T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ TİP SOLAR BİYOREAKTÖR GELİŞTİRİLMESİ

GÜLSÜM KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOMÜHENDİSLİK BÖLÜMÜ
BİYOMÜHENDİSLİK PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF.DR. İBRAHİM IŞILDAK

İSTANBUL, 2015

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ TİP SOLAR BİYOREAKTÖR GELİŞTİRİLMESİ

Gülsüm KILIÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 27.11.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomühendislik Bölümü'nde **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İbrahim Işıldak

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İbrahim IŞILDAK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Didem ÖZÇİMEN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Ünal ŞENEL

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi _____

Bu çalışma, İstanbul Kalkınma Ajansı'nın TR10/14/EVK/0002 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Günümüzde enerji ihtiyacı; nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve ekonomik büyüme gibi nedenlerden dolayı hızla artmaktadır. Güneş enerjisi, artan enerji ihtyacına ve tüketimine cevap verebilecek en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Güneş, 20. Yüzyılın başlarından itibaren doğal bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ortam aydınlatmasında dünyamız için temel kaynak olan doğal Güneş'in yerini maliyet performanslarının geliştirilmesi ile elektrik lambaları almış, zaman içinde doğal aydınlatmaya olan bağlılık en aza indirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, fresnel lens ve fiber optik kablodan oluşan özel optik bir düzenek tasarlanmış ve bu optik düzenek mikroalg üretiminde kullanılan kapalı fotobiyoreaktörün içini aydınlatabilecek şekilde fotobiyoreaktör içerisine taşınmıştır. Optik sistemden elde edilen aydınlık şiddeti değerleri bulunmuş ve farklı hava koşulları için bu değerler karşılaştırılmıştır. Biyoreaktörün boş olduğu durumda teorik olarak ışık şiddeti değerleri ve mikroalg dolu olduğu durumda deneysel olarak ölçülen ışık şiddeti değerleri bulunmuştur ve bu iki durumda elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Ayrıca, frensel lens ve fiber optik kablonun gün ışığını taşımadaki rolleri ve etkinlikleri değerlendirilmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmamda bana her türlü desteği sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. İbrahim IŞILDAK'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bölümde bulunduğum süreçte akademik olarak destek aldığım Doç. Dr. Didem ÖZÇİMEN'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına maddi destek sağlayan TÜBİTAK BİDEB'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her konuda benim yanımda olan, bana her türlü desteği sağlayan kıymetli ailem; babam Zeki KILIÇ'a, annem Ferahnaz KILIÇ'a, kardeşlerim Betül KILIÇ ve Ali KILIÇ'a ve arkadaşlarıma çalışmalarım sırasında ve hayatımının her aşamasında sonsuz destekleri için teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Kasım, 2015

Gülsüm KILIÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....vii

KISALTMA LİSTESİ.....viii

ŞEKİL LİSTESİ.....ix

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT.....xiv

BÖLÜM 1

GİRİŞ.....1

1.1 Literatür Özeti..... 1
1.2 Tezin Amacı..... 3
1.3 Hipotez..... 4

BÖLÜM 2

MATERYAL ve YÖNTEM..... 6

2.1 Yenilenebilir Enerji.....6
2.1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları 8
2.1.2 İklim Değişim Senaryoları 10
2.1.3 Güneş Enerjisi 11
2.1.4 Solar Radyasyon..... 12
2.1.5 Direkt ve Difüz Solar Radyasyon..... 12
2.1.6 Güneş Enerjisinin Dağılımı..... 13
2.1.7 Güneş Kolektörleri..... 14
2.1.7.1 Sabit Kolektörlerler 18
2.1.7.2 Hareketli Kolektörler..... 20

2.1.7.3 Görüntüleme Yapan Kolektörler 25
2.1.8 Biyoreaktörler 25
2.1.8.1 Kabarcıklı Kolon Biyoreaktörler 26
2.1.8.2 Hava Kaldırmalı Biyoreaktörler 26
2.1.8.3 Fotobiyoreaktörler 26
2.1.8.3.1 Kapalı Kültür Sistmeleri 27
2.1.8.3.2 Açık Kültür Sistemleri 28
2.2 Işık 28
2.2.1 Elektromanyetik Spektrum 29
2.2.2 Elektromanyetik Radyasyonun Maddeyle Etkileşim 31
2.2.3 Işık Kanunları 31
2.2.4 Fotometri ve Radyometri 33
2.2.5 Neden Gün Işığı 33
2.2.6 Işık Şiddeti 34
2.2.7 Işık Akısı 34
2.2.8 Aydınlık Düzeyi 35
2.3 Fiber Optik Sistemler 35
2.3.1 Jenaratör 36
2.3.2 Fiber Optik Kablolar 36
2.3.2.1 Fiber Optiğin Temel Prensipleri 38
2.3.2.2 Fiber Optiklerde Işığı Toplama Teknikleri 39
2.3.2.3 Fiber Optik Kablolarda Kayıplar 42
2.3.2.4 Cam Fiberlerle Plastik Fiberlerin Karşılaştırılması 42
2.3.2.5 Fiber Optik Kablolarda Kayıp Mekanizması 43
2.3.2.2 Fiber Optiklerde Işığı Toplama Teknikleri 44
2.3.3 Optik Dağıtım Elemanları 44
2.3.4 Fotovoltaik (PV) Sistemler 46
2.3.5 Toplayıcı (converging) Lensler 47
2.3.6 Fresnel Lensler 48
2.3.6.1 Prizmatik Yüzeylerdeki Optik Etkiler 49
2.3.6.2 Fresnel Lenslerde Işık Aktarım Verimliliği 49

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR 50

3.1 Reaktörün Hazırlanması 50
3.2 Lüksmetrenin Hazırlanması 51
3.3 Fiber Optik Kablonun Optik Düzeneğe Taşınması 52
3.4 Optik Kulede Bulunan Fresnel Lenslerin Hazırlanması 54
3.5 Bir Adet Fresnel Lens ve Fiber Optik Kablonun Aydınlatma Şiddeti Ölçümü İçin Hazırlanması 54

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR 56

4.1 Boş Solar Biyoreaktör İçerisindeki Aydınlık Şiddetinin Belirlenmesi 62

4.2 Mikroalg Dolu Solar Biyoreaktörde Optik Kısımların Aydınlatma Şiddetinin Hesaplanması 66
4.3 Kapalı Havada Bir Adet Fresnel Lens ve Fiber Optik Kabloyla Elde Edilen Aydınlanma Şiddetinin Belirlenmesi 67

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA 68

KAYNAKLAR 70

ÖZGEÇMİŞ 75

SİMGE LİSTESİ

c	Işık hızı
cd	Kandela
cm	Santimetre
C	Konsantrasyon oranı
f	Frekans
J	Joule
K	Kelvin
kg	Kilogram
kg/s m^2	Birim başına akış oranı
kWh/yıl	Yıllık saat başına enerji
L	Fiber optik kablonun uzunluğu
lm	Lümen
lx	Lüks
m	Metre
MW_e	Megavat enerji
nm	Nanometre
sn	Saniye
T	Işık aktarım yoğunluğu
α	Solar radyasyon absorsiyonu
%	Yüzde
ε	Dalgaboyu emittansı
°C	Santigrat derece
Mm	Mikrometre
$\dot{O}_o$	Radyant akış çıkışı
Ȯi	Radyant akış girişi

KISALTMA LİSTESİ

CH_4	Metan
CO_2	Karbondioksit
CFC	Kloroflorokarbon
CPC	Compound Plate Colector
dB	Desibel
ETC	Evacuated Tube Colector
FPC	Flat Plate Colector
Gt	Gros ton
IR	Infrared
LED	Light Emitting Diode
LFC	Lineer Fresnel Collector
MW	Mega Wat
NA	Numerical Aperture
N_2O	Diazot Monoksit
PMMA	Polimetil metakrilat
PV	Photovoltaic
RES	Renewable Energy Sources
SEGS	Solar Electric Generation Santral
TW	Tetra Wat
UV	Ultraviyole
W/m^2	Metrekareye Düşen Enerj

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1 Himawari solar kolektörü 2
Şekil 2. 1 Sera gazı etkisinin şematik gösterimi 9
Şekil 2. 2 Solar radyasyon spektrumu 12
Şekil 2. 3 Güneşten gelen enerjinin aylara göre değişimi 13
Şekil 2. 4 Düz plaka kolektörler 14
Şekil 2. 5 Düz plaka kolektörün yandan gösterimi 15
Şekil 2. 6 Bileşik parabolik kolektör 16
Şekil 2. 7 Boşaltma tüplü kolektör 17
Şekil 2. 8 Düz yansıtıcılı düz plaka kolektör 20
Şekil 2. 9 Parabolik oluk kolektör 21
Şekil 2. 10 Fresnel tipi parabolik oluk reflektör 23
Şekil 2. 11 Lineer fresnel lenslerle aydınlatılmış alıcının şematik diyagramı 23
Şekil 2. 12 Parabolik çanak kolektör 24
Şekil 2. 13 Merkezi alıcı sistem 25
Şekil 2. 14 Yaygın olarak kullanılan kapalı fotobiyoreaktör tasarımları 27
Şekil 2. 15 Kanal tipi havuzlar 28
Şekil 2. 16 Elektromanyetik spektrum 30
Şekil 2. 17 Gelen ışığın yansıma kurallarına göre görünümü 31
Şekil 2. 18 Farklı ortamlarda ışığın kırılma açısı ve cam prizmada ışığın renklere göre kırılması 32
Şekil 2. 19 Kritik açıyla gelen ışık 32
Şekil 2. 20 Tam yansıma yapan ışık 35
Şekil 2. 21 Işık akısı ve lümen 36
Şekil 3. 1 Fiber optiğin yapısı 36
Şekil 3. 2 Kabul konisine gelen ışık ve fiber içindeki kayıpları gösteren gösterim 37
Şekil 3. 3 Fiber optiği aydınlatan difüz ışık kaynağı 40
Şekil 3. 4 Kesikli piramite gelen ışığın fiber optik girişinde ve içinde yaptığı açılar 40
Şekil 3. 5 Kesikli piramit modeli 41
Şekil 3. 6 PV pil yapısı 44
Şekil 3. 7 Toplayıcı lens 46
Şekil 3. 8 Fresnel lens içinde farklı dalgaboyları için farklı odak noktaları 47
Şekil 3. 9 Fresnel lensin kesilerek nasıl son haline geldiğini gösteren şematik gösterim 47

Şekil 3. 10 Odak uzaklığına bağlı olarak lensin hızlı ve yavaş olması durumları..... 48
Şekil 3. 11 Fresnel lens yüzeylerinin şematik gösterimi 49
Şekil 4. 1 12 adet fiber optik kablodan elde edilen aydınlık şiddeti değerleri 51
Şekil 4. 2 10 m ve 20 m fiber optik kablonun aydınlık şiddeti değerleri 55
Şekil 4. 3 Fiber optik kablo uzunluğuna bağlı olarak fiber optik kablo çıkışında ölçülen aydınlık şiddeti değerleri..... 60
Şekil 4. 4 Farklı atmosfer koşullarında fresnel lens ve fiber optik kablo çıkışında ölçülen aydınlık şiddeti değerleri..... 61
Şekil 4. 5 İçi mikroalg dolu solar biyoreaktör içinde 4 adet fiber optik kablo çıkışında ölçülen aydınlık şiddeti değerleri..... 63

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları ve kullanım alanları..... 6
Çizelge 2. 2 2001 yılından 2040 yılına kadar enerji kaynaklarının tüketim 7
Çizelge 2. 3 Farklı maddelerin sera gazı salınımına etkisi..... 9
Çizelge 2. 4 IST tarafından kurulan PCT sistemin karekteristiği 21
Çizelge 2. 5 Bazı tipik ortamlar için kırılma indeksleri.....38
Çizelge 3. 1 Lüksmetrenin teknik özellikleri 51
Çizelge 3. 2 Fiber optik kablonun teknik özellikleri 53
Çizelge 4. 1 Fresnel lens, fiber optik kablo girişinde ve çıkışında ölçülen gelen aydınlanma şiddeti değerleri..... 57
Çizelge 4. 2 Atmosfer koşulları farklı olan üç durum için aydınlık şiddeti değerleri .. 60
Çizelge 4. 3 Değerleri farklı atmosfer koşullarında mikroalg dolu solar biyoreaktör içinde 4 farklı konumda yer alan fiber optik kablo çıkışında ölçülen aydınlık şiddeti.....62
Çizelge 4. 4 Farklı atmosfer koşullarında bir adet fresnel lens ve fiber optik kablo çıkışında optik kısımlarda ölçülen aydınlık şiddeti değerleri..... 64
Çizelge 4. 5 Dolu ve boş solar biyoreaktör için optik kısımlardaki aydınlık şiddeti değerlerinin karşılaştırılması. 65

ÖZET

YENİ TİP SOLAR BİYOREAKTÖR GELİŞTİRİLMESİ

Gülsüm KILIÇ

Biyomühendislik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim IŞILDAK

Doğal aydınlatma, tüm sınırlı ve sınırsız ortamlarda öncelikli olarak iyi görme koşullarının sağlanması için gerekli bir faktördür. Gün ışığı kullanılarak oluşturulan doğal aydınlatma sistemleri, son yıllarda giderek önem kazanmaktadır. Bu tez çalışmasında, fresnel lens ve fiber optik kablodan oluşan entegre bir solar-optik sistemle fotobiyoreaktörün içi aydınlatılmıştır. Öğlen saatlerinde, 12 adet fresnel lensin odağında bulunan fiber optik kablo girişine gelen ve fiber optik kablo çıkışına aktarılan aydınlık şiddeti değerleri teorik olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, solar biyoreaktör içindeki toplam aydınlık şiddeti değerleri, fresnel lens kullanılmadan meydana gelen toplam aydınlık şiddeti değerleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, fresnel lens kullanıldıktan sonra solar biyoreaktör içindeki aydınlanma düzeyinin oldukça arttığı görülmüştür. Ayrıca, belli bir seviyeye kadar mikroalg doldurulan biyoreaktör içinde dört tane fiber optik kablodan elde edilen aydınlık şiddeti değerleri ve fresnel lensin ışığı aktarma yüzdesi hesaplanmıştır. Tek bir fresnel lens ve fiber optik kablo için fiber optik kablonun aydınlık çıkış şiddeti, kritik açı değeri ve konsantrasyon oranı bulunmuştur. Konsantrasyon oranı, fresnel lensin üzerine gelen ışığın büyük kısmını yoğunlaştırdığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Aydınlanma, doğal aydınlanma, fresnel lens, fiber optik kablo

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A NEW SOLAR BİOREACTOR

Gülsüm KILIÇ

Department of Bioengineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. İbrahim IŞILDAK

Natural lighting is indispensable factor which provides a good vision in all limited and unlimited spaces. In recent years, natural lighting systems which is used sun light has been being more important. In this thesis, an integrated solar-optic lighting system containing Fresnel lenses and fiber optic cables is used for illuminating inside of photobioreactor. At noon, luminous intensity of fiber optic cable input and out was measured as theoric which was positioned to focal point of Fresnel lens. Furthermore, total luminous level with Fresnel lens was calculated and compared with total luminous level that was not used Fresnel lens. According to the results, it is determined that Fresnel lens has significantly increased. Additionally, light intensity values from four fiber optic cables which was filled up to a certain level and light transmission percentage of Fresnel lens was also calculated. For a single Fresnel lens and fiber optic cable, light output intensity, concentration ratio and critic angle of fiber optic cable was calculated. Concentration ratio has shown that Fresnel lens has concentrated a large part of inicident light.

Keywords: Lighting, natural lighting, fresnel lens, fiber optic cable

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Dünya nüfusunun 21. yüzyılın ortalarında ikiye katlanması beklenmektedir. Bu durumun dünyanın ekonomik çıktısında, 2050'ye kadar 3-5 kat ve 2100'e kadar 10-15 katlık bir artışla sonuçlanması beklenmektedir. Buna bağlı olarak, enerji ihtiyacının da 2050'ye kadar 3 kat ve 2100'e kadar 5 kat artması beklenmektedir. Böylece, birincil enerji kaynaklarına yoğun bir talep olması kaçınılmazdır. Enerjinin bol, maddi olarak satın alınabilir ve temiz olması, fakirliği ortadan kaldırmak ve üretimi geliştirmek için ön koşuldur. Fosil yakıt kullanımındaki engellenemez artış, iklim değişikliklerine bağlı çevresel bozulmanın yanı sıra, ulusların ekonomik güvenliğine tehdit unsuru oluşturmaktadır. Kömürün 200 yıl sonra, petrolün 35 yıl sonra biteceği tahmin edilmektedir. Bu durum göz önüne alındığında yenilenebilir eneji kaynaklarının önemi daha da artacaktır [1]. Son yıllarda yenilenebilir enerji konusunda yapılan araştırmaların çoğu, güneş enerjisi üzerine yapılmaktadır. Güneş enerjisiyle ilgili yapılan çalışmaların çoğu ısıtma, kurutma, pişirme, sıcak su temini gibi konularda yapılmasına rağmen, son yıllarda güç üretimi, elektrik üretimi, güneş santralleri ve doğal aydınlatma konularında da yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Dünya yüzeyine gelen güneş enerjisi yaklaşık 1,5 x 10^{18} kWh/yıl olmakla birlikte, bu değer dünyanın yıllık enerji tüketiminin yaklaşık 10,000 katına denk gelmektedir. Güneş, enerji ihtiyacımızı karşılama konusunda etkin bir güç olduğundan, gün ışığının atmosfer yüzeyine ulaşma koşulları ve ulaştıktan sonra dünyaya yayılmasını anlamak, araştırma yapılması gereken önemli konulardandır. Güneş enerjisi, neredeyse sıfır gaz

salınımı ile dünyamıza enerji verebilmektedir. Güneş enerjisi dünyanın her yerinde bulunan ve sera gazı yaymadığı için kirletici olmayan bir enerjidir [3].

Güneşten gelen enerjiyle yapılan en eski odaklama, 2500 yıl önce Vesta tapınağında rahibelerin kutsal ateşi yakmak için madeni konileri kullanarak ışığı yansıtmalarıyla başlamaktadır [2]. M.Ö 212 yılında ise Arşimet aynalar yardımıyla güneş ışınlarını düşman gemilerine odaklayarak, düşman gemilerini yakmayı başarmıştır. Bu ilerlemeler, 1725 yılında Fransa'da Bolidor tarafından güneş enerjisiyle çalışan su pompasının tasarımı ile devam etmiştir. Güneş enerjisinden güç elde etme fikri ise Meinel ve diğer bilim adamları tarafından ortaya atılmıştır. Meinel'e göre güneş ışınları doğrusal Fresnel merceği tarafından toplanarak, merceğin odağında bulunan toplayıcı bir boru tarafından emilmektedir. Boru içerisinde yer alan tuz gibi akışkan sıvılar yardımıyla da akışkan sıvı sıcaklığı 500 C° 'e yükseltilmiştir [3].

Son yıllarda, güneş enerjisi uygulamalarında en önemli gelişmelerden biri ise doğal aydınlatma sistemleridir. Doğal aydınlatma sistemi de diğer sistemler gibi güç tüketiminde azalma sağlamaktadır ve daha ekonomiktir. Farklı optik cihazlar(prizmalar, optik fiberler, ışık boruları, lensler) kullanılarak farklı solar ışık sistemleri kullanılmaktadır. Himawari solar aydınlatma sistemleri, fiber tabanlı sistemlerden biridir [4].



Şekil 1. 1 Himawari solar kolektörü [3].

