miktarı 841.02 W olarak bulunmuş ve bu değerin 15 ° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.
- Yansıtıcı yüzeyin dış cam borunun merkezine en yakın olduğu 41 mm konumunda toplanan ortalama ışınımın maksimum olduğu belirlenmiş, 548.156 W olan bu değerin yansıtıcı yüzey ile dış cam boru merkezinin en uzak olduğu durumdaki (130 mm ) 521.953W değerinden yaklaşık % 5 daha büyük olduğu belirlenmiştir.
- Optimum geliş açısının yansıtıcı yüzeyin her konumu için 15 – 18 ° aralığında olduğu görülmüştür. Özellikle küçük geliş açılarında yansıtıcısız sistemdeki ışın

kayıplarından kaynaklanan optimum açının SKD sistemlerine göre çok küçük olduğu belirlenmiştir.

#### 5.4.3 Silindirik Dış Cam Boru – Silindirik Yutucu Yüzey - Yarı Silindirik Yansıtıcı (SSS) Kombinasyonlarında Toplanan Işınım

Matematiksel Model kısmında anlatıldığı üzere; silindirik dış cam boru – silindirik yutucu yüzey - yarı silindirik yansıtıcılı (SSS) modelinde; yutucu yüzey merkezinin dış cam boru merkeziyle çakışık olduğu durumda yarı silindirik yansıtıcının dış cam boru serisine göre konumunun 61 - 130 mm aralığında değişimiyle elde edilen anlık ışınım değerleri Şekil 5.12’ de verilmiştir.