Farklı sayıdaki optik fiberlerle ve frensel lenslerle iki değişik modeli mevcuttur. Sistem, kendisini oldukça pahalı hale getiren kuartz cam optik fiberlerden oluşmaktadır. Toplama sisteminin büyüklüğünün ve lenslerinin sayısının sınırlı olmasından dolayı

sistem yeterli aydınlatmayı sağlayamamıştır. TR5-1 adlı bir diğer sistem ise, American Sunlight System LLC şirketi tarafından solar aydınlatma amaçlı kurulan bir sistemdir. Sistem, 128 adet frensel lens içermektedir ve fiberlerin kor çapı 3mm'dir. 2012 yılında, Uppsala'da kurulan SP2 ve SP3 olmak üzere iki çeşit olan Parans sistemi diğer sistemlere göre daha kaliteli ve verimli olarak görülmektedir. Bu sistemin diğer sistemlerden farkı, güneşi günün her saati takip edebilmesidir. Stepper motorları, toplayıcı yüzeye 0° ile 180° arasında eğim verebilmektedir ve dikey eksende 360° çevirebilmektedir. Kolektör, 36 adet frensel lensten (6.5cm x 6.5cm) oluşmaktadır. Silikondan yapılan frensel lensler, kolektörün önündeki cam panel üzerine yerleştirilmiştir. 36 adet frensel lensin her biri, bir adet frensel lensin odağında yerleştirilmiştir. 10 m ve 20 m'lik kablolarla iç ortamdaki aydınlanma seviyeleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde, enerji verimliliğinde önemli bir artış ve aydınlanma seviyelerinde yapay aydınlatıcılara göre daha iyi sonuçlar alınmıştır [5].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, dış ortamda (serada) gün ışığı alacak şekilde konumlandırılmış frensel lens ve fiber optik kablodan oluşan optik sistemin gün ışığını taşıyarak, fotobiyoreaktör içerisini aydınlatması esasına dayanmaktadır. Solar biyoreaktör boşken, fresnel lens üzerine gelen ışığın aydınlanma şiddetinin ölçülerek, ışık miktarının ne kadarını fiber optik kabloya aktardığı ve fresnel lensin konsantrasyon oranı teorik olarak hesaplanmıştır. Mikroalg dolu solar biyoreaktör içinde fresnel lense gelen, fiber optiğe aktarılan ve biyoreaktör içindeki toplam aydınlanma şiddetleri hesaplanmıştır ve teorikle karşılaştırılmıştır. İki durum içinde, optik kısımlardaki aydınlanma düzeyleri 3 farklı hava durumunda (açık, bulutlu ve kapalı hava) ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Tek bir fresnel lens ve fiber optik kablo için optik kısımlarda aydınlanma düzeyleri hesaplanarak, C (konsantrasyon oranı) değeri de hesaplanmış ve teorikle karşılaştırılmıştır.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasında, BH1750FVI tipi lüksmetre kullanılarak solar biyoreaktör içindeki ışığın ve optik kulede yer alan optik devre elemanlarının aydınlık şiddetleri (lüks) ölçülmüştür.

1 metre yüksekliğinde ve çapında olan biyoreaktör için öncelikle, teorik olarak 12 adet fresnel lense gelen aydınlanma şiddetleri tek tek bulunmuştur. Ortalama aydınlanma şiddeti 32576 lüks olarak bulunmuştur. Fresnel lensten fiber optik kablo girişine aktarılan toplam aydınlanma şiddeti ise 30539 lüks olarak bulunmuştur. Ortalama konsantrasyon oranı (C) ise 1,06 olarak bulunmuştur. Fresnel lens varken ve yokken fiber optik kablo giriş açıklığının alanına düşen aydınlanma düzeyi hesaplanıp karşılaştırıldığında fresnel lens varken düşen ışık şiddetinin yaklaşık 48 kat arttığı gözlenmiştir. Fiber optik kablo girişindeki ışığın fiber optik kablo çıkışına ulaşırken zayıflaması, ışık aktarım yoğunluğu formülüyle hesaplanmıştır. Işık aktarım yoğunluğu, fiber optik kablonun boyuna ve metre başına düşen ses şiddetine (dB) bağlıdır. 10 metre kablo için %44,6 olan ışık aktarım yoğunluğu, 20 metre içi yaklaşık %19 olarak bulunmuştur. Kablo boyu arttıkça ışık aktarım yoğunluğu da oldukça küçük değerler aldığı bulunmuştur. Aydınlanma şiddetleri belirlenen açık, kapalı ve bulutlu hava için seçilen bir adet fresnel lens ve onun odağındaki fiber optik kablo için bu üç atmosfer şartındaki çıkış aydınlanma şiddetleri karşılaştırılmıştır. Atmosfer aydınlık düzeyi arttıkça, fiber optik kablo çıkışındaki aydınlanma şiddetinin de arttığı gözlenmiştir. Kapalı ve bulutlu hava içinde C değeri 1,06 olarak bulunmuştur. Bu durum, fresnel lensin ışığı farklı hava şartlarında bil aynı verimlilikte taşıdığını göstermiştir.

Tez çalışmasının diğer aşamasında, içi mikroalg dolu solar biyoreaktörün 4 farklı noktasına yerleştirilen fiber optik kablo çıkışlarından elde edilen aydınlanma şiddetleri, açık, kapalı ve bulutlu hava için hesaplanmıştır. Toplam aydınlanma şiddeti 17966 lüks olarak bulunmuştur. Bu değer ışık miktarı olarak yaklaşık 7051 lümene karşılık gelmektedir. Bu değer, standart bir odanın aydınlatılmasında kullanılan LED lambaların sahip olduğu 806 lümen'den oldukça fazladır. Solar biyoreaktör içini aydınlatan ve 4 farklı noktada bulunan fiber optik kabloların aydınlanma şiddetleri içi boş ve dolu solar biyoreaktörler için karşılaştırılmıştır. Mikroalg dolu biyoreaktör, sadece açık havada boş

biyoreaktörden daha yüksek aydınlanma şiddetine sahip olmuştur. 4 adet fiber optik kablodan elde edilen toplam aydınlanma şiddetinin, aynı alanı aydınlatacak LED lambalardan daha yüksek ışık şiddetine sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, fresnel lens kullanarak teorikte de, deneyselde de aydınlık şiddeti yaklaşık 48 kat arttığı görülmüştür. Tek bir fresnel lens ve fiber optik kabloyla yapılan deneyde de aydınlık şiddetinin 48 kat arttığı görülmüştür.

C konsantrasyon oranı ise, teorikte ve deneyselde yaklaşık olarak 1,06 olarak bulunmuştur. Bulunan C değeri, fresnel lensin üzerine gelen ışığın nerdeyse tamamına yakınını fiber optik kablo üzerine aktarmıştır.

BÖLÜM 2

MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji kaynakları (RES), dünyadaki toplam enerji ihtiyacının %14'nü karşılamaktadır [7]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle, güneş, rüzgar, jeotermal, hidroelektrik ve gel-git enerjileri gösterilmektedir. Bu kaynakların hepsi birincil, temiz, bol ve tükenmez enerji kaynaklarıdır [6]. Geniş skalada hidroelektrik enerji, global elektriğin %20'sini karşılamaktadır. Kıyı kesimlerinde ve birçok rüzgarlı bölgede rüzgar enerjisi ümit verici bir enerji kaynağıdır [8].

Çizelge 2. 1 Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları ve kullanım alanları [7].

ENERJİ KAYNAĞI	ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ ve KULLANIM SEÇENEKLERİ
HİDROELEKTRİK	Elektrik üretimi
BİYOKÜTLE	Isı ve elektrik üretimi, gazlaştırma ve piroliz
JEOTERMAL	Bölgesel ısıtma, elektrik üretimi,
SOLAR	Solar kurutucular ve yemek pişiriciler, solar ev sistemleri
DİREKT SOLAR	Termal güç üretimi, fotovoltaik, su ısıtıcıları
RÜZGAR	Güç üretimi, rüzgar jenaratörleri, su pompaları
DALGA	Çeşitli dizaynlar
GEL-GİT	Baraj, gel-git akıntısı

RES'lerin kullanımının çok önemli bir ölçüde artması beklenmektedir (2100 yılda %30-80) [6]. Enerjinin sürdürülebilirliğini, insanlardan kaynaklanan çevresel etkenlerle

karşılaştırabilmek için bazı metotlar ve araçlar gerekmektedir [9]. Günümüzde endüstrileşme, artan yaşam standartları ve artan dünya nüfusuna bağlı olarak fosil yakıtların tüketimi artmaktadır. Artan fosil yakıt tüketimi sadece fosil yakıt rezervlerinin bitmesine değil, aynı zamanda artan sağlık riskleri ve global iklim değişikliklerini olumsuz etkileyen çevresel etkilere de neden olmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerjiye olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Son yıllarda ülkeler, sürdürülebilir üretim metotlarına, israfın minimize edilmesi, araçlardan kaynaklanan hava kirliliğinin azalması, dağıtılabilir enerji üretimi, araçların korunması ve sera gazı salınımının azaltılması gibi faaliyetlere yönelmektedir [10].

Çizelge 2. 2 2001 yılından 2040 yılına kadar enerji kaynaklarının tüketim miktarları [10].

	2001	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**
Toplam tüketim (milyon ton)	10,038	10,549	11,425	12,352	13,310
Biyokütle	1080	1313	1791	2483	3271
Büyük skalada hidroelektrik	22,7	266	309	341	358
Jeotermal	43,2	86	186	333	493
Küçük skalada hidroelektrik	9,5	19	49	106	189
Rüzgar	4,7	44	266	542	688
Solar termal	4,1	15	66	244	480
PV	0,1	2	24	221	784
Solar termal elektrik	0,1	0,4	3	16	68
Deniz (gelgit-dalga-okyanus)	0,05	0,1	0,4	3	20
Toplam RES	1.365.5	1.745.5	2.964.4	4289	6351
Yenilenebilir enerji kaynağı katkısı(%)	13,6	16,6	23,6	34,7	47,7

Enerji ihtiyacımızı karşılamak için artan fosil yakıt tüketimi, gelişen dünyanın enerji ihtiyacını karşılamak için alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi

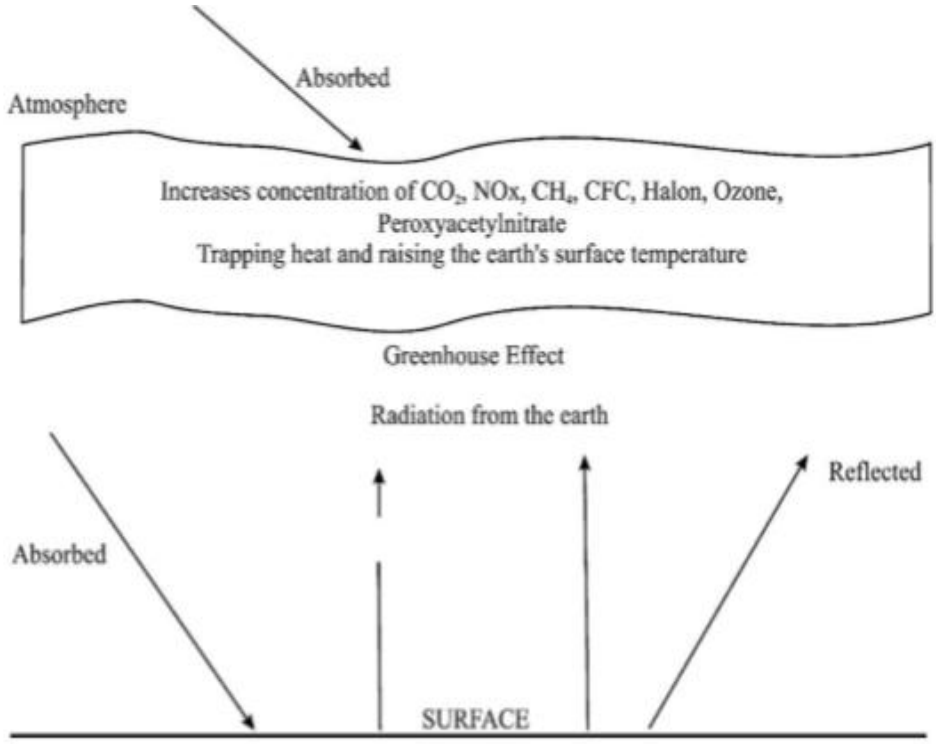
artırmaktadır [11]. Geniş çapta fosil yakıt kullanımı, CO_2 salınımından dolayı küresel ısınmaya neden olmakta ve bu yüzden yenilenebilir enerji arayışı daha da gerekli olmaktadır [12]. Kyoto Protokol'ünde yapılan görüşmelerde, gaz salınımının azaltılması ve çevre kirliliğinin azaltılmasıyla ilgili kararlar alınmıştır [13].

2.1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, dünyanın geleceğinde önemli bir rol oynamaktadır. Enerji kaynakları üç kategoriye ayrılmaktadır: fosil yakıtlar, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer kaynaklar [14]. Yenilenebilir enerji kaynakları, tekrar ve tekrar kullanılabilen ve enerji üretebilen kaynaklardır [15]. Bölgesel enerji ihtiyacını karşılayabilen yenilenebilir kaynaklar, sıfır ya da nerdeyse sıfır gaz salınımı yapmaktadırlar. Yenilenebilir enerji sistemlerinin gelişimi; enerji sağlama güvenirliğini artırma, yerel enerji ve su problemlerini çözme, yaşam standartlarını artırma, iş imkanı sağlama, sürdürülebilir gelişim sağlama ve organik yakıt ekonomisi gibi en önemli konulara çözüm getirmektedir [16], [17]. Şehirden uzak bölgelerdeki yenilenebilir enerjiden faydalanmak, kırsal ve sürdürülebilir küçük skaladaki enerji ihtiyacını karşılamada kullanılabilecek seçeneklerden biridir [18].

2.1.2 İklim Değişim Senaryoları

21. yüzyılda iklim değişiklikleri insanoğlu için en önemli konulardan biridir [19]. Sıcaklık dalgaları, yoğunluğunun artması, artan seller ve kuraklıklar, felaketlerden ve açlıktan kaynaklı olumsuz etkiler ve taşıyıcı hastalıkların yayılmasındaki değişiklikler gibi etkenlerin insanoğlunun geleceğini etkileyeceği düşünülmektedir. Bu durumun, sağlık üzerindeki etkileri oldukça negatif olabilmekte ve düşük gelirli ülkelerdeki insanların bu duruma karşı daha hassas olduğu düşünülmektedir. Ancak, Avrupa'da 2003'te gerçekleşen sıcaklık dalgası, bu durumun yüksek gelirli insanları da olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir. Enerjiyle ilgili en önemli çevresel problem, global iklim değişikliğidir. Atmosferde miktarı artan CO_2, CH_4, CFCs, halonlar, N_2O, ozon, peroksiasetil nitrat gibi sera gazları dünya yüzeyindeki radyasyonu emer ve dünya yüzeyinin sıcaklığın artmasına neden olur [20].



Şekil 2. 1 Sera gazı etkisinin şematik gösterimi [22].

Çizelge 2. 3 Farklı maddelerin sera gazı salınımına etkisi [23].

Madde	CO_2 ile karşılaştırıldığında IR ışınları tutma kabiliyeti	Sanayileşme öncesi yoğunluk	Güncel yoğunluğu	Yıllık büyüme hızı(%)	İnsan kaynaklı sera gazı etkisi (%)	İnsan kaynaklı sera gazı etkisinin artışı (%)
CO_2	1	275	346	0,4	71	50 ± 5
CH_4	25	0,75	1,65	1	8	15 ± 5
N_2O	250	0,25	0,35	0,2	18	9 ± 2
R-11	17,500	0	0,00023	5	1	13 ± 3
R-12	20,000	0	0,00040	5	2	13 ± 3

Yapılan bilimsel çalışmalar, geçen 200 yılda CO_2 seviyesinin %31 arttığını göstermektedir. Ozon tabakasının delinmesine sebep olan metan gazının artması ve ormansızlaştırma 1800 yılından beri karbon seviyesini 20 Gt (gros tonaj) artırmıştır. Artan global sıcaklık, geçen yüzyıl boyunca deniz seviyesini yıllık ortalama 1-2 mm

artırmıştır. Ayrıca, kutuplardaki buzlar %40 oranında incelmiş ve 1950'den beri yazları genişliği %10-15 oranında azalmıştır.

Endüstri, dolaylı ya da dolaysız olarak (elektrik tüketim yoluyla) global sera gazı emisyonuna yaklaşık olarak %37 oranında katkıda bulunmaktadır. 2004 yılında 9,9 Gt olan CO_2 miktarı gaz salınımından kaynaklı toplam emisyon, 1971'den beri %65 artmıştır [24]. Çizelge 2.3, 1971 ile 1995'e kadar olan periyotta global CO_2 emisyonu her yıl ortalama %1,7 oranında artmıştır. Yapılan araştırmalar, 2020 yılında CO_2 emisyonu %2,2 oranında artacağı düşünülmektedir. 2020'ye kadar, gelişmekte olan ülkelerin global sera gazı emisyonundan sorumlu olacağı düşünülmektedir [23].

2.1.3 Güneş Enerjisi

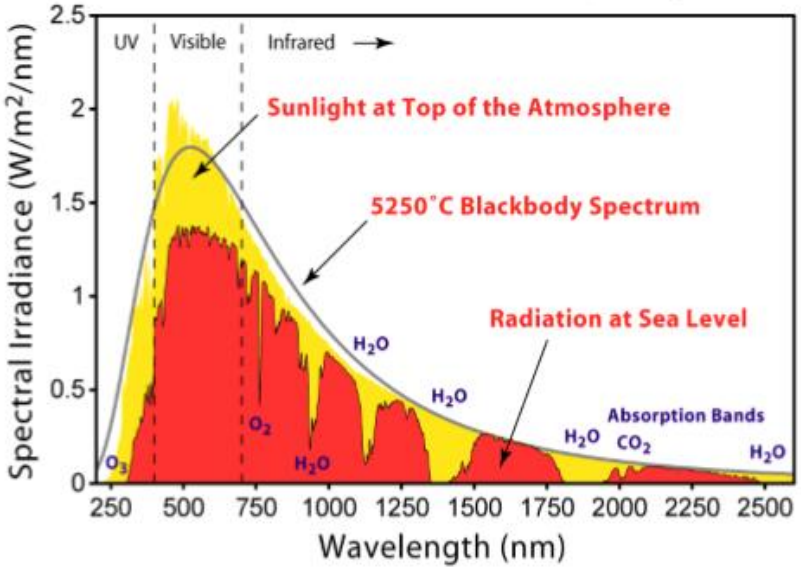
Güneş, 1,392 x 10^9 m çapında kütlesi sıcak gazlardan oluşan ve çevresine ısı ve ışık yayan bir yıldızdır. Güneşin dünyadan ortalama 1,492 x 10^{11} m uzaktadır. Yüzey sıcaklığı 5777 K'dir. Güneş kendi etrafında 70,000 km hızla dönmektedir. Sudan 100 kat daha yoğundur. Güneşten gelen radyasyon çeşitli füzyon tepkimelerine uğramaktadır. Güneş enerjisi, karasal ekosisteme gelen en büyük enerjiyi temsil etmektedir. Atmosferde yansıdıktan ve emildikten sonra, yaklaşık 10,000 TW dünya yüzeyine düşer ve insanlar tarafından kullanılan enerji türlerinin dönüşümüne uğrar. Bu enerji, varolan birincil global enerji tüketiminin (13,7TW) yaklaşık 6,000 katıdır. Böylece, solar enerji sürdürelebilir enerjinin ana bileşenini oluşturabilecek potansiyele sahiptir [24].

Solar radyasyon, bütün çağlarda insanlar tarafından kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Pasif solar teknolojiler, konut ısıtmak veya soğutmak ve su ısıtmak için eski uygarlıklar tarafından kullanılmıştır. Gün ışığının yoğunlaştırılması yaygın olarak 19. yüzyılda çalışılmıştır ve solar tabanlı mekanik makineler geliştilmiştir. 1839'da Becquerel fotovoltaik etkinin keşfi ve 1950'lerin başında fotovoltaik hücrenin oluşturulması elektrik üretiminde solar enerji kullanımına yeni bakış açıları kazandırmıştır. Bu ilerlemelerden sonra, solar teknolojilerin gelişimi önemli ölçüde devam etmiştir. Bugünlerde, geniş kapsamda solar enerji teknolojileri bulunmakta ve 20 yıldır fotovoltaik hücreler artan bir pazar payı kazanmaya devam etmektedirler. Bu durum, kaynağın potansiyeliyle karşılaştırıldığında üretilen teknoloji oldukça azdır. Hala ucuz fosil yakıtlar tarafından yönetilen enerji pazarında solar teknolojiler, güncel

maliyetleri ve sürüdürülebilir olmayan doğasından dolayı neredeyse hiç rekabetçi olamamaktadır. Teknolojik ve bilimsel açıdan, maliyeti daha az ve verimi daha çok olan solar teknolojiler için en büyük sorun yeni çözümler bulabilmektir. Birçok bilimsel çalışma bunun üzerine yapılmaktadır. Düşük maliyette ve yüksek verimde çalışan sistemler geliştirilmektedir. Son yıllarda solar termal teknolojiler, enerji ihtiyacının karşılanmasında uygun gelişim düzeyine ulaşmışlardır. Pil, diğer elektrikli depolama sistemleri, ısı depolama ve solar yakıtların doğrudan üretimi (özellikle hidrojen) gibi depolama sistemleri üzerinde yapılan çalışmalarda, güneş enerjisinin aralıklı olması vurgulanmaktadır [2], [3].

2.1.5 Solar Radyasyon

Solar radyasyon, güneş kütlesi içerisinde meydana gelen füzyon reaksiyonları sırasında hidrojenin helyuma dönüştürülmesiyle oluşan, güneşin yüzeyinden salınan elektromanyetik dalgadır. Güneşin merkezinde her saniye 3.89 x 10^{26} J nükleer enerji serbest bırakılır [25]. Bu nükleer enerji akışı, hızlı bir şekilde ısı enerjisine dönüştürülürmekte ve elektromanyetik radyasyon olarak serbest bırakıldığı güneş yüzeyine doğru aktarılmaktadır. Güneş tarafından yayılan güç yoğunluğu 64MW/m^2 olup, bu değerin yaklaşık 1370 W/m^2 'lik kısmı uzayda herhangi bir emilime uğramadan atmosfer yüzeyine ulaşmaktadır ve bu değer güneş sabiti olarak bilinmektedir. Solar radyasyonun spektral aralığı oldukça geniştir ve gama ışınlarından radyo dalgalarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. UV radyasyonu (λ<400nm) toplam radyasyonun %9 'undan daha az bir kısmını, görünür ışık (VIS) (400nm<λ<700nm) %39 ve infrared (IR) yaklaşık %52 'sini oluşturmaktadır [26]. Atmosferde bulunan su buharı, ozon ve karbondioksit gelen ışınımın büyük bir kısmını yutmaktadır. Mor ötesi ışınımın ise bir kısmı oksijen, azot ve metan tarafından yutulmaktadır. Bu gazlar tarafından yutulan ışınım miktarı su buharı, ozon ve karbondioksit tarafından yutulan ışınım miktarından çok daha azdır [27].



Şekil 2. 2 Güneş radyasyon spektrumu [28].

2.1.5 Direkt ve Difüz Solar Radyasyon

Güneşten dünyaya gelen gün ışığının dünyaya ulaşmadan %30 azaltılmasının sebepleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

1. Atmosferik parçaçıklar tarafından saçılması,

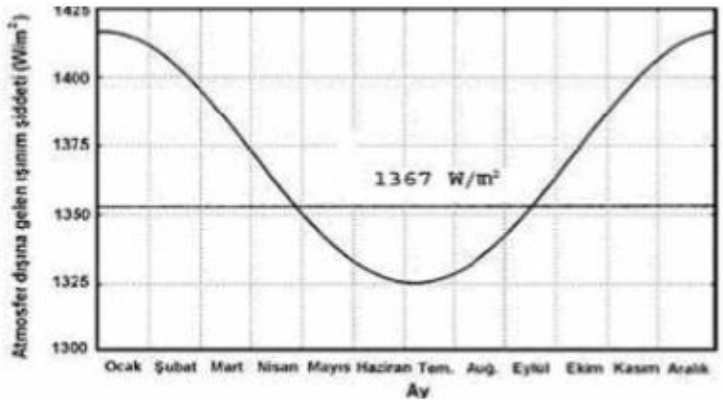
2. Aerosol ve toz parçaçıkları tarafından saçılması,

3. Atmosferik gazlar tarafından emilmesi.

Direkt ya da ışın radyasyon, güneşten gelen radyasyonun atmosfer tarafından saçılmaya uğramadan yeryüzüne ulaşan radyasyondur. Difüz radyasyon ise, saçılarak ve dağılmaya uğrayarak yeryüzüne ulaşabilen radyasyondur [29].

2.1.6 Güneş Enerjisinin Değişimi

Güneşten dünyamıza gelen ışınım şiddeti, güneş ışınlarının gün içinde geliş açısına bağlı olarak değişir. Öğle vaktinde, ışınım şiddeti gün içindeki en yüksek değerini almaktadır. Bu durum, güneş ışınlarının öğlen vakti dik gelerek en kısa mesafeyi almasından kaynaklanmaktadır [30].



Şekil 2. 3 Güneşten gelen enerjinin aylara göre değişimi [30].

2.1.7 Güneş Kolektörleri

Solar enerji kolektörleri, ısı aktarım ortamında solar radyasyon enerjisini iç enerjiye aktaran özel ısı değiştiricileridir. Herhangi bir solar sistemin ana bileşeni, solar kolektörlerdir. Kolektörler, ısıyı absorbe etmekte, ısıya dönüştürmekte ve kolektör boyunca akan bir akışkana (genellikle hava, su veya yağ) aktarmaktadır. Böylece toplanan enerji akışkandan sıcak suya ya da ısı enerjisi depolama tankına taşınmaktadır. Bu şekilde toplanan güneş enerjisi, akışkandan direk olarak sıcak suya veya boş durumdaki ekipmana ve (gece, gündüz ve bulutlu havalarda) kullanılabilecek termal enerji depolama tankına taşınabilmektedir. Temel olarak sabit-yoğunluşturmasız ve hareketli-yoğunlaştırmalı olmak üzere iki tip solar kolektör bulunmaktadır. Sabit kolektörler, solar radyasyonu absorbe edebilmek için düz bir alana sahipken; güneş takip eden yoğunlaştırmalı kolektörler genelde hareketli olup güneşten gelen ışınları daha küçük bir alana odaklamaktadır. Böylece, radyasyon akısı da artmaktadır. Güneş enerjisi kullanımındaki temel amaç, ekonomik rekabet ortamının arttığı şu günlerde mümkün olabildiğince fosil yakıtların yerini alabilmektir. Güneş enerjisinin, endüstride ve konutlarda ısı ve elektrik elde edilmesinde, tarımsal teknolojide, kara, deniz ve hava taşıtlarında, konutlarda doğal aydınlatma amaçlı kullanılabilmesi, elektrik elde edilebilmesi ve askeri amaçlarla kullanılabilmesi hedeflenmektedir [31].

2.1.7.1 Sabit Kolektörler

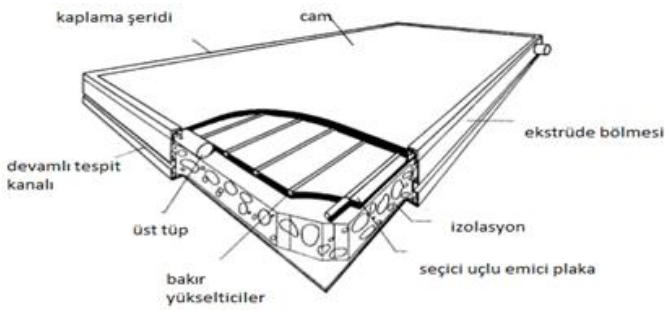
Sabit kolektörler hep aynı pozisyonda duran ve güneşi takip etmeyen kolektör çeşididir. Sabit kolektörler 3 kategoride incelenmektedir:

1. Düz plaka kolektörler (FPC)

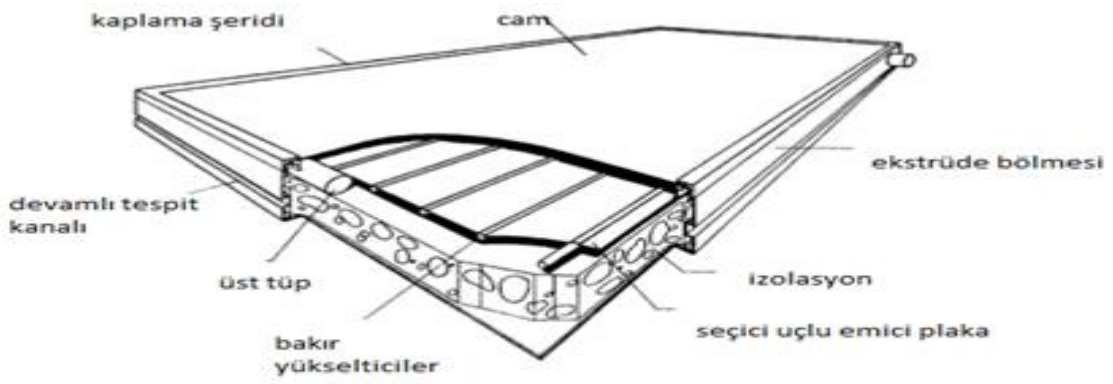
2. Bileşek parabolik kolektörler (CPC)

3. Boşaltılmış tüp kolektörler (ETC)

Düz plaka kolektörlerde solar radyasyon şeffaf kapaktan geçtiğinde ve yüksek emicilik özelliğinde olan siyah absorbe yüzey tarafından emildiğinde gelen enerjinin büyük bir kısmı plaka tarafından emilmektedir ve daha sonra kulanılmak üzere akışkan tüpteki aktarım ortamına transfer edilmektedir. Emici plakanın alt kısmı ve kaplama kısmı bağlantı kayıplarını azaltmak için iyi izole edilmektedir. Akışkan tüpler, emici tüplere kaynak yapılabilir ve plakanın integral bir parçası olabilmektedir. Geniş yarıçaplı tüpler tarafından akışkan tüpler iki uca da eklenmektedir. Transparan kaplama, emici plaka ve cam plaka arasında oluşan kirli hava tabakası boyunca, emici tabakadan konveksiyon kayıplarını azaltmak için kullanılmaktadır. Cam yüzey, güneşten gelen kısa boylu dalga radyasyonuna da şeffaf olduğu için kolektördeki radyasyon kayıplarını azaltmaktadır ve şeffaf plaka uzun dalga ısı radyasyonunu neredeyse hiç geçirmemektedir. Düz plaka kolektörler, kuzey yarım kürede bulunanlar güneye ve güney yarım kürede bulunanlar kuzeye bakacak şeklide konumlandırılmaktadırlar. Kolektörün eğim açısı, bölgenin enlemine bağlı olarak ve 10° değişen açılara eşittir [31].



Şekil 2. 4 Düz plaka kolektör [31].



Şekil 2. 5 Düz plaka kolektörün yandan görünümü [31].

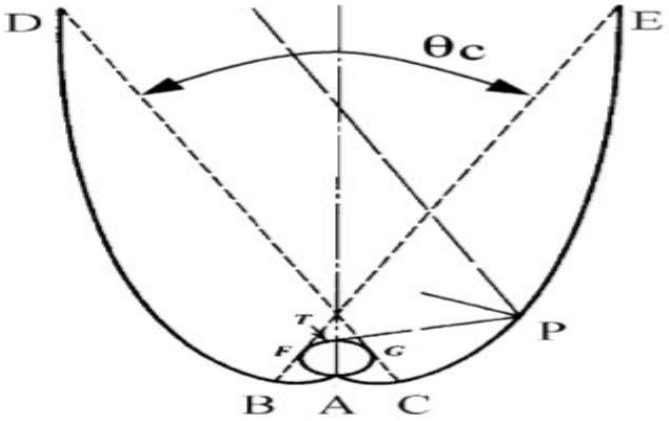
PFC kolektörlerin en çok kullanılan türüdür ve genellikle 100°C'e kadar olan sıcaklıklarda kullanılmaktadır. Ancak, günümüzde vakum izolasyonu veya şeffaf izolasyon kullanılarak daha yüksek sıcaklıklar elde edilmektedir [32]. Son zamanlarda birçok modern imalat teknikleri, kaynak yapımında hız ve kaliteyi artıran ultrasonik kaynak teknikleri kullanılmaktadır. Bu methodun en iyi avantajı kaynağın oda sıcaklığında elde edilmesidir; çünkü kaynak yapılan yerin deformasyonu engellenebilmektedir. Cam, bir ya da daha fazla plakadan oluşan veya diğer diatermik (radyasyon ileten) materyaldir. Tüpler, ısı transfer akışkanını iç ortamdan dış ortama iletmek, emici plakalar düz ve oluklu olabilen ve tüplere ya da geçitlere bağlanabilen materyallerdir. Bağlantı taşı ya da dağıtım borusu, izolasyon, akışkanı boşaltmak ve kolektörün arka ve yan yüzeylerinden ısı kaybını azaltmak için kullanılmaktadır. Kaplama ise; belirtilen bileşenleri ve kolektörü toz, nem gibi dış faktörlerden korumak için kullanılmaktadır.

FPC, birçok farklı dizaynda ve farklı materyallerle oluşturulmuştur. Kolektörler, su gibi akışkanları ya da havayı ısıtmak için kullanılmaktadır. Ancak, kolektörlerin asıl amacı düşük maliyette mümkün olabildiğince çok miktarda güneş enerjisini toplayabilmektir. Güneşin UV ışınları ve korozyon gibi negatif etkilerinin yanı sıra, ısı transfer akışkanının sertliğinde veya suyun donmasından kaynaklı tıkanmalar ve cam üzerinde toz ya da nem birikmesi, ısıl genleşmeden kaynaklı camın kırılması gibi durumlara rağmen; düz kolektörler uzun ve etkili bir yaşam ömrüne sahiptirler. Bütün bu olumsuz etkiler temperli cam kullanılarak azaltılabilmektedir.

Kaplama materyali olarak genel olarak cam kullanılmaktadır, çünkü gelen kısa dalgaboylu radyasyonun %90'nını aktarabilmekte ve emici plaka tarafından dışarı yayılan uzun dalga boylu radyasyonun da neredeyse tamamını geri yansıtmaktadır. Kolektör plakası, absorbe ettiği ısıyı transport sıvısına aktarmaktadır. Kolektör yüzeyinin kısa dalga boylu radyasyon için absorbe edilebilirliği, kaplamanın rengine ve radyasyonun geliş açısına bağlıdır. Genel olarak siyah renk kulanılmaktadır, ancak çeşitli renkte kaplamalar estetikle alakalı sebeplerden dolayı kullanılmaktadır [33], 34]. Uygun kimyasal ve elektrolit uygulamalarla, yüksek değerlerde solar radyasyon absorbsiyonu (α) ve düşük değerlerde uzun dalgaboyu emittansının (ε) elde edilebileceği yüzeyler oluşturulmaktadır.

Enerji verimli solar bir kolektör, gelen ışınımı absorbe edebilmeli, ısıl enerjiye çevirebilmeli ve minimum kayıpla her adımda ısı transfer ortamına aktarabilmelidir. Seçici solar emme yüzeyi oluşturabilmek için çok farklı fiziksel mekanizmalarda ve tasarım türlerinde kolektör kullanmak mümkündür. Solar emiciler, optik özellikleri farklı olan iki tabakadan oluşmaktadır [35].

Bileşik parabolik kolektör, görüntüleme yapmayan yoğunlaştırıcıdır. Gelen bütün radyasyonu geniş geniş sınırlar içerisinde emici üzerine yansıtmaktadır [36]. Güneşin gün içerisinde değişen konumdan dolayı parabol şeklinde iki oluk karşılıklı konumlandırılmıştır.

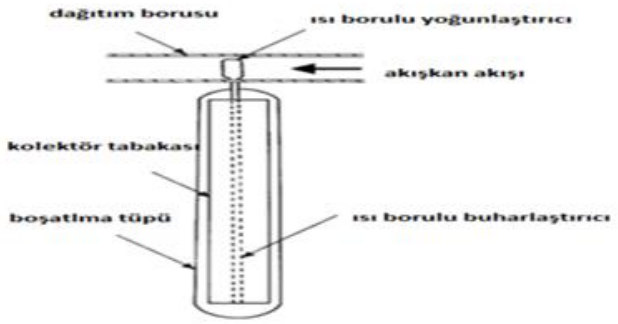


Şekil 2. 6 Bileşik parabolik reflektör [31].

Bileşik parabolik kolektörler, gelen radyasyonu geniş aralıkta kabül etmektedirler ve çeşitli iç yansımalar kullanarak kolektör açıklığına gelen (kolektör kabul açısı içerisinde)

radyasyon, kolektörün en altında bulunan emici (absorber) yüzeye ulaşmaktadır. Düz ya da silindirik şekillerde olmaktadır. Şekil 2. 3'te yer alan reflektörde, reflektörün en düşük oranları AB ve AC daireseldir ve yukarıdaki oranlar BD ve CE paraboliktir. CPC'ler kolektör içine toz girmemesi için camla kaplanmaktadır. Bu tip kolektörler, lineer ve oluk kolektör tipinde daha verimlidir. Kabül açısı, emici yüzeyde hareket edebildiği açıdır ve kolektörün oryantasyonu kabul açısına bağlıdır. Kabül açısına bağlı olarak kolektör sabit ya da hareketli olabilir. Uzun eksenli kolektörler, güney-kuzey ya da doğu-batı yönlerinde konumlandırılmaktadır. Kolektör açıklığı ise yerel enlem açısına bağlı olarak yerleştirilmektedir. Kuzey-güney doğrultusunda yerleştirilmiş kolektörler güneşi sürekli görebilmek için eksenini hareket ettirmek zorundadır. Kabul açısı uzun eksen boyunca sabitken, mevsimsel açı kalibrasyonu yeterli değildir. Sabit kolektörlerde güneş kabül açısıyla geldiği zamanlarda sadece kolektör radyasyon alabilir. Ancak, kolektör doğu-batı yönünde yerleştirildiğinde sadece çok küçük bir açı değişikliğiyle etkili bir şekilde güneş ışınlarını yakalayabilir. Kuzey-güney dikey doğrultuda yerleştirilen kolektörün minimum kabül açısı, ışınların maksimum geliş açısına eşit olmalıdır. Sabit CPC tipi kolektörlerde bu durumdaki minimum kabul açısı 47°'dir. Bu açı yazdan kış ekinoksuna kadar olan güneş eğim açısını kapsamaktadır.

Geleneksel düz solar kolektörler güneşli ve ılık mevsimler için geliştirilmiştir. Ancak, soğuk ve yağmurlu havalarda geleneksel kolektörlerin etkisi oldukça azalmaktadır. Daha da fazlası, nem ve buğudan iç materyallerde bozulma ve buna bağlı olarak sistemden elde edilen sonuçlar başarısız olmaktadır. Boşaltılmış tüp kolektörler(ETC), diğer kolektörlerden farklı olarak içerisinde yer alan vakum mühürlü bir tüp içerisinde bir ısı borusu bulunmaktadır [37].



Şekil 2. 7 Boşaltma tüplü kolektör [31].