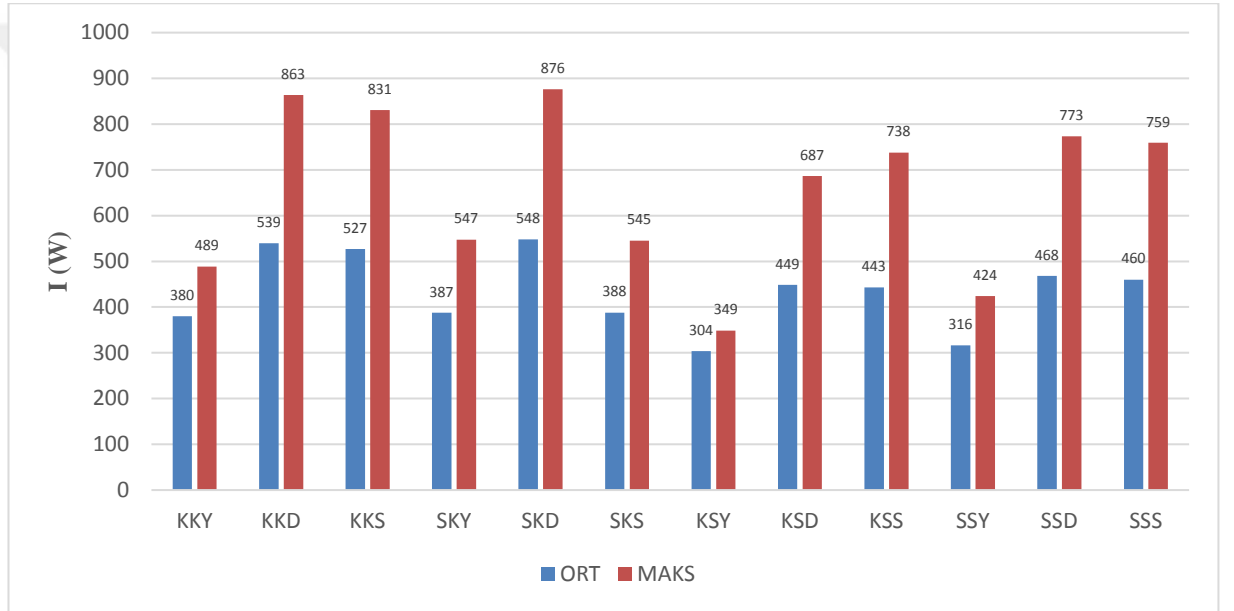


Şekil 5.12. SSS’ de Yansıtıcı Konumunun Işınım Etkisi

- Yansıtıcı yüzeyin kare dış cam boru merkezine en yakın olduğu (neredeyse bitişik ) 61 mm konumunda 6 toplayıcı yüzeyin toplamında toplanabilecek maksimum ışıınım miktarı 800.59 W olarak bulunmuş ve bu değerin 9 ° geliş açısında sağlandığı belirlenmiştir.
- Yansıtıcı yüzeyin dış cam borunun merkezine göre 78.25 mm konumunda toplanan ortalama ışıınımın maksimum olduğu belirlenmiş, 527.278 W olan bu değerin yansıtıcı yüzey ile dış cam boru merkezinin en uzak olduğu durumdaki (130 mm ) 497.693 W değerinden yaklaşık % 6 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine en yakın olduğu 61 mm konumunda 523 W olan ortalama ışıınım değerinin bu geometri için daha uygun yansıtıcı konumunun ortalama ışıınım değerinden % 0.8 daha küçük olduğu belirlenmiştir.
- Optimum geliş açısının yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine yakın olduğu durumlar için 9-15 ° aralığında olduğu ve yansıtıcı yüzeyin dış cam boru merkezine uzak olduğu durumlar için 30-36 ° aralığında olduğu görülmüştür.

## 6. SONUÇLAR

Çalışmada anlık toplanan ışınlam değerleri Zemax programı aracılığıyla hesaplatılan modeller için günlük ortalama ışınlam değerleri ve anlık maksimum ışınlam değerleri Şekil 6.1 de gösterilmiştir. Model isimlerinde kısaltmalar kullanılmış olup; kısaltmalarda K kare kesitli geometri, S silindirik geometri, D düzlem yansıtıcı ve Y yansıtıcısız göstergeleri olarak kullanılmıştır.



**Şekil 6.1.** Kolektör tiplerinde toplanan ortalama ışınlam ve maksimum ışınlam

Yukarıdaki grafik aracılığıyla elde edilecek sonuçlar ;

- Günlük ortalama ışınlam değerinin maksimum olduğu toplayıcı sistemi, SKD olup referans olarak kullandığımız SS modeline göre %73 daha fazla ışınlam toplamasına imkan sağlamaktadır.

- Bir Güneş takip mekanizması kullanılarak Bulgular ve Değerlendirmeleri bölümünde verilen en iyi geliş açısına sahip sistemlerde toplanabilecek ışınımın maksimum olduğu kolektör tipi SKD olup; takip sistemi kullanılmayan SS referans modeline göre % 177.2 daha fazla ışınım toplanmasını sağlayabilmektedir.
- Yansıtıcı şeklinin toplanacak ortalama ve maksimum ışınımında çok etkin olmadığı görülmüştür. Yansıtıcı şeklinin, yoğunlaştırıcı olarak tasarlanan sistemlerde etkin olabileceği öngörülmüştür.
- Silindirik yansıtıcı sistemlerin kare dış borulu sistemlerde, silindirik dış borulu sistemlere göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.
- Kare kesitli yutucu yüzey kullanıldığında toplayıcı alanının % 27.4 arttığı sistemlerin silindirik toplayıcı sistemlerden daha iyi olduğu belirlenmiştir.
- Toplayıcı sistemlerinde dış cam şeklinin % 1 den daha az bir etkinliğinin olduğu belirlenmiştir. Dış cam şeklinin değişmesi çalışmada sonuçları çok etkilememiş olsa da kare kesitli dış camın iç yüzeyinde kaplama işinin çok olası olmaması silindirik dış cam kullanımını gerektirmektedir.
- Sistemde yansıtıcı kullanımının referans SS modelinde toplanacak ortalama ışınımı % 49 a kadar arttırabileceği belirlenmiş olup özellikle düşük sıcaklık uygulamaları için yansıtıcı kullanımının hala gerekli olduğu bulunmuştur.
- Bulgular ve değerlendirmeleri kısmında incelenen kolektör sistemi parçalarının birbirine göre konumlarının, sistemle toplanabilecek ortalama ve maksimum ışınım açısından ikincil öneme sahip olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

[1] Taktakoğlu R., “ Vakumlu güneş kolektörlerinde verimin tespiti ve incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 1996.