ETC, yüksek sıcaklıklarda etkili konveksiyon süpresör ve seçici bir yüzeyin kombinasyonu ile iyi bir performans göstermektedir [37]. Vakum zarfları, konveksiyon ve kondüksiyon kayıplarını azaltır, bundan dolayı ETC diğer kolektör türlerine göre daha yüksek sıcaklıklar elde edilmektedir. PFC gibi ETC'lerde hem direkt hem de difüz radyasyonu toplamaktadırlar. Yine de, düşük geliş açılarında daha yüksek verim elde edilmektedir. Bu durum, ETC'ye PFC üzerinde önemli bir üstünlük sağlamaktadır.

ETC, ısıyı yüksek sıcaklıklarda sıvı-buhar faz değişim materyalini kullanarak aktarmaktadır. Vakum ölçekli tüp içerisinde ise (oldukça verimli termal kondüktör) ısı borusu bulunmaktadır [38].

2.1.7.2 Hareketli (güneşi takip eden) Kolektörler

Isı kaybının meydana geldiği alanlar azaltılarak, enerji aktarım sıcaklığı artırılmaktadır. PFC'lerden elde edilen sıcaklığın üzerine daha küçük alanlara yoğunlaştırma yapılarak çıkılmaktadır. Bu işlem genellikle, radyasyon kaynağı ile emici yüzey arasında optik bir cihaz konularak gerçekleştirilir. Yoğunlaştırıcı kolektörler, geleneksellerle karşılaştırıldığında çok daha avantajlıdır [39].

Başlıca avantajları aşağıdaki gibidir:

1. Aynı solar enerji toplama sisteminde, çalışma sıvısı PFC'lere göre daha yüksek sıcaklıklara çıkabilmektedir. Bu, daha yüksek termodinamik verimlilik elde etmek anlamına gelmektedir.

2. Yoğunlaştırıcı sistem ile termodinamik düzey ve iş arasında bir ilişki kurulabilmektedir. İş; termiyonik, termodinamik veya yüksek sıcaklıklı cihazlar olabilmektedir.

3. Isı kayıp alanının, alıcı alanına göre nispeten daha küçük olması ısıl verimliliği artırmaktadır.

4. Yansıtıcı yüzeyler, daha az materyal gerektirmektedirler ve yapısal olarak FPC'lerden daha basittirler. Bu yüzden, solar toplama yüzeylerde birim alan maliyeti yoğunlaştırıcı kolektörlerde daha az olmaktadır.

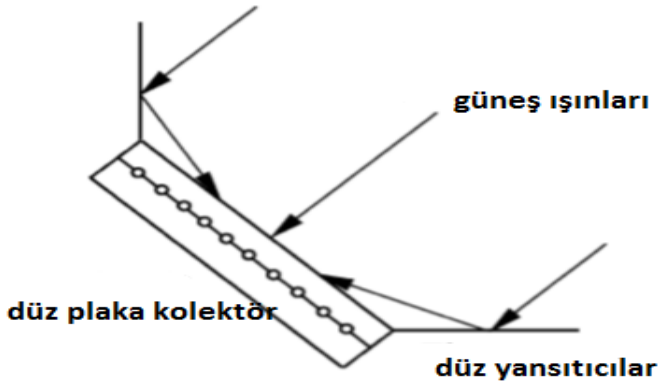
5. Küçük alanlı alıcının, birim alanına düşen solar radyasyndan dolayı, ısı kayıplarını azaltmak ve kolektör verimini artırmak için seçici yüzey uygulamaları ve vakumlu izolasyon ekonomik olarak mümkündür.

En önemli dezavantaları ise aşağıdaki gibidir:

1. Yoğunlaştırıcı sistemler, yoğunlaştırma oranından dolayı çok az difüz radyasyonu toplamaktadırlar.

2. Yansıtıcı yüzeyeler zamanla yansıtıcılık özelliklerini kaybetmektedirler ve periyodik bir temizliğe gerek duymaktadırlar.

Yoğunlaştırıcılar, silindirik veya parabolik şekillerde olamaktadır. Ayrıca, yoğunlaştırıcılar sürekli ya da kesikli olabilmektedirler. Alıcılar ise, konveks, düz, silindirik veya konkav olabilir ve camla kaplı olabilir ya da hiçbirşeyle kaplanamaktadır. Konsantrasyon oranları (örneğin; açıklık oranının emici alanına oranı) farklı büyüklükteki şiddetlerde olabilmektedir ve birim değerlerden çok yüksek rakamlara (10,000) kadar değer alabilmektedir. Güneşin gökyüzündeki sürekli hareketinden dolayı, geleneksel yoğunlaştırıcı sistemler, güneşin günlük hareketini takip etmek zorundadırlar. İki tip hareket sistemi bulunmaktadır. Birincisi, sistemin hem yükseklik ve azimut açısını takip ettiği altizimut yöntemidir. Paraboidal yoğunlatırıcı kolektörler, genellikle bu sistemi kullanmaktadırlar. İkinci sistem ise, güneşi doğu-batı ya da kuzey-güney doğrultularında takip eden tek eksenli güneş takip sistemleridir. Parabolik oluk kolektörler (PTC), genellikle bu sistemi kullanmaktadır. Güneşin değişen günlük hareketlerinden dolayı, bu sistemler süreklilik ve doğru kalibrasyon gerektirmektedir. Solar yoğunlaştırıcının ilk tipi kolektöre ulaşan solar radyasyonu artıran ve düz reflektörlerden oluşan düz plaka kolektörlerdir. Düz plaka kolekörler (FPC), sabit tipte kolektörlerdir; ancak açıklığı emiciden büyük olduğu için aynı zamanda yoğunlaştırıcı sistemlerdir [40]. Model, kolektör tarafından herhangi bir boylam için ve herhangi bir saatte toplanan enerjinin belirlenmesinden faydalanır. FPC'ler için bu yöntem ilk defa 1966'da Taylor tarafından önerilmiştir [41], [42], [43].



Şekil 2. 8 Düz yansıtıcılı düz plaka kolektör [40].

2.1.7.3 Görüntüleme (imaging) Yapan Kolektörler

Yoğunlaştırma işlemi, ayna ve lens gibi optik reflektörler kullanılarak elde edilmektedir. Yansıtılmış ışık, odak noktasına yoğunlaştırılarak alıcı bölgede yoğun enerji akışı elde edilmektedir. Yoğunlaştırıcılar, güneşin görüntüsünün alıcı üzerinde oluşup oluşmadığına bağlı olarak non-imaging ve imaging olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. CPC dışındaki kolektörler, imaging tipi kolektörlerdir. İmaging tipi kolektörler aşağıdaki gibi sıralanmıştır: [44]

1. Parabolik oluk kolektör

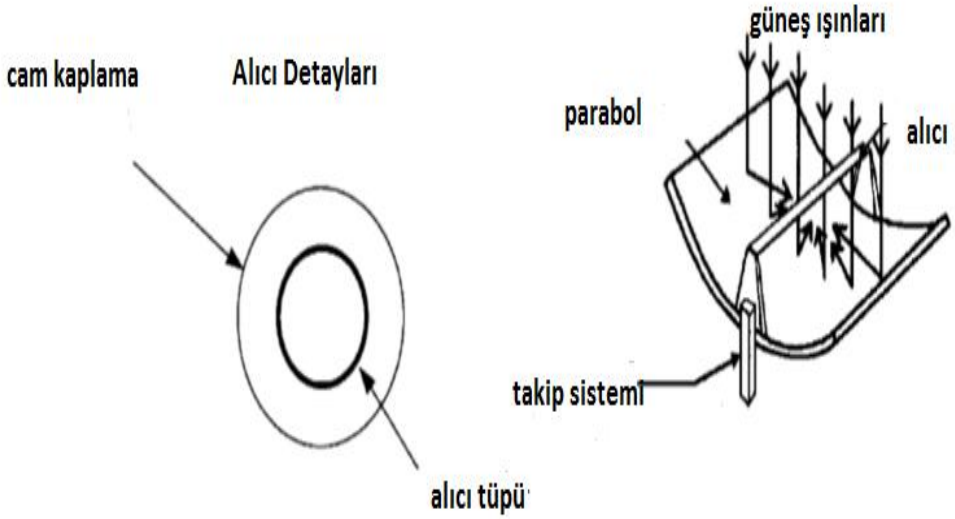
2. Lineer frensel kolektör (LFC)

3. Parabolik çanak

4. Merkezi alıcılar.

Düşük maliyetlerde 50-400°C'a kadar olan sıcaklık uygulamalarında parabolik oluk kolektörler kullanılmaktadır. PTC'ler levha yansıtıcı plakaların parabolik şekle sokulmasıyla yapılmaktadır. Isı kayıplarını azaltmak için cam tüple kaplı siyah bir tüp, alıcı üzerindeki odak doğrultusuna yerleştirilmektedir. Güneşe bakan parabolik reflektöre gelen paralel ışınlar, alıcı tüp üzerine yansıtılmaktadır. Tek eksenli takip sistemi kullanmak uzun kolektör modülleri üretmek açısından faydalıdır. Parabolik oluktaki alıcı lineerdir. Genellikle, dış yüzeyde alıcı olarak oluşturabilmek için odak düzlemi boyunca bir tüp yetleştirilir. Yoğulaştırma oranı, yansıtılan güneş görüntüsünün boyutuyla belirlenmektedir. Alıcı yüzeyi, solar radyasyon için yüksek

emicilik özellik gösteren seçici bir yüzeyle kaplanmaktadır; fakat bu yüzey ısıl radyasyon kaybı için düşük yayılım özellik göstermektedir. Kolektör, doğu-batı doğrultusunda konumlandırılarak güneşi kuzey-güney doğrultusunda, kuzey-güney doğrultusunda yerleştirilerekte güneşi doğu-batı doğrultusunda takip edebilmektedir [44], [45], [46]. Parabolik oluk teknolojisi, yapılan birçok başarılı uygulama alanda en avantajlı teknolojidir. Bu sistemin en büyük uygulaması Güney California'da solar elektrik üretim santrali (SEGS) olarakta bilinen enerji santralidir. Santralin toplamda üretim kapasitesi 354 MW_e'dir. Bu tip sistemlerin diğer bir uygulaması olan Plataforma Solar de Almeria (PSA) İspanya'da bulunmaktadır [47].



Şekil 2. 9 Parabolik oluk kolektör [31].

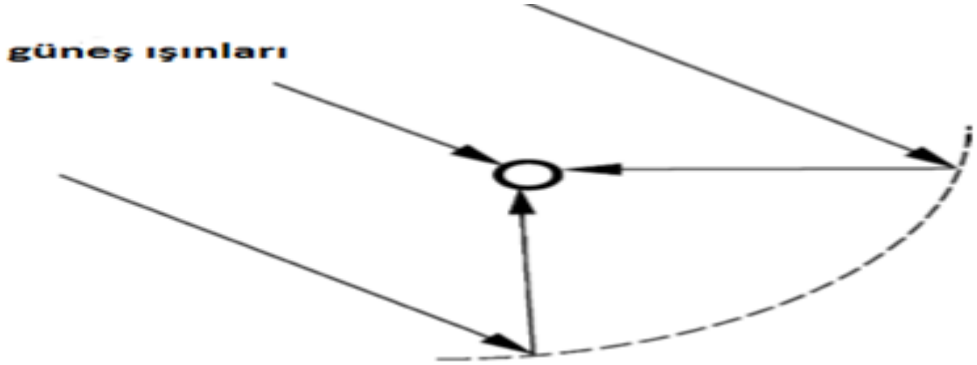
İndustrial Solar Technology Corporation (IST) 2700 m^2 alana parabolik oluk kolektörlerden oluşan böyle bir sistem kurmuşlardır [48]. IST'nin parabolik oluk verimlilik ve dayanıklılık testleri, Sandia German Aerospace Centre (DLR) tarafından yapılmıştır ve değerlendirilmiştir [49].

Çizelge 2. 4 IST tarafından kurulan PCT sistemin karakteristiği [49].

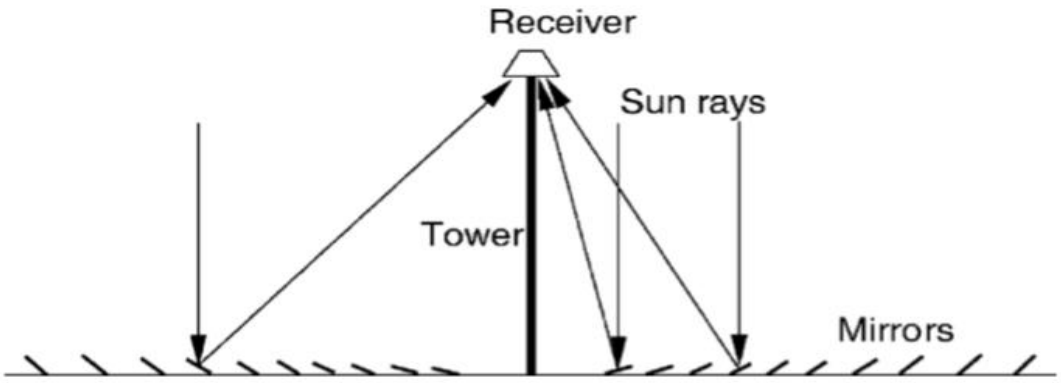
Parametre	Değer/ özellik
Kolektör kenar(jant) açısı	70°
Yansıtıcı yüzeyi	Gümüş kaplı akrilik
Alıcı materyali	Çelik
Kolektör açıklığı	2,3m
Alıcı yüzey tipi	çok seçici siyahlaştırılmış nikel
Soğurma çarpanı	0,97
Emittans (80°)	0,18
Cam geçirgenliği	0,96
Soğurucunun dış çapı	50,8 mm
G_{test}: test ortamında birim alan başına akış oranı (kg/s m^2)	0,015
k_o: mesafe verimliliği	0,762
k_1: verimliliğin ikinci dereceden etkisi ($W/m^2{}^\circ C$)	0,2125
k_2: verimliliğin ikinci dereceden etkisi ($W/m^2{}^\circ C$)	0,001672
b_0: gelen açıyı değiştiren sabit	0,958
b_1 : gelen açıyı değiştiren sabit	-0,298
Takip mekanizması doğruluğu	0,05°
Kolektör yönü	Eksen N-S doğrultusunda
Takip modu	E-W

LFR teknolojisi, ışığı lineer kulede sabitlenmiş alıcıya konsantre edebilen lineer ayna şeritlerden oluşmaktadır. LFR parabolik oluk reflektöre benzemektedir; ancak PTR'lerin aksine parabolik bir şekli yoktur ve emiciler (absorbe ediciler) hareket etmek zorunda

değildirler. Bu sistemin en önemli avantajı; parabolik cam reflektörlerle karşılaştırıldığında daha ucuz olan düz ya da kavisli reflektörler kullanmasıdır [50].



Şekil 2. 10 Fresnel tipi parabolik oluk reflektör [31].



Şekil 2. 11 Lineer frensel lenslerle aydınlatılmış alıcının şematik diyagramı [31].

Bu tip sistemi ilk uygulayan, 1960'larda İtalya Genoa'da hem lineer hem de iki eksenli güneşi takip eden Fresnel reflektör sistemini geliştiren ve güneş enerjisi öncülerinden Giorgio Francia'dır [50].

Parabolik çanak reflektör, güneşi iki eksende takip eden nokta odaklı bir kolektördür. Solar enerjiyi çanağın odak noktasında yer alan alıcıya göndermektedir. Çanak kısmı, güneş ışığını termal alıcıya yansıtmak için güneşi sürekli takip etmek zorundadır. Alıcı, radyant enerjiyi absorbe eder ve akışkan içinde enerjiyi ısıl enerjiye dönüştürmektedir. Termal enerji daha sonra direkt olarak alıcıyla birleştirilmiş motor-jenaratör olarak kullanılmak üzere elektriğe dönüştürülebilir veya borularla merkezi güç çevrim

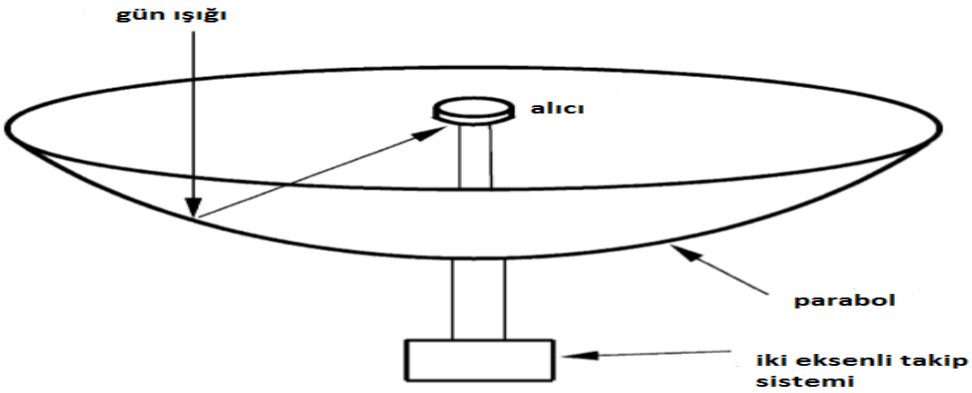
sistemine gönderilebilir. Parabolik çanak sistemler 1500°C 'ye kadar çıkabilmektedir. Parabolik çanakların bazı önemli avantajları aşağıdaki gibidir:

1. Güneşi sürekli takip ettikleri için en verimli kolektör tipidir.

2. Tipik olarak 600-2000 arasında yoğunlaştırma oranına sahiptirler.

3.Tek başına ya da çanak sistemin parçaları olarak fonksiyone olabilen modüler kolektör ve alıcı ünitelerine sahiptirler.

Bu tip yoğunlaştırıcı sistemlerin ana kulanım alanı parabolik çanak motor sistemleridir. Parabolik çanak motorlar, elektrik üretmek için ham petrol ve kömür yerine gün ışığı kullanan elektrik jenaratörlerdir. Sistemin ana parçaları, çanak yoğunlaştırıcı ve güç çevrim üniteleridir.

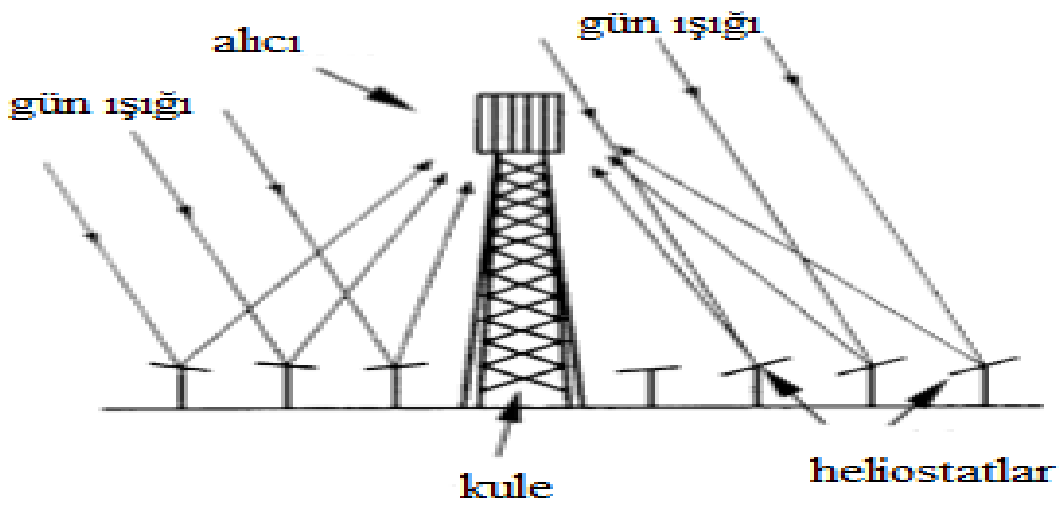


Şekil 2. 12 Parabolik çanak kolektör [31].

Merkezi güç dönüştürücüden elektrik elde edebilen parabolik çanak sistemler, absorbe gün ışığını güneşten toplarlar ve ısı transfer akışanı aracılığıyla gün ışığını güç çevrim sistemine aktarmaktadırlar. Isı transfer akışkanının sistemde sirkülasyonunun sağlanması ihtiyacını doğurması boru düzeni, pompalama gereksinimi ve termal kayıplar gibi tasarım sorunlarını ortaya çıkarmaktadır.

Her çanağın odak noktasındaki küçük jenaratörleri kullanan sistemler, ısıtılmış akışkandan ziyade elektrik sağlamaktadırlar. Güç çevrim üniteleri termal alıcı ve ısı motoru içermektedirler [51].

Çok yüksek enerji elde etmek için düz aynalar ve helisotatlar kullanarak, direkt solar enerji istenilen hedefe yansıtılmaktadır.



Şekil 2. 13 Merkezi alıcı sistem [31].

Gün ışığını yansıtmak için kullanılan kısım, heliostat tarlası ya da merkezi alıcı kolektörler olarak adlandırılmaktadır. Heliostat üzerinde küçük konkav ayna segmentleri kullanarak, yüksek miktarda termal enerji, yüksek sıcaklık ve basınçta buhar üretmek için buhar jenaratörünün boşluğuna gönderilmektedir. Kule üzerinde toplanan termal enerji, alıcı tarafından emilir ve güç üretimi için kullanılanacak olan akışkana aktarılmaktadır [50].

2.1.8 Biyoreaktörler

Biyolojik veya biyokimyasal proseslerin kontrollü ortamlarda ve operasyon koşullarında(pH, sıcaklık, basınç, besi ve artık ortamı) gerçekleştirilmesini sağlayan cihazlar olarak tanımlanmaktadır [51].

2.1.8.1 Kabarcıklı Kolon Biyoreaktörler

Bu tip reaktörler, sıvının içine gazın püskürtülerek verildiği kolonlardan oluşmaktadır. İç kısmlarında hareketli parça bulunmamaktadır. Proses için gerekli karıştırma, püskürtülen gaz ile sağlanmaktadır. Kabarcıklı kolon tipi reaktörlerde karışma için gerekli olan oksijen ise, püskürtülen gazdan sağlanmaktadır.

Kabarcıklı kolon biyoreaktörler, mekanik olarak basit bir tasarıma sahip oldukları için biyolojik proseslerde mekanik olarak büyük avantaj sağlamaktadırlar. Genellikle

kabarcıklı kolon biyoreaktörlerin yüksek vizkoziteli sıvılar içeren proseslere uygun olmadığı düşünülse de Merchuk tarafından uygunluğu kanıtlanmıştır.

Kabarcıklı kolon biyoreaktörlerin bir takım dezavantajları bulunmaktadır. Kabarcıklı kolon biyoreaktörlerin temel dezavantajı karıştırmanın havalandırma hızıyla bağlantılı olmasıdır. Karıştırma düzeyi havalandırma ile değişmektedir [52].

2.1.8.3 Hava Kaldırmalı Biyoreaktörler

Yiyecek ve içeceklerin fermantasyonla üretilmesinde bu tip biyoreaktörlerin kullanılması oldukça eskiye dayanmaktadır. Pnömatik karıştırmalı bu tip reaktörlerde akış, reaktör içerisinde bulunan gaz dağıtıcılar tarafından sağlanmaktadır. Bu tip reaktörler, dış döngülü hava kaldrımalı ve iç döngülü hava kaldırmalı biyoreaktörler olamk üzere iki grupta incelenmektedir. Bu reaktörlerin içinde akışı sağlayan kanalları oluşturan engeller bulunmaktadır. Bu reaktörlerde; yükselme bölgesi, iniş bölgesi, taban bölgesi ve gaz ayırma bölgesi olmak üzere dört farklı bölge bulunmaktadır. Hava kaldırmalı biyoreaktörlerin hareketli parçaların bulunmaması, yüksek gaz absorpsiyonu etkinliği, iyi ısı aktarım karakteristikleri ve kısa karışma süresi gibi avantajları bulunmaktadır [52].

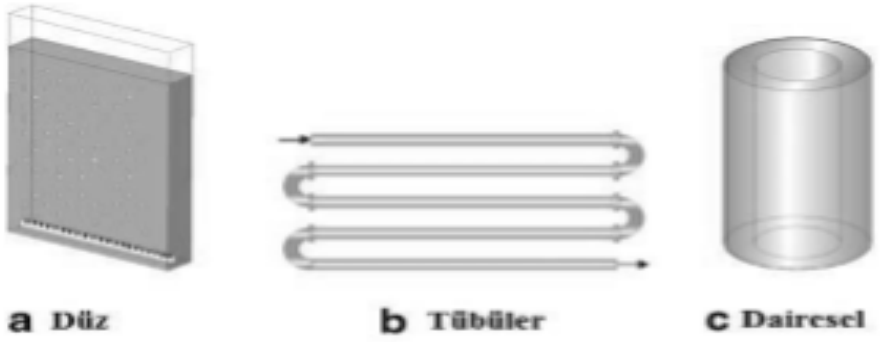
2.1.8.3 Fotobiyoreaktörler

Fototrofik mikroorganizmaların üretiminde kullanılan sistemlere genel olarak fotobiyoreaktörler (PBR) denilmektedir. Biyolojik CO_2/O_2 döngüsünde görev alan algler, organizmalar içinde en önemli ekolojik gruplardan biridir. Son yıllarda, alglerin gıda, yem ve ziraat gibi alanlarda kullanılması için biyoteknolojik çalışmalar yapılmaktadır. Alg üretiminde çeşitli plastik kaplar ve konteynırlar kullanılmaktadır. Ancak, bunların verimlerinin düşük olması tübüler fotobiyoreaktörler gibi kapalı sistemlere önem kzandırmaktadır [52].

2.1.8.3.2 Kapalı Kültür Sistemleri

Alglerin artık ilaç, yem, kozmetik ve gıda gibi alanlarda tercih edilmesinden dolayı, bu ürünlerin ağır metaller ve potansiyel mikrorganizmalar içermemesi gerekmektedir. Dolayısıyla, bakteri kontaminasyonunu engellemek için kapalı kültür sistemleri giderek

önem kazanmaktadır. Kapalı fotobiyoreaktölerin tasarımı ile ilgili son yıllarda önemli gelişmeler hız kazanmaktadır. Bu gelişmelerde hedef, her bir hücreye ulaşan ışık miktarını artırmaktır. Ayrıca, kapalı fotobiyoreaktörler kültürün iyi karışmasını sağlayan özeliklere sahip olmalıdır. Kapalı kültür sistemlerine örnek olarak; torbalar, tanklar, asansörlü fotobiyoreaktörler, içten aydınlatmalı forobiyoreaktörler, ince panel fotobiyoreaktörler, çift havalandırma sistemli fotobiyoreaktörler, tüplü fotobiyoreaktörler ve heterotrofik fermentörler gösterilmektedir. Tüplü fotobiyoreaktörlerde kontrollü bir akım sağlanarak algler karıştırılmaktadır. Bu tip sistemlerde karbondioksit ilavesi ve oksijen çıkışı, fotobiyoreaktörün verimine olumsuz etki yapmamakta ve ışık önemli bir rol oynamaktadır. Reaktörün içinde karanlık alan oluşturan bir boru bulunmaktadır. Dip kısımdan verilen hava bu borunun içinde sürekli yükselmekte ve bu sırada fotobiyoreaktör sürekli karıştırılmaktadır. İçten aydınlatmalı fotobiyorekatörler ise genelde 40 L olup, içten aydınlatılan metal iskeletlerle desteklenmiş polietilen tüpleriyle donatılmıştır [52].



Şekil 2. 14 Yaygın olarak kullanılan kapalı fotobiyoreaktör tasarımları [53].

2.1.8.3.2 Açık Kültür Sistemleri

Tanklar, kanal havuzlar, dairesel havuzlar, karıştırılamayan büyük havuzlar ve doğal göller örnek olarak gösterilmektedir. Mikroalg kültürüyle yapılan ilk çalışmalarda genellikle kapalı sistemler kullanılsa da, kapalı sistemlerin pahalı olması ve genişletilmesinin zor olmasından dolayı açık kültür sistemleri tercih edilmektedir. Mikroalg kütle üretiminde en eski ve basit sistemler açık havuzlardır. Açık havuzlar, yaklaşık 40 cm derinliğe sahiptir ve algler kendi ekolojik isteklerine benzer koşullarda üretilmektedir. Kanal şeklinde tasarlanan açık havuzlarda sistem bir çarkla sürekli

karıştırılmaktadır. Açık havuzlar, kapalı sistemlere göre daha az maliyetli olsa da, bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu sistemlerde buharlaşmayla büyük su kaybı meydana gelmektedir. Bundan dolayı, mikroalgler karbondioksiti verimli olamaz kullanamaz ve biyokütle üretimi sınırlı kalır. Ayrıca bu tip sistemler, bakteri kontaminasyonuna açık oldukları için, sadece kontaminasyona dirençli algler kullanılmaktadır [53].



Şekil 2. 15 Kanal tipi havuzlar [53].

2.2 Işık

Işık, doğrusal dalgalar halinde yayılan elektromanyetik bir dalgadır. Işığın üç temel özelliği vardır. Bunlar;

1. Frekans: Dalga boyu ile ters orantılıdır ve insan gözü frekansı renk olarak algılar.
2. Şiddet: Genlik olarakta geçer, insan gözü tarafından parlaklık olarak algılanır.
3. Polarite: Titreşim açısıdır, insan gözü tarafından algılanmaz [54].

Işık, foton adı verilen kütlesiz ve yüksüz atom altı parçaçıklardan oluşmaktadır. Fotonlar, frekans ve dalga boyuna sahip oldukalrı için tüm parçaçıklar gibi dalga özelliği gösterirler. Işık ışını dediğimiz şey, fotonların ilerlerken aldıkları yoldur. Günümüzde ışık, dalga ve parçaçık teorilerinin birleşmesinden oluşan bir teori ile açıklanmaktadır. Işık yayılırken bu iki özelliği de göstermektedir. Yani ışık ne başlı başına bir dalga, ne de başlı başına bir parçacıktır. Bir nesnenin aynı anda hem parçacık hem de dalga özelliği göstermesi mümkün değildir. Yani bu durumda, dalga-parçacık ikiliği bulunmaktadır. Dalga-parça ikililiğinden kasıt, ışığın belirli koşullarda parçacık ve belirli koşullarda dalga özelliği göstermesidir. Maddenin veya ışığın bu durumu atom seviyesinde yapılan gözlemlerde ortaya çıkmaktadır. Madde, eğer konumunu ortaya çıkaran bir gözlemde

incelenirse parçacık gibi, monentumunu ortaya çıkaran bir gözlemde incelenirse parçacık şeklinde görünmektedirler.

Işığın ve maddenin çok küçük taneciklerdenmi oluştuğu, yoksa uzaya yayılmış bir dalgamı olduğu sorusu çok eskilere dayanmaktadır. Kuantum kuramının ortaya çıkmasından önce, 19 yy'da J.C.Maxwell'in elektromagnetik kuramı ışık için çok etkili bir dalga modeli sunmuştur. Aynı zamanda atomların keşfi ile maddenin çok küçük taneciklerden oluştuğu fikri de netlik kazanmıştı. Böylece ışık için dalga modelinin, madde için ise tanecik modelinin geçerli olduğu düşüncesi ortaya çıkmıştır.

Kuantum kuramının gelişmesiyle, hem ışığın foton denilen taneciklerden oluştuğu hem de atomu oluşturan parçacıkların aynı zamanda dalga özelliği gösterdiği ortaya çıkmıştır. Görülebilir ışık için geçerli olan bütün fizik kuralları tüm elektromanyetik ışımalar için de geçerlidir. Elektromanyetik ışımaların ortak özellikleri aşağıdaki gibidir:

1. Boşlukta düz bir doğrultuda dağılırlar.
2. Hızları ışık hızına (300.000 m/sn) eşittir.
3. Geçtikleri ortama frekans ile doğru orantılı, dalga boyuyla ters orantılı olarak enerji bırakmaktadırlar.

Elektromanyetik dalgaların elektrik ve manyetik güçleri birbirlerine dik ve eş zamanlı olarak salınım yapmaktadırlar. Dalga modeli olarak bilinen bu durum sonucunda elektromagnetik dalgalar, sinüsoidal yayılım yapmaktadırlar. Sinüsoidal yayılımdaki hız, frekans ve dalga boyu parametreleri fotonun yayılımını açıklamaktadır. Dalga boyunun frekans ile ilişkisi eşitlik 3. 1 ile verilmiştir:

$$\lambda = v/f \qquad (2.\ 1)$$

Elektromanyetik radyasyonların hızları, ışık hızına eşittir. Frekans ve dalga boyu ile ilişkisi ise aşağıdaki eşitlikle gösterilmiştir: [54]

$$c = \lambda f \qquad (2.\ 2)$$

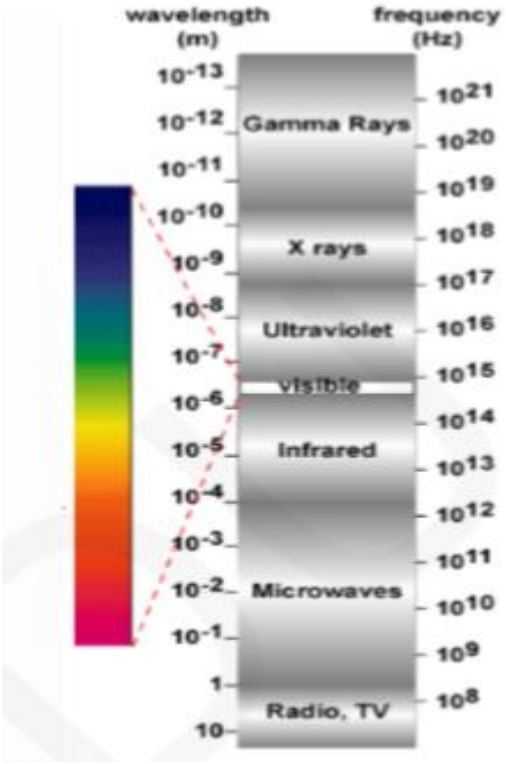
2.2.1 Elektromagnetik Spektrum

Görünür ışık, 380-780 nm arasında değişen elektromanyetik dalgadır. Dünyadaki ışığın kaynağı olan güneş görünür ışığın dışında infrared (IR), ultraviyole (UV) gibi

elektromanyetik dalgaları da yaymaktadır. Fizikte ışık, radyometrik birimlerle karakterize edilmektedir. Işığa görsel açıdan bakılmak istendiğinde, insan gözünün hassasiyetinden dolayı fotometrik birimlere dönüştürülmektedir. Elektromagnetik ışının özellikleri klasik dalga modeliyle açıklanmaktadır. Bu modelde kullanılan parametreler; dalga boyu, frekans, hız ve genlik gibi parametreler kullanılmaktadır. Dalga modeli, ışının absorbsiyonunu ve emisyonunu açıklamada yetersizdir. Absorbsiyon ve emisyonda elektromagnetik ışın foton adı verilen kütlesiz enerji paketçikleri olarak düşünülebilmektedir. 1900 yılında Max Planck ışığı enerji paketçikleri olarak tanımlaması üzerine, bu paketçiklerin her birinin enerjisini aşağıdaki eşitlik ile belirtmiştir: [55]

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

Eşitlik 2. 3'te, h Planck sabiti ve f frekans değeri olarak bilinmektedir.



Şekil 2. 16 Elektromanyetik spektrum [55].

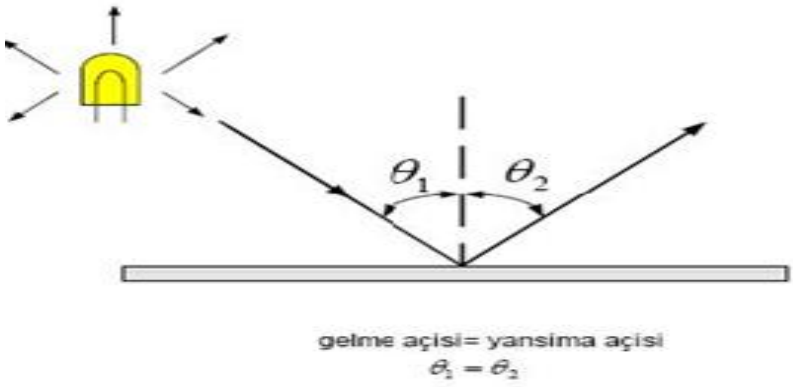
2.2.2 Elektromagnetik Radyasyonun Maddeyle Etkileşimi

Elektromanyetik radyasyonların madde ile etkileşimini dalga boyları belirler. Dalga boyu oldukça büyük olan radyo dalgaları metrelerle belirtilir ve radyo antenleriyle alınabilir. Mikrodalgalar ise santimetrelerle belirtilir. Görülebilir ışığın dalga boyu görme hücrelerini (rod ve cone) etkileyecek boyuttadır. Ultraviyole ışık ve X ışını ise atom ve atomaltı parçacıklarla etkileşir. Elektromagnetik spekturumun insanoğlu tarafından algılanan bölümü olan görünür ışık, spektrumun çok dar bir bölümünü oluşturmaktadır. Elektromagnetik spektrumda görünür ışığa yakın olan morötesi ve kızılötesi radyasyonlar insan gözüyle görülmemektedir; fakat fotoğrafik emülsiyon ve benzeri diğer yöntemlerle saptanabilmektedirler.

Görülebilir ışığın madde ile etkileşimi X ışınından farklıdır. Görülebilir ışık madde ile etkileştiğinde madde uyarılır ve foton başka bir ışık fotonu şeklinde yayılmaktadır. Bir madde, gün ışığında eğer kırmızı görülüyorsa, bu madde kırmızı dışındaki tüm görülebilir ışık fotonlarını soğurmakta ancak, uzun dalga boylu kırmızıyı yansıtmaktadır [56].

2.2.3 Işık Kanunları

Yansıtıcı bir yüzeyde ışığın gelme açısıyla yansıma açısı birbirine eşittir. Gelme açısı, yüzey normali belirlenerek bulunmaktadır.

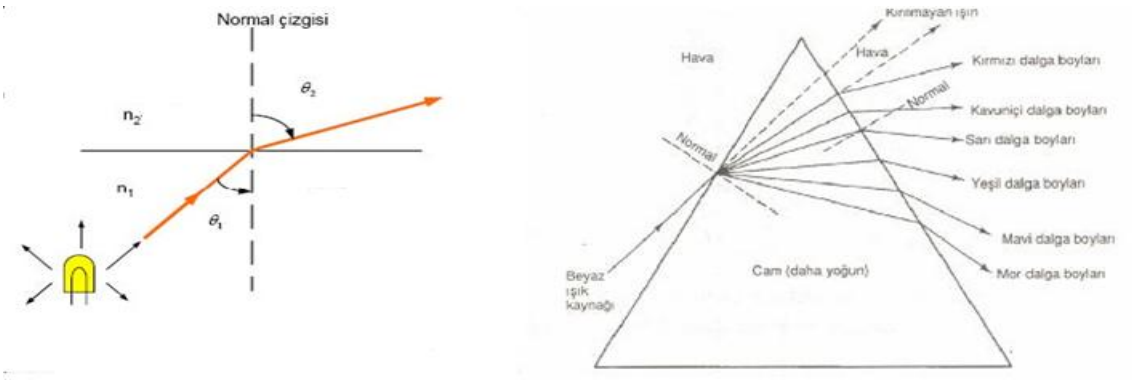


Şekil 2. 17 Gelen ışığın yansıma kurallarına göre görünümü [56].