[2] He Zinian, Ge Hongchuan, Jiang Fulin, Li Wei, “ A comparison of optical performance between evacuated collector tubes with flat and semicylindric absorbers ” , Solar Energy Journal, Vol : 60, Pages 109- 117, 1997.

[3] Runsheng Tang, , Wenfeng Gao, Yamei Yu, Hua Chen, “ Optimal tilt-angles of all-glass evacuated tube solar collectors ”, Energy Journal, Vol : 34, Pages 1387- 1395, 2009.

[4] Ezen H., “ Vakum tüplü güneş kolektörlerinin teorik ve deneysel incelenmesi ”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, 2010.

[5] Demirpolat E., “ Vakum borulu parabolik oluk tipi güneş toplayıcılarının sıcak su üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması ”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2006.

[6] Yong Kim, Taebeom Seo, “ Thermal performance comparisons of the glaass evacuated tube solar colollectors with shape of absorber tube ”, Renewable Energy Journal, Vol:32, Pages 772- 795, 2007.

[7] Marco Bernardi, Nicola Ferralis, Jin H. Wan, Rachelle Villalonc and Jeffrey C. Grossman, “ Solar energy generation in three dimensions ”, Energy & Environmental Science Journal, Vol:5, Pages 6880- 6884, 2012.

[8] Gang Pei, Guiqiang Li, Xi Zhou, Jie Ji ve Yuehong Su, “ Comparative Experimental Analysis of the Thermal Performance of Evacuated Tube Solar Water Heater Systems With and Without a Mini-Compound Parabolic Concentrating (CPC) Reflector( $C < 1$ ) ”, Energies Journal, Vol:5, Issue: 4, 2012.

[9] Öz, E.S., Özbaş, E, Dündar, R, “ Vakum Tüplü Güneşli Su Isıtma Sistemi İle Standart Düz Kollektörlü Güneşli Su Isıtma Sistemlerinin Performans Ve Verimlerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması”, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 991-999, (2007).

[10] Archie W. Culp, Jr. “ Principles of Energy Conversion ”, McGraw Hill, 1979.

[11] Duffie, John A., and Beckman, William A., "Solar Engineering of Thermal Processes " 3 rd edition, New York: John Wiley and Sons, Inc., 2006.

[12] Abdurrahman Koç, “ Güneş Işınımı ve Düz Toplayıcılar ”, Segem Ders Notları Kısım 1, ANKARA, 1984.

[13] Atagündüz, Gürbüz, Güneş Enerjisi Temelleri Ve Uygulamaları, Ege Üniversitesi Basım Evi, 1- 23.s. İzmir. 1989.

[14] Kılıç, A., Öztürk, A., Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımcılık, 1983.

[15] Taze G. , “ Düz güneş kollektörü verimini etkileyen bazı parametrelerin deneysel incelenmesi” , Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2010.

[16] Iqbal M. ‘An introduction to solar radiation.’ Toronto: Academic Press; 1983.

[17] Kreider, J.,F, "Solar Energy Applications", Chapter 20, University of Colorado Boulder, Colorado, 2006..

[18] Tsoutsos, T., vd., "Environmental Impacts From The Solar Energy Technologies", Energy Policy, 33, 289-296, 2005.

[19] Eugene Hecht. 'Schaum's Outline of Optics'. McGraw-Hill. 1974.

[20] Endre Dobes '**Albedo**' University of Miskolc, Miskolc-Egyetemva'ros, Hungary. 2003.

[21] Douglas C. Giancoli 'Physics with Modern physics'.3th Edition. Pertince Hall, New Jersey, 2000.

[22] The Engineering Toolbox, 'http://www.engineeringtoolbox.com/refractive-index-d\_1264.html'

[23] Zemax tutorial;

'[http://ecee.colorado.edu/~ecen4616/Spring2014/Zemax%20Network%20Key/Getting\\_Started\\_With\\_Zemax\\_version2.1.pdf](http://ecee.colorado.edu/~ecen4616/Spring2014/Zemax%20Network%20Key/Getting_Started_With_Zemax_version2.1.pdf)'.