Bir diğer ışık kanunu ise kırılma kanunudur. Işık çok yoğun bir ortamdan (kırılma indisi daha büyük) az yoğun bir ortama (kırılma indisi daha küçük) geçerken, normal çizgisi

denilen düzleme dik çizgiden uzaklaşarak yoluna devam etmektedir. Eşitlik 2. 4'te kırılma indisi n'nin formülü gösterilmektedir.

a b

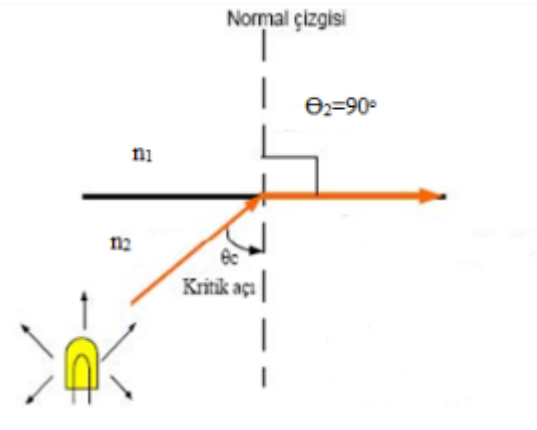


Şekil 2. 18 Işığın kırılma indisleri farklı ortamlarda kırılma açısının değişimi [56].

Bir ışık ışınının, farklı kırılma indislerine sahip iki geçirgen ortamın sınırına geldiğinde nasıl hareket ettiği Snell Yasası ile açıklanmaktadır. Şekil 3. 3 esas alınarak Snell Yasası Eşitlik 3. 4 ile aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$n_1 .\sin\Theta_1 = n_2 .\sin\Theta_2$ $\qquad \frac{n1}{n2} = \frac{sin\Theta 1}{sin\Theta 2}$ (2.4)

Fiber optik kablo içinde indis farkından kaynaklanan bir diğer ışık kanunu kritik açıdır. Çok yoğun ortamdan az yoğun ortama giden ışığın kırıldıktan sonraki yansıma açısının 90 derece olduğu gelme açısına kritik açı denmektedir.



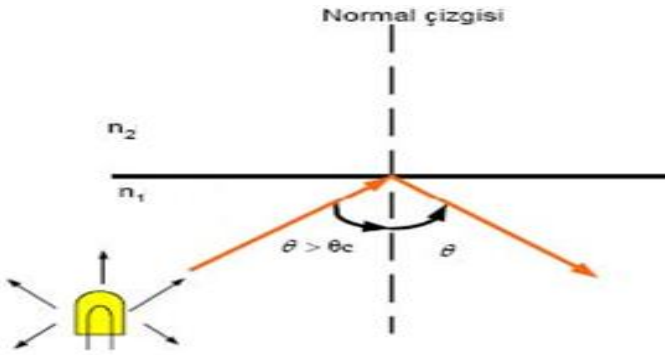
Şekil 2. 19 Kritik açıyla gelen ışın [56].

Eşitlik 2. 4'te yer alan n_1 ve n_2, iki ortamın sırasıyla kırılma indisleridir. Kritik açı değeri kullanılarak Snell Kanunu uygulanırsa:

$n_1 .\sin\Theta_c = n_2 .\sin 90$ (sin90=1)

$n_1.\sin\Theta_c = n_2$ olarak bulunur.

Kritik açıdan daha büyük bir gelme açısı ile çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçen ışık, ikinci ortama geçemez. Bu durumda gelme açısı yansıma açısına eşit olur ve tam yansıma gerçekleşir. Tam yansıma durumu şekil 3. 5'te gösterilmektedir [56].



Şekil 2. 20 Tam yansıma yapan ışık [56].

2.2.4 Fotometri ve Radyometri

Fotometri sadece görünür bölge için yapılan ölçümlerdir. Fotometrik birimler, lümen, kandela, lux ve Lambert'dir. Lümen, kısaca lm olarak gösterilmekte ve ışık kaynağının her yöne yapmış olduğu ışıma olarak tanımlanmaktadır. Kandela, kısaca cd, lümen/steradyan(lm/sr) olarak gösterilmekte ve kaynağın bir katı açı içinde yaydığı ışık miktarı olarak bilinmektedir. Lüks (lümen/m^2), kaynaktan uzaktaki birim yüzeydeki aydınlanma şiddetidir. Lambert (L), kaynak parlaklığı ya da kaynağın birim yüzeyinin ışıması olarak tanımlanmaktadır. Lambert (L), Kandela/m^2 olarak ifade edilmektedir.

Görüldüğü gibi, ışık kaynağı ile ilgili birimler lümen, kandela ve parlaklık, kaynağın aydınlattığı yüzeydeki aydınlanma birimi lüks'dür [57].

2.2.5 Neden Gün Işığı?

İnsanoğlu, bugün yüzyıllar öncesinden farklı olarak kapalı alanlarda daha çok vakit harcamaktadır. Günde ortalama sekiz saat çalışan birçok insan cam kenarında doğal ışık altında çalışamayacak kadar şanslı olamamaktadır. Bunun yerine, insanlar vakitlerini yapay ışığın altında harcamaktadırlar. Bu duruma, yeni bir teknoloji olan solar

aydınlatma teknolojileri çözüm sunmaktadır. Gün ışığının kullanımıyla ilgili birçok tartışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar, insan vücudunun en iyi doğal ışığa adapte olabildiğini göstermektedir [58]. Gün ışığı sadece günlük işlerimizi yerine getirmemizi sağlamaz; aynı zamanda vücuttaki fonksiyonları da etkilemektedir. Örneğin, melatonin hormonunun salınımı gün ışığıyla artmaktadır. Gün ışığı kalp ritmini ve uyku düzenini, yaşlanmayı, bağışıklık ve solunum sistemini, aynı zamanda üretim sistemini de düzenlemektedir [59],[60]. Gün ışığına maruz kaldığımızda, günlük işlerimizi yaparken daha dinç ve uyanık olduğumuz yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Çalışmalar, gün boyunca yapay ışık yerine doğal ışığa maruz kalan iç mekan çalışanları üzerindeki pozitif etkilerin önemini vurgulamaktadır.

Gün ışığının insan üzerindeki etkilerinin dışında, gün ışığından etkili bir şekilde faydalanmak için dizayn edilen binalar, yapay ışığa olan ihtiyacı azalmakta ve dolayısıyla enerji tasarrufu sağlamaktadır. Örneğin, San Francisco bulunan Lockheed Martin kompleksinde güneşten daha iyi faydalanmak için yapılan tavan pencereleriyle ve bina merkezinde bulunan atriumlarla enerji maliyetlerinde %50 veya yılda 0,5 milyon dolarlık kar elde edilmektedir. Elde edilen tasarruf, yapay ışıktan elde edilen ısı kazancının azaltılmasından kaynaklanan daha az soğutma ve daha az yapay ışık kullanımından kaynaklanmaktadır [61].

2.2.6 Işık Şiddeti (I)

Işık şiddeti, bir noktadan belli bir yönde birim katı açı başına yayılan ışık akısıdır. Bir bakıma kaynağın belirli bir yönde yaydığı ışık enerjisidir.

$$I\,(cd) = F\,(lm) / W\,(sr) \qquad (2.5)$$

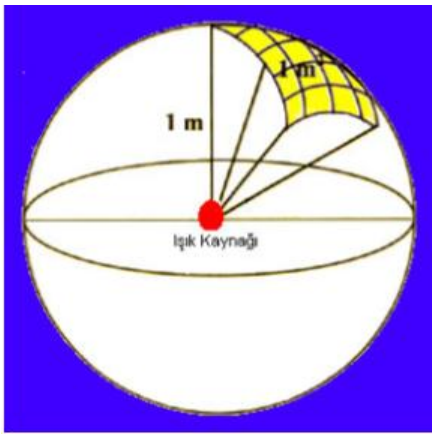
Burada W katı açısının birimi olan steradyan, bir kürenin yüzeyinde, kenar uzunlukları kürenin çapına eşit büyüklükte bir kare oluşturacak şekilde, kürenin merkezinden yüzeyine uzanan düzlemler arasındaki açıdır [62].

2.2.7 Işık akısı (F)

Işık akısı ışık enerjisinin akış miktarı olarak tanımlanabilir. Birim yüzeye dik olarak düşen ışık miktarıdır. Birimi lümendir:

1 lümen = 1 candela x 1 steradyan (2. 6)

Bir kürenin merkezindeki noktasal bir ışık kaynağının küre yüzeyinde oluşturduğu ışık akısı 4πI lümendir. Burada I ışık şiddetini 1 cd, kürenin yarıçapını da 1 m kabul edersek ışık akısının birimi olan lümeni elde ederiz. Kürede her 1 metrekare yüzeye 1 lümen ışık akısı düşer [61].



Şekil 2. 21 Işık akısı [61].

2.2.8 Aydınlık Düzeyi (E)

Aydınlık düzeyi, yüzey üzerinde oluşan ışıksal akının aydınlatılacak yüzeyin alanına olan oranını olarak tanımlanmaktadır. Aydınlık düzeyi 1 lm değerindeki ışık akısının 1 m^2 alana sahip bir yüzeye eşit yayılmış şekilde düştüğü durumda 1 lx değerindedir. “E” harfi ile gösterilir [62].

E (lüks) = F(lm)/m^2 (2. 7)

2.3 Fiber Optik Sistemler

Fiber optik sistemler aydınlatmada kullanılmadan önce pek çok alanda kullanılmıştır. İlk olarak 1870 yılında ortaya konan bu sistemden endüstri, tıp gibi alanlarda faydalanılmıştır [63]. Fiber optik sistemde temel olarak:

1. Jenaratör (ışık kutusu)

2. Fiber optik kablolar

3. Optik dağıtım elemanları

2.3.1 Jenaratör (ışık kutusu)

İçerisinde ye alan ışık kaynağı ve ışığı denetleyerek her bir fiber optik kabloya eşit ışık dağılımını sağlayan mekanizmadır. Işık kutusunda amaç, verimi yüksek lambalardan çıkan ışığın kayba uğramadan fiber optiklere yönlendirilmesidir [64].

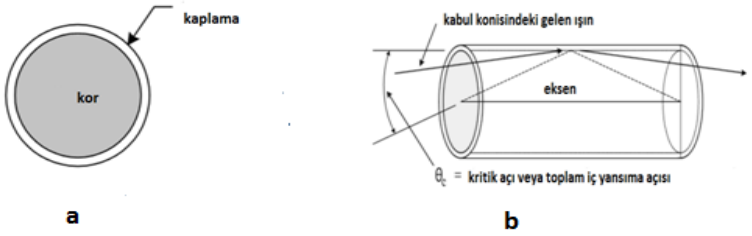
2.3.2 Fiber Optik Kablolar

Optik fiber, düşük kayıp oranına sahip materyallerden oluşan silindirik dielektirik dalga kılavuzudur. Fiber optik teknolojisi, son birkaç yüzyıldır geliştirilen ışık kuramının bir sonucudur. Bilim adamlarının ışıkla olan çalışmaları çok eskiye dayansa da, fiber optik teknolojilerdeki gelişmeler oldukça yenidir.



Şekil 2. 22 Fiber optik kablo çeşitlerinden bazıları [65].

Fiber optik teknolojiyle ışık arasındaki ilişki yansıma üzerine kuruludur. Newton kuramına göre, ışığın geldiği yüzeyde yüzey normaliyle yaptığı açı ve yansıma açısı değişmemektedir [65].



Şekil 2.23 Fiber optik kablonun yapısı [65].

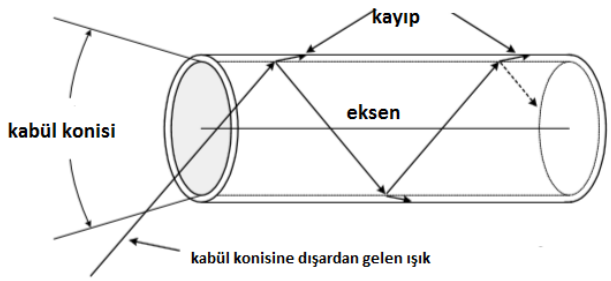
Şekil 2. 21'de görüldüğü gibi, fiber içerisindeki korun kırılma indeksi fiberin dışındaki kaplamadan daha büyüktür. Bu yüzden, uzun eksen boyunca toplamda oluşan iç yansımalar bağlı olarak kritik bir açı oluşur. Kritik açıya eşit ya da kritik açıdan küçük olan bütün ışınlar eksen boyunca ilerleyebilmektedirler. Kritik açı, koni şeklinde dairesel bir alan oluşturmaktadır. Kritik açıdan büyük açılarla gelen ışınlar, fiber optik içinde ilerleyememektedirler. Fiber içerisine giren ışın, kor ile kaplama arasında iç yansımalar yapmaktadır. Eşitlik 4. 1'de yer alan Θc kritik açı, n_{cl} ve n_{co} sırasıyla kaplamanın ve korun kırılma indeksleridir.

$$\Theta c = \sin^{-1} [1 - \frac{\mathrm{n\ cl\ 2}}{nco2}]^{1/2} \qquad (2.\ 8)$$

Eşitlik 2. 9'da yer alan denklemde ışık kabulüyle ilgili başka bir ölçüm olan sayısal açıklıktır.

$$NA = \sqrt{nco2 - ncl2} \qquad (2.\ 9)$$

Bu noktada bilinmesi gereken en önemli nokta gelen ışığın hepsi fiber optik içerisine girmemektedir ve fiber içine giren ışığın hepsi de fiberin sonuna kadar ilerleyememektedir. Birçok etken ışık yoğunluğunun azalmasına sebep olmaktadır. Işık, kabul konisi boyunca fibere girmezse, ışığın bir kısmı kaplama içerisine aktarılmakta veya fiber içerisine giremeden tekrardan dışarı yansıtılmaktadır. Işığın fiber kablo içinde tam yansımaya uğrayarak ilerleyebilmesi için fiberin kor bölgesine giren ışığın, belli bir açının altında olması gerekmektedir. Bu kritik açının oluşturduğu hayali koniye kabul konisi denilmektedir. Kabul konisinin büyüklüğü, korun ve kaplamanın kırılma indeksine bağlıdır [65].



Şekil 2. 22 Kabul konisine gelen ışık ve fiber içerindeki kayıpların şematik gösterimi [65].

2.3.2.2 Fiber Optiğin Temel Prensipleri

Fiber optikler temel olarak 3 kısımdan oluşmaktadır. İç kısımda fiberin damarı (kor), koru çevreleyen çeper ve en dışta kablonun kaplama bölümü bulunmaktadır. Işık fiber optik kabloya girdikten sonra kor boyunca düzgün bir şekilde yol alır ve buna mod denmektedir. Fiber kablonun tipine göre yüzlerce çeşit mod oluşturulmaktadır. Fiber optik kablo içindeki mod sayısı, korun çapına, ışığın dalga boyuna ve sayısal açıklığa bağlıdır. Günümüzde temel olarak kullanılan fiber optik kablo tipleri tek modlu ve çok modlu fiberlerdir.

Tek modlu fiberler, kor çapları 8,3 µm olan ve ışığın tek bir yolda ilerlemesini sağlayan fiber türüdür. Tek modlu fiberler kısa mesafeler için kullanılmaktadır. Çok modlu fiberler ise, ışığın birden fazla modunu ileten fiberlerdir. Kor çapları 50 µm ile 62,5 µm arasında arasında değişmektedir ve uzun mesafeler için kullanılmaktadır.

Fiber optik kablo içinde ilerleyen ışık, kor içinde yansımalar yaparak ilerlemektedir. Işığın kor içinde kor dışına çıkmadan ileleyebilmesi için tam yansımalar yaparak ilerlemesi gerekmektedir. Işığın tam yansıma yapabilmesi, fiber optik kabloya giriş açısına bağlıdır. Fibere girdikten sonra ise, kor ve kaplama arasındaki kırılma indeksi farkından dolayı ışık tam yansıma yaparak kor içinde ilerlemektedir. Tam yansımanın olması için kaplamanın kırılma indeksinin korun kırılma indeksine göre daha küçük olması gerekir. Işık boşlukta saatte 300,000 km'lik bir hızla ilerler [55].

$$n = \frac{ışığın\ boşluktaki\ hızı}{ışığın\ ortamdaki\ hızı} \qquad (2.\ 10)$$

Çizelge 2. 5 Bazı tipik ortamlar için kırılma indeksi [55].

Ortam	**Kırılma İndeksi**
Boşluk	1
Hava	1,0003
Su	1,33
Fiber Kablo Kaplaması	1,46

Çizelge 2. 5 Bazı tipik ortamlar için kırılma indeksi (devamı).

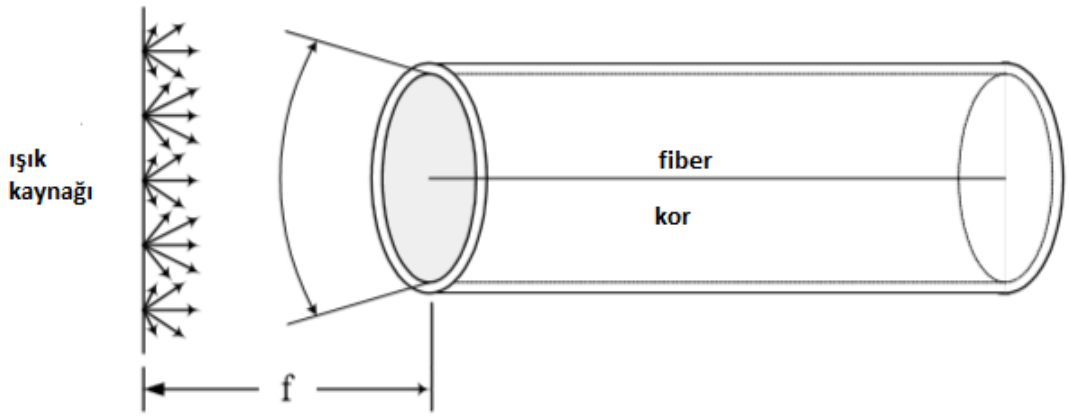
Fiber Kablo Koru	1,48

2.3.2.3 Fiber Optiklerde Işığı Toplama Teknikleri

Gelen ışığın bir kısmı fiber içine girmeden, bir kısmı ise fiber içindeki ışımalarla kaybedildiğinden fiber sonunda yeterli aydınlanma düzeyi sağlanamamaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelebilmenin çeşitli yöntemleri bulunmaktadır. Birincisi, gün ışığını fiber optiklere odaklamak için kullanılan konveks lenslerdir. Aslında difüz ışık kaynağı ve kaynaktan gelen ışığının açısının kontrol edilmesiyle, fiber içerisinde yoğun ışık elde edilmektedir. Ancak, lens tarafından oluşturulan görüntü sapmaları, özel lens-fiber kombinasyonunu gerektirmektedir Fresnel lensler, birçok güneş enerjisi uygulamalarında ışığı yoğunlaştıran ve taşıyan geleneksel lenslerdir. Yaklaşık 40 yıl önce bir grup bilim adamı güneş enerjisi uygulamalarında yoğunlaştırma oranını artırmak için yeni yaklaşım geliştirmişlerdir. Winston ve grubu tarafından, lens ve diğer görüntüleme yapan (imaging type) optik bileşen sapmalarından dolayı solar radyasyonu yoğunlaştırma yetersiz olduğu belirtilmiştir. Bu sınırlandırmanın üstesinden gelebilmek için Winston ve arkadaşları görüntüleme yapmayan (non-imaging type) optikler geliştirmişlerdir. Görüntüleme yapmayan optikler, ışık kaynağıyla hedef optik arasında optimum yayılımı sağlamaktadırlar. Ayrıca, ışığı fiber optik açıklığa yönlendirmenin yanı sıra, fiberin çıkış açıklığına kadar ışığa kılavuzluk yapmaktadır. Konsantrasyon oranı aşağıdaki eşitlik ile gösterilmektedir.

$$C = \frac{Ainc}{A} \qquad (2.\ 11)$$

Konsantrasyon oranı C, konsantrasyon yapacak olan optik enstrumanın açıklık açısına, iç yüzeyde yapacağı yansımaların sayısına, gelen ışığın geliş açısına ve iç yüzeyin yansıtıcılığına bağlıdır. Görüntüleme yapmayan yoğunlaştırıcıların gelişimi, son yıllarda iyi bir gelişim göstermektedir. Bu gelişmelerin birçoğu ise solar termal uygulamalar için kullanılmaktadır.

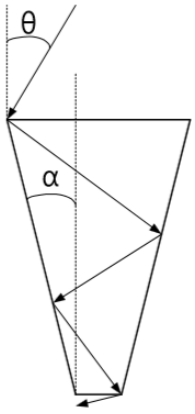


Şekil 2. 23 Fiber optiği aydınlatan difüz ışık kaynağı [56].

Fiber optik üzerine yoğunlaştırılmış ışın göndermek için farklı tasarımlarda yoğunlaştırıcılar üretilmektedir. Bu tasarımlar, üretimesi daha kolay olan kesikli piramitler ya da hekzagonlardır. Piramit şeklindeki yoğunlaştırıcının iki tarafı da şekil 'teki (parabolik oluk gibi) düşünülürse konsantrasyon oranı Eşitlik 2. 11'deki gibi olmaktadır.

$$C = \frac{Dinc}{Do} = \frac{\sin\left[(2n+1)\alpha+\Theta\right]}{\sin(\alpha+\Theta)} \qquad (2.\ 12)$$

Eşitlik 2. 12'de D_{inc} giriş açıklığının genişliği, D_O çıkış açıklığının genişliğidir. Eşitlik 4. 4 ile bağlantı kurulacak olursa, şekil 4. 4 'te yer alan kesikli piramitin C değeri eşitlik 4. 5'in karesine eşit olmaktadır. α açısı piramit açıklığının yarım açısı, Θ ise yüzey normaliyle ışın arasındaki açıdır. İndeks değeri n; piramitin içinde yapmış olduğu yansımaların sayısıdır [56].



Şekil 2. 24 Kesikli piramite gelen ışığın fiber optik girişinde ve içinde yaptığı açılar [56].

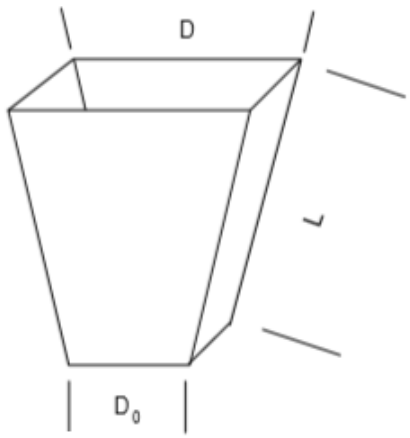
Yoğunlaştırıcı içinde gerçekleşen yansılamaların sayısında ve yapılan açılarda sınırlandırmalar söz konusudur. ‘n’ sayıda gerçekleşen yansımalardan sonra, yoğunlaştırıcının dikey eksenine bağlı olarak ışık ışınları 90°’den daha fazla açı yapmamaktadır.

$$2(n+1)\alpha + \Theta \leq 90° \qquad (2.\ 13)$$

Gerekli yoğunlaştırma oranını elde edebilmek için Eşitlik 4. 6’daki n, α ve Θ değerleri optimize edilmelidir. Optimize edildikte sonra, bu değerler ile yoğunlaştırıcı arasında gerekli bazı eşitlik 2. 14’te gösterilmektedir:

$$\frac{L}{Do} = \frac{\sin[(2n+1)\alpha+\Theta]-\sin(\alpha+\Theta)}{2.sin\alpha.\sin(\alpha+\Theta)} \qquad (2.\ 14)$$

Yapılan deneylerde, kesikli piramit içinde tekrar eden yansımalar, ışık gücünde kayıplar meydana getirmektedir. Bunun nedeni, hiçbir yüzeyin mükemmel olmamasından ve enerjinin piramit içinde yaptığı her yansımada bir miktar absorbe edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, değeri birim uzunluktan küçük olan yansıtma katsayısı olarak açıklanmaktadır.



Şekil 2. 25 Kesikli piramit modeli [61].

Bütün bu aşamalardan sonra bilinmesi gereken nokta; yoğunlaştırıcıdan elde edilen ışık ışınlarının ne kadarının fibere başarılı bir şekilde aktarıldığı ve ne kadarının fiber optik kablo sonuna kadar iletilebildiğidir. Bu durumun anlaşılabilmesi için yoğunlaştırıcının,

ışık ışınlarının giriş açıklığından fiber çıkışına kadar açışal dağılımını nasıl değiştirdiği bilinmelidir [61].

2.3.2.4 Fiber Optik Kablolarda Kayıplar

Fiber optik kablo ne kadar uzun olursa meydana gelen kayıpta o kadar çok olmaktadır. Yapılan çalışmalarda fiberin yapıldığı malzemenin kalitesine bağlı olarak fiber optik absorblama yapmaktadır. İyi bir fiber optik %1-2, orta düzeyde bir fiber optik ise %3 ve %5 arasında absorblama yapmaktadır. Fiber optikte ışık aktarımı ard arda meydana gelen kayıp mekanizmaları olarak adlandırılmaktadır. Fiberlerde meydana gelen yansıtma kayıpları ise, kor ile kaplama arasındaki kirliliğe bağlı olarak iç yansıma sürecinde meydana gelen bozulmalardan kaynaklanmaktadır. Yansıma kayıpları, absorblama kayıplarıyla karşılaştırıldığında daha az önemsizdir. Bir diğer kayıp saçılma kayıplarıdır. Bu tip saçılmalar, kor materyalinde meydana gelen kirlilikten dolayı ışık saçılmaya uğramaktadır. Saçılmaya uğrayan ışığın bir kısmı, küçülen geliş açısıyla birlikte fiberden kaçarak fiber-kor arasına kaçmaktadır. Ancak, bu durum cam fiberler yerine plastik fiberlerde görülmektedir. Son olarak söylenebilecek kayıp türü zayıflama kayıplarıdır. Zayıflama kayıpları, aynı zamanda absorblama kayıpları olarak adlandırılmaktadır ve dalga boyuna da bağlıdır. Bu tip kayıplar, en baskın kayıp türleridir ve fiber uzunluğuyla eksponansiyel olarak değişen ışık aktarımı meydana getirmektedir [59].

2.3.2.5 Cam Fiberlerle Plastik Fiberlerin Karşılaştırılması

Cam ve plastik kablodan hangisinin daha iyi olduğunu söylemek oldukça zordur. Genel olarak, cam fiberler daha uzun ömürlüdür; ancak plastik fiberler daha ekonomiktir. Cam fiberlerin ışık kaybı daha az olmasına rağmen, son yıllarda en az cam fiberler kadar az ışık kaybı sağlayan plastik fiberler üretilmektedir.

Aynı yarıçapa sahip bir demet küçük fiber geniş ve tek bir fiber karşılaştırıldığında geniş fiber daha az esnek olduğundan dolayı daha küçük yaşam aralığına sahiptir; fakat ışığı toplamada daha etkilidir.

Cam fiberler, kırılmadığı sürece çok uzun süre dayanmaktadır. Plastik fiberler kırılmaya karşı daha az hassastır; fakat UV ve IR ışınlar, plastik fiberin bozulmasına yol açmaktadır. Plastik fiberler, zamanla sarıya dönmekte ve bozulmaktadır. Aynı zamanda, ışık çıkışı şiddeti de sönmekte ve değişmektedir (tımpson 1994). Cam fiberlerin boyu arttıkça; mavi ışıkta artan kayıplar meydana gelirken, aynı uzunluktaki plastik fiberlerde kırmızı ışıkta giderek artan kayıplar meydana gelmektedir. Bu sebeple, bu etkiden kurtulmak için 10 m'den kısa fiber optik kullanılmalıdır. Diğer yandan, yapılan çalışmalarda 200m.2ye kadar fiber optik iletimde herhangi bir kayıp olmadığı yapılan çalışmalarda görülmektedir. Plastik fiberler için zayıflama kayıpları, 0,1 dB/m ile 0,4 dB/m arasında ve cam fiberler için bu değer 0,2 dB/m ile 0,6 dB/m arasında değişmektedir [59].

2.3.2.6 Fiber Optik Kablolarda Kayıp Mekanizması

Plastik fiberler cam fiberlerden daha esnek olmasına rağmen, cam fiberlerden daha büyük zayıflama oranına sahiptirler. Bu duruma rağmen, solar takip sistemlerinde bundle bending durumundan kaçınmak için plastik fiberler kulanılmaktadır.

Genel olarak, fiber optiklerde radyant akış; fiber optik uzunluğuna ve desibel kayıplarına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikler ifade edilmektedir:

$$T = \frac{\dot{O}o}{\dot{O}i} = 10^{-LdBloss/10} \qquad (2.\ 15)$$

$\dot{O}_0$ radyant akış çıkışı, $\dot{O}_i$ radyant akış girişi, dB metre başına kayıp (dBm^{-1}) ve L optik fiberin uzunluğudur.

PMMA'dan yapılmış optik bir fiber için elektronik absorpsiyon aşağıdaki ampirik formülle hesaplanmaktadır: [65]

$$\alpha_e = 1.58 \times 10^{-12} \exp(1.15 \times 10^4/\lambda)\ (dBkm^{-1}) \qquad (2.\ 16)$$

Elektronik emilim (absorbsiyon) fiberin içerisinde meydana gelen bir kayıp mekanizmasıdır. Bu kayıp, eşitlik 2. 17'da verilen Urbach Yasası'na uymaktadır:

$$\alpha_e(\lambda) = A_0 \exp(c/\lambda) \qquad (2.\ 17)$$

A_0 ve B_0, absorbans spektrumu tarafından belirlenen malzeme sabitleridir. Bu yasaya göre, λ arttıkça α_e azalır; fakat hiçbir zaman sıfır olmaz. Bu yüzden daha uzun dalga

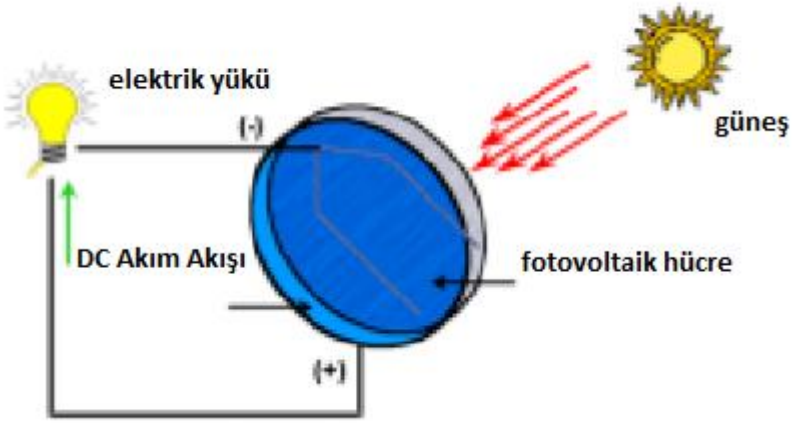
boylarında bile, elektronik aktarımdan dolayı bazı fazladan elektronik emilimler meydana gelmektedir.

2.3.3 Optik Dağıtım Elemanları (Sonlandırıcılar)

Fiber optik aydınlatma sistemlerinde kabloların uçlarına takılan çeşitli biçimlerdeki optik dağıtım elemanlarına sonlandırıcı denilmektedir. Sonlandırıcılar arasında 5°-45° ışık dağılımı sağlayan lensler bulunmaktadır [64].

2.3.4 Fotovoltaik (PV) Sistemler

Fotovoltaik sistemlerde yarı iletken hücreler kullanılmaktadır. Yarı iletken hücreler, güneş ışığını elektriğe dönüştürmektedir. Fotovoltaik etki güneş ışığının yarı iletken hücre üzerine düşmesiyle, ışığın DC elektrik akımına dönüşümünü sağlayan fiziksel işlem olarakta açıklanmaktadır.



Şekil 2. 26 Fotovoltaik pil yapısı [71].

Fotovoltaik pil ya da güneş pili, güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine çevirmesi olayı 1839 yılında elektrolit sıvılarda katı malzemelerin davranışlarını inceleyen Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel, elektrolit sıvı içerisinde bulunan metal elektrotlara ışık verildiğinde düşük gerilim ve akım değerlerinin oluştuğunu gözlemlemiştir. Selenyumunda benzer bir etki gösterdiği bundan 40 yıl sonra anlaşılmıştır.

Gelişmekte olan toplumlara büyük katkısı olabileceği düşünülen PV modüllerin dünyada 1994 yılında 500 MW olarak verilen toplam satış miktarı, 1998 yılında 800 MW ve 2000 yılı ile 1000 MW mertebesine ulaşmıştır [60]. PV modül üretimi günümüzde ise %15 artış oranıyla büyümektedir. Oluşturulan sistemler, büyük ölçekte elektrik şebekesinin ulaşamadığı ve küçük ölçekte ise enerji talebini karşılama ya da kırsal elektrik talebini karşılayan sistemler şeklinde oluşturulmuştur [71].

Fotovoltaik pillerin avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Avantajları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

1. Uzun iletim hatlarına gerek yoktur. Kullanılacak olan güç istenilen bölgeye kurulmaktadır.

2. Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren sistemler arasında en yüksek verime sahip olanıdır.

3. Yapıları gereği modüllerin güç ve gerilim seviyesi kolaylıkla artırılabilmekte veya azaltılabilmektedir.

4. Uzun vadede bakım gereksinimi duymazlar.

5. Uzun ömürlüdürler. Teorik olarak sonsuz olmasına rağmen ortalama ömürleri 25-30 yıldır.

6. Sessiz calışırlar, temizdirler ve çevreyi kirletmezler.

7. Yapısında bulunan silisyum doğada en çok bulunan maddelerdendir.

Dezavantajları ise aşağıdaki gibidir:

1. İlk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir.

2. Üretilen akım doğru akım olduğu için çeviriciler kullanılmaktadır.

3. Enerji sürekliliği olmadığı için, güneşin olmadığı vakitler için enerjiyi depolamak için bataryalar kullanılmaktadır [64].

Fotovoltaik modüllerin doğrusal olmayan yapısı, radyasyonun seviyesinden, çevresinden ve modül sıcaklığından kaynaklanmaktadır. Modüllerde akım gerilim ilişkisi Eşitlik 2. 18 ile aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$I = I_L - I_o[\exp(\frac{V+IRs}{Vt})-1] - \frac{V+IRs}{Rsh} \quad (2.18)$$

I_L ışık kaynağından üretilen akımı, R_S güneş hücresinin seri direncini, R_{SH} paralel direncini, V_t güneş hücresinin sıcaklığa bağlı termal gerilimini ifade etmektedir.

$$V_t = \frac{k.Tc}{q} \quad (2.19)$$

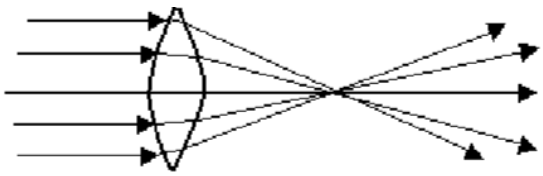
Eşitlik 2. 19'da Tc hücre sıcaklığı (K), k ve q sabitlerdir. Kısa devre akımı V=0 iken ve genellikle $I_{SH} = I_L.R_{SH}$ ihmal edilerek eşitlik 2. 20 aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$I = I_L - I_{o.}[\exp(\frac{V+IRs}{Vt})-1] \quad (2.20)$$

2.3.5 Toplayıcı (converging) Lensler

Lensler, ışığı geçirebilen transparan maddelerden yapılmaktadır. Adında anlaşıldığı gibi, toplayıcı lensler ışığı toplamak için kullanılmaktadır. Şeklinden dolayı toplayıcı lensler, ışığı tek bir nokta üzerinde toplayabilmektedir. Farklı şekillerde toplayıcı lensler bulunmaktadır; fakat genelde merkezi uçlarından daha ince olan bir lens toplayıcı lens olarak isimlendirilmektedir. Bu tip lensler aynı zamanda konveks lensler olarakta bilinmektedir [71].

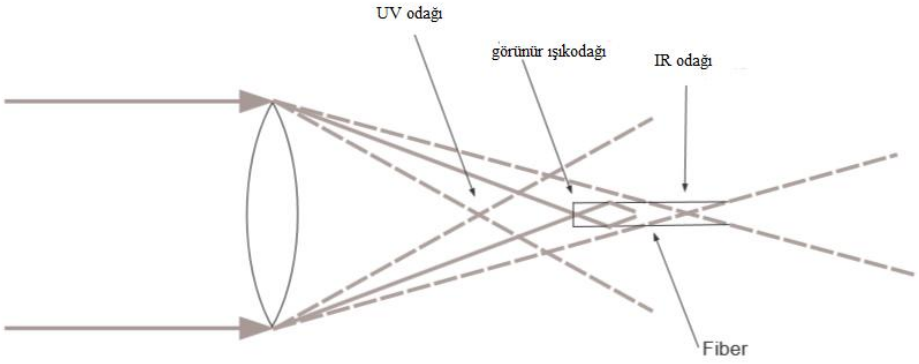
Optik merkez üzerinde yer alan yatay eksen temel eksen olarak bilinmektedir. Eğer ışık bu eksene paralel olarak hareket ederse, ışık lensin gerisinde bir noktaya (odaklayıcı nokta) odaklanmaktadır. Lensin merkeziyle temel odaklayıcı nokta arasındaki mesafe odak uzunluğudur.



Şekil 2. 27 Toplayıcı lens [56].

Elektromagnetik spektrumda yer alan farklı dalgaboylarını ayırt etmek için toplayıcı lens kullanılmaktadır. Gün ışığı konveks lens boyunca hareket ederse, optik merkez üzerinde gün ışığı için birden fazla odak noktası oluşmkaktadır. Farklı dalga boyları, lens arkasında farklı odak nokalarına sahiptirler. Farklı odak noktaları, kurulan sistem üzerinde gün ışığının istenmeyen kısımlarının sistemden uzaklaştırılmasına yardım

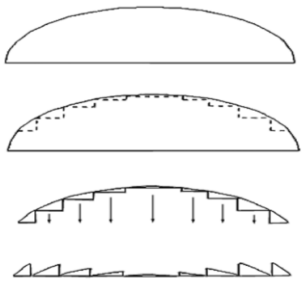
etmektedir. Himawari sistemi, UV ve IR radyasyonun çoğunu sistemden uzaklaştırmak için konveks lensleri kullanmaktadır [5].



Şekil 2. 28 Fresnel lens içinde farklı dalga boyları için farklı odak noktaları [66].

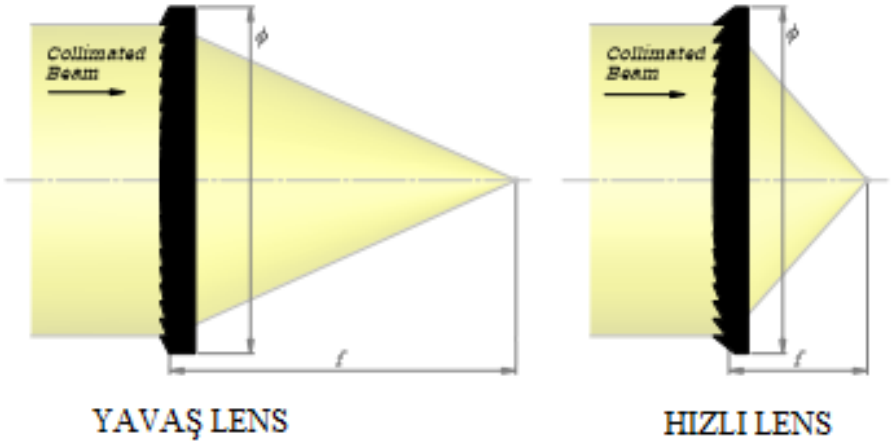
2.3.6 Fresnel Lensler

Fresnel lens, 19.yy boyunca Fransız fizikçi Augustin Fresnel (1788-1827) tarafından geliştirilmiştir. Bu tarihlerde Fransa, yeni ışık evleri inşaa etmenin yollarını aramaktaydı. Geleneksel lensler, hem çok büyük hem de pahalıydılar. 1748'de Georges de Buffon, ışığı yakalamak için sadece lens yüzeyinin yeterli olduğunu keşfetti. Bunun üzerine lensin iç kısmını çıkartıp, geriye sadece uçlarıyla birlikte halkalarının kalmasını sağladı. Fresnel, bu fikri benimsedi ve frensel lensleri ortaya çıkardı. Bu zaman diliminde frensel lensler sadece ışık evleri için kullanıldı. Frensel lensler, diğer lenslere göre daha düşük görüntü kalitesine sahiptir. Bunun sebebi, frensel lensin daha ince olması ve ışığı çok az kaybetmesindendir. Bu durum, ışık toplama uygulamalarında frensel lensi çok etkili yapmaktadır [70].



Şekil 2. 28 Fresnel lensin kesilerek nasıl son haline getirildiğini gösteren şematik diyagram [73].

Fresnel lensler, geleneksel yüzeysel optiklere göre daha verimli şekilde ışık taşıyan bir bileşenlerdir. Fresnel lensin odak uzaklığı, kullanıldığı uygulamaya göre değişiklik göstermektedir. Fresnel lens düz ve prizmatik olmak üzere iki yüzeye sahiptir. Prizmatik yüzeyde draft yüzeyi ve eğim yüzeyi olmak üzere iki tür yüzey bulunmaktadır. Odak uzaklığı, lens ile ışığın toplanması hedeflenen yüzey arasındaki uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Ancak, fresnel lens için etkili odak uzaklığının tanımı daha doğru yapılacak olursa, fresnel lens üzerindeki prizmatik yüzeylerin odak noktasına olan uzaklıktır. Yani, tek başına bir lens açıklığı boyunca birden çok odak uzaklığına sahip olabilmektedir. Fresnel lense ait odak sayısı, odak uzaklığının (f) lensin açıklık çapına (ϕ) oranı hesaplanarak bulunmaktadır [74]. Bulunan değer aynı zamanda lense ait hız olarakta tanımlanmaktadır. Odak sayısı ne kadar fazlaysa lensin hızı o kadar düşük, odak uzaklığı ne kadar yüksekse de lensin hızı o kadar büyüktür. Bu terminoloji aslında fotoğrafçılıktan gelmektedir; çünkü odak sayısı ne kadar azsa çekim hızı da o kadar fazla olmaktadır. Ayrıca, daha küçük oda sayısın sahip lensler, ışığı daha büyük odak sayısına sahip lenslerden daha hızlı odaklamaktadır [69].

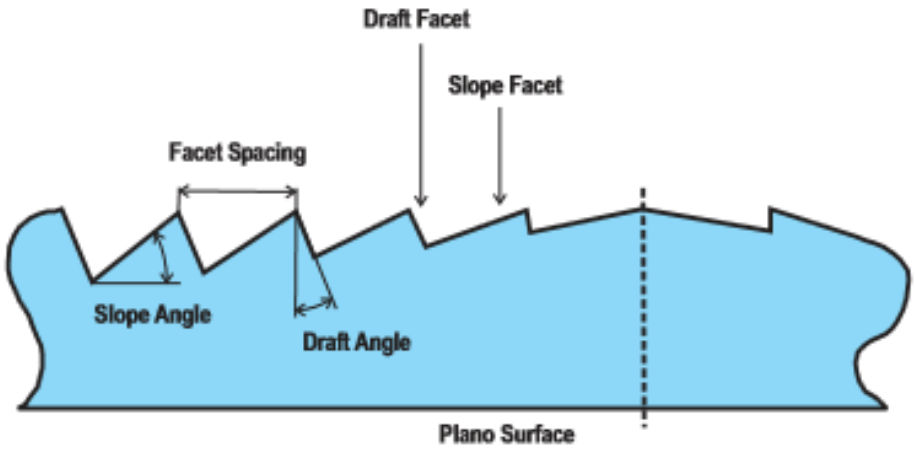


Şekil 2. 29 Odak uzaklığına bağlı olarak lensin hızlı veya yavaş olması durumu [67].

2.3.6.1 Prizmatik Yüzeylerdeki Optik Etkiler

Oluklara sahip fesnel lensin prizmatik yüzeyinde yer alan draft yüzeyinden dolayı gelen ışığın bir kısmı kaybedilmektedir. Bu kaybı azaltmak için draft yüzey dik hale getirilmektedir. Ancak, küf salınımını sağlamak için draft yüzeylere biraz eğim

verilmektedir. Ayrıca, kaybı azaltmak için yapılan bir diğer işlem draft yüzeyinin eğim yüzeyinin gölgesinde kalacak şekilde konumlandırılmasıdır [71].



Şekil 2. 30 Fresnel lens yüzeylerinin şematik gösterimi [68].

2.3.6.2 Fresnel Lenslerde Işık Aktarım Verimliliği

Fresnel lenste yer alan draft ve eğim yüzeylerinin doğrultularına bakılarak ve draft kayıpları ve yüzey yansımaları dikkate alınarak, lense ait odak uzaklığı sayısı sayesinde ışık aktarım verimliliği hesaplanmaktadır. Toplayıcı lensler gelen ışığı paralel hale dönüştürürken, yoğunlaştırıcı bir lensler ışığı bir noktada toplamaktadırlar. Oluk tipi dışarı doğru olan lensler, draft ve eğim yüzeylerini paralel ışınlara doğru yönlendirirken, oluk tipi içe doğru olan lensler bu yüzeyleri odak noktasına doğru yönlendirmektedir [72].

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, iç mikroalg dolu ve boş biyoreaktörün aydınlatılması için gün ışığını taşıyabilen optik bir sistem tasarlanmıştır. Mikroalg dolu solar biyoreaktör için, optik düzenekte yer alan fiber optik kabloların biyoreaktör içerisinde 4 farklı bölgedeki aydınlatma düzeyleri açık, kapalı ve bulutlu hava koşulları için hesaplanmıştır. İçi boş solar biyoreaktörde 12 adet fresnel lense gelen, fiber optik kabloya aktarılan ve fiber optik çıkışında oluşan şiddeti değerleri ve C (konsantrasyon oranı) değerleri bulunmuştur. Fresnel lensin aydınlık şiddetini nasıl değiştirdiği, solar biyoreaktörün dolu ve boş olduğu durumlar için karşılaştırılmıştır. Ayrıca tek bir frensel lens için aydınlık şiddeti değeri ölçülerek, C (konsantrasyon oranı) değeri hesaplanmıştır. Bu değer, teorik olarak hesaplanan içi boş solar biyoreaktörün konsantrasyon oranıyla karşılaştırılmıştır ve fresnel lensin ışığı aktarmadaki etkinliği değerlendirilmiştir.

3.1 Biyoreaktörün Hazırlanması

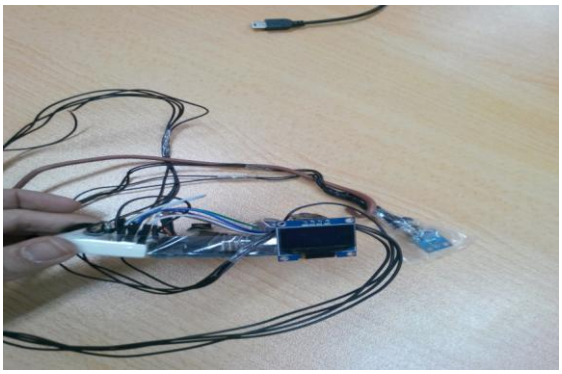
1 m çapında ve yüksekliğinde olan mikroalg yetiştirme amaçlı kurulan solar biyoreaktör, Yıldız Teknik Üniversitesi içinde yer alan seraya kurulmuştur. 12 farklı noktaya, biyoreaktör yüzeyine dik olcak şekilde ve bir ucu fresnel lensin odağında olan 10 metrelik fiber optik kablolar yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 1 Solar biyoreaktörün dolu ve boş gösterimi.

3.2 Lüksmetrenin Hazırlanması

BH1750FVI tipi lüksmetre kullanılmıştır. Minimum 0.11 lx ve maksimum 100000 lx ışık şiddeti ölçebilmektedir ve 1.8V dijital giriş arayüzeyine sahiptir. Lüksmetre, ara kabloyla güç kaynağına bağlanmaktadır.



Şekil 3. 2 Lüksmetre.

Çizelge 3. 1 Lüksmetrenin teknik özellikleri.

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Yeterli voltaj	V_{max}	4.5	V
Uygulama sıcaklığı	Topr	-40-85	°C

Çizelge 3. 1 Lüksmetrenin teknik özellikleri (devamı).

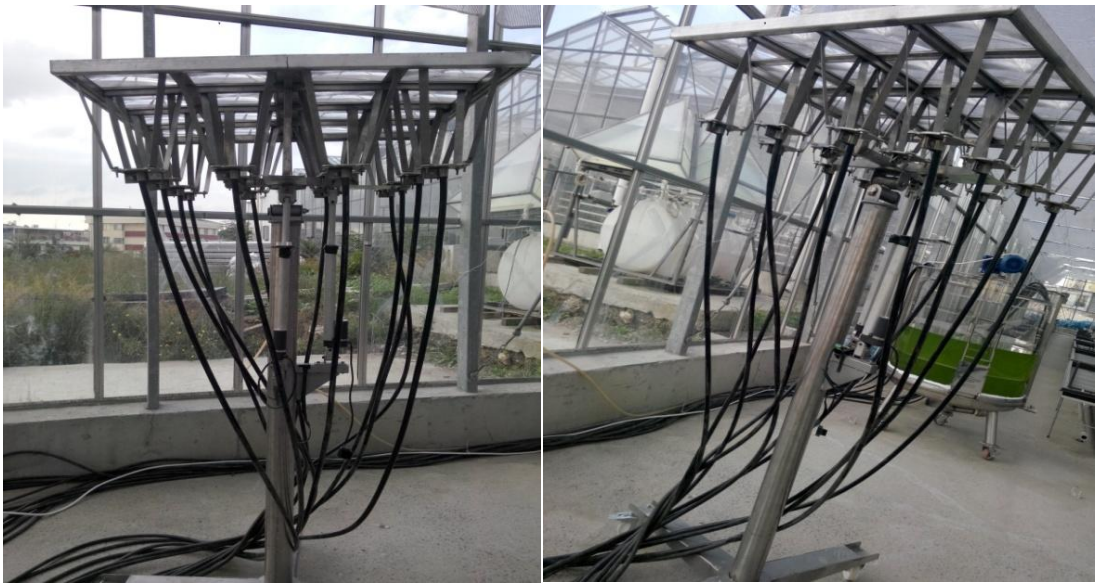
<table>
<tr><td>Depolama sıcaklığı</td><td>Tstg</td><td>-40-100</td><td>°C</td></tr>
<tr><td>V_{CC} VOLTAJ</td><td>V_{CC}</td><td><table><tr><td>Minimum</td><td>Maksimum</td></tr><tr><td>2.4</td><td>3.6</td></tr></table></td><td>V</td></tr>
<tr><td>I^2C referans voltajı</td><td>V_{DVI}</td><td><table><tr><td>Minimum</td><td>Maksimum</td></tr><tr><td>1,65</td><td>V_{CC}</td></tr></table></td><td>V</td></tr>
</table>

3.3 Fiber Optik Kablonun Optik Düzeneğe Yerleştirilmesi ve Biyoreaktör İçine Taşınması

E-pof-14 tipi iç çapı 14,3mm ve dış çapı 17mm olan, PMMA'dan yapılmış, 10 metre uzunluğunda 12 adet fiber optik kablo optik tasarım kule üzerinde frensel lens odağına konumlandırılmıştır. Mikroalg üretimi için kullanılan solar biyoreaktör içerisine taşınan optik kablolar burada 4 farklı noktada (biyoreaktör mikroalg doluyken) homojen ışık dağılımı için sabitlenmiştir. Atmosferdeki aydınlanma şiddeti ölçüldükten sonra, biyoreaktör içerisindeki 4 fiber optik kablo çıkışındaki aydınlık şiddeti lüksmetre ile ölçülmüştür. Bu ölçümler, fiber açık bulutlu ve kapalı hava koşulları için tekrarlanmıştır.

Fiber optik kabloyla yapılan ikinci ölçüm; içi boş solar biyoreaktörün 12 farklı noktasındaki toplam aydınlanma şiddetinin belirlenmesi olmuştur.

Fiber optik kabloyla yapılan son ölçüm, tek bir frensel lens kullanılarak gün ışığının fiber optik kablo çıkışına ulaştırılması ile gerçekleşmiştir. Optik fiberin, frensel lens kullanılarak üzerine düşen ışık miktarının arttığı ve buna bağlı olarak çıkış değerininde arttığı gözlenmiştir.



(a) (b)

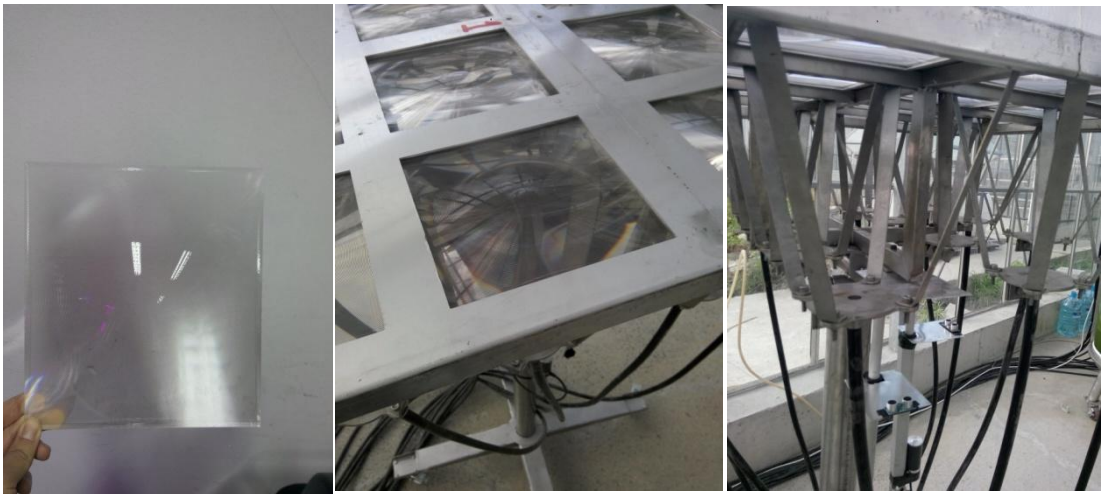
Şekil 3. 3 Fiber optik kablonun optik kule ve biyoreaktör içine yerleştirilmesi.

Çizelge 3. 2 Fiber optik kablonun teknik özellikleri.

Parametre	Birimi	Değeri
Kor materyali	Polymerised jel	-
Kor kırılma indeksi		-
Kaplama kırılma indeksi	1.402	-
Nümerik açıklık (NA)	-	0.6
Kor çapı		14mm
Kaplama çapı	-	17.3mm
Depolama ve uygulama sıcaklığı	-	20-50
Sıcaklık aralığı	-	-40-100
Aktarma kaybı	-	350dB/km
Minimum bükülme yarıçapı	metre	8times diameter

3.4 Optik Sistemde Bulunan Fresnel Lenslerin Hazırlanması

1m yüksekliğinde ve çapında olan solar biyoreaktörün aydınlatılmasında kullanılan frensel lenslerden ve fiber optik kablolardan oluşan optik sistem kullanılmıştır. Optik sistemde kullanılan frensel lensler, 20cm x 20cm boyutlarında, odak uzaklığı 25 cm ve kalınlığı 0,5 cm'dir. Sera içinde bulunan solar biyoreaktöre ait optik sistem, batı yönüne bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Solar biyoreaktör içerisindeki 4 farklı fiber optik kablo çıkış noktasında yapılan aydınlanma şiddeti ölçümleriyle, frensel lensin aydınlanma şiddetinin değişmesinde ne derece etkili olduğu tartışılmıştır.



(a) (b) (c)

Şekil 3. 4 Solar optik kule üzerinde fresnel lensin çeşitli açılardan görünümü.

3.5 Tek Bir Fresnel Lens ve Fiber Optik Kablonun Aydınlatma Şiddeti Ölçümü İçin Hazırlanması

Havanın kapalı olduğu bir günde, tek bir fresnel lens ve fiber optik kablo kullanılarak fresnel lens üzerine gelen, fresnel lensten fiber optik kablo girişine gelen ve fiber optik kablo boyunca fiber optik kablo çıkışında okunan aydınlanma şiddeti değerleri ölçülmüştür. Bulunan sonuçlar, içi boş solar biyoreaktör için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.



(a) (b)



(c) (d)

Şekil 3. 5 Fresnel lens, fiber optik kablo girişi ve fiber optik kablo çıkışındaki aydınlık şiddetlerinin ölçümü.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

4.1 Boş Solar Biyoreaktör İçerisindeki Aydınlanma Şiddetinin Belirlenmesi

Açık havada atmosfer ışık şiddetine bağlı olarak, 1m$^{2'}$ye düşen ışık şiddeti yaklaşık hesaplanmıştır. Bundan yola çıkarak, frensel lense düşen ışık miktarı ve daha sona frensel lensin odağında bulunan fiber optik kablonun girişindeki ışık miktarı ve içi boş solar biyoreaktör için teorik olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, tek bir fiber optik kablo için ve üç farklı atmosfer durumunda, frensel lensin ışığı yoğunlaştırma oranı (C) ve aydınlık şiddeti (E) bulunmuştur. 12 adet frensel lens ve fiber optik kabloya gelen toplam ve ortalama ışık şiddetleri hesaplanmıştır. Solar biyoreaktörde kullanılan 10 metre fiber optik kablodan elde edilen aydınlık şiddeti, 20 metre fiber optik kablo kullanılması durumunda meydana gelen aydınlık şiddetiyle karşılaştırılmıştır. 12 farklı fiber optik noktasında, 10 metre fiber optik kablo ucuna gelen ışık miktarının ne kadarının biyoreaktör içine aktarıldığı ışık aktarım yoğunluğu formülü olan eşitlik 2. 15 ile bulunmuştur:

$T = \frac{\dot{O}o}{\dot{O}i} = 10^{-L.dBloss/10}$ = $10^{-(10.0.35)/10}$ = %44,6 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 1 Fresnel lens, fiber optik kablo girişinde ve çıkışında ölçülen gelen aydınlanma şiddeti değerleri.

Fiber optik kablolar	Açık havada frensel lens üzerindeki aydınlık şiddeti (lüks)	Frensel lensten fiber optik girişine aktarılan ışığın aydınlık şiddeti (lüks)	T hesaplanarak elde edilen fiber optik kablo ucunda ölçülen aydınlık şiddeti (lüks)
1 nolu fiber optik	32000	30000	13200
2 nolu fiber optik	32150	30140	13261
3 nolu fiber optik	32450	30421	13385
4 nolu fiber optik	32000	30000	13200
5 nolu fiber optik	32200	30187	13282
6 nolu fiber optik	33100	31031	13653
7 nolu fiber optik	31000	29062	12787
8 nolu fiber optik	31115	29170	12834
9 nolu fiber optik	32600	30562	13447
10 nolu fiber optik	33200	31125	13695
11 nolu fiber optik	34000	31875	14025
12 nolu fiber optik	35100	32906	14478
	I_{ort}=32576	I_{ort}=30539	I_{ort}=13437

Alanı 400 cm^2 olan bir adet frensel lens üzerine gelen ışığın % 93.75 ‘ni, alanı 7.67 cm^2 olan fiber optik kablo girişine yoğunlaştırmaktadır. 10 metre fiber optik kablo için

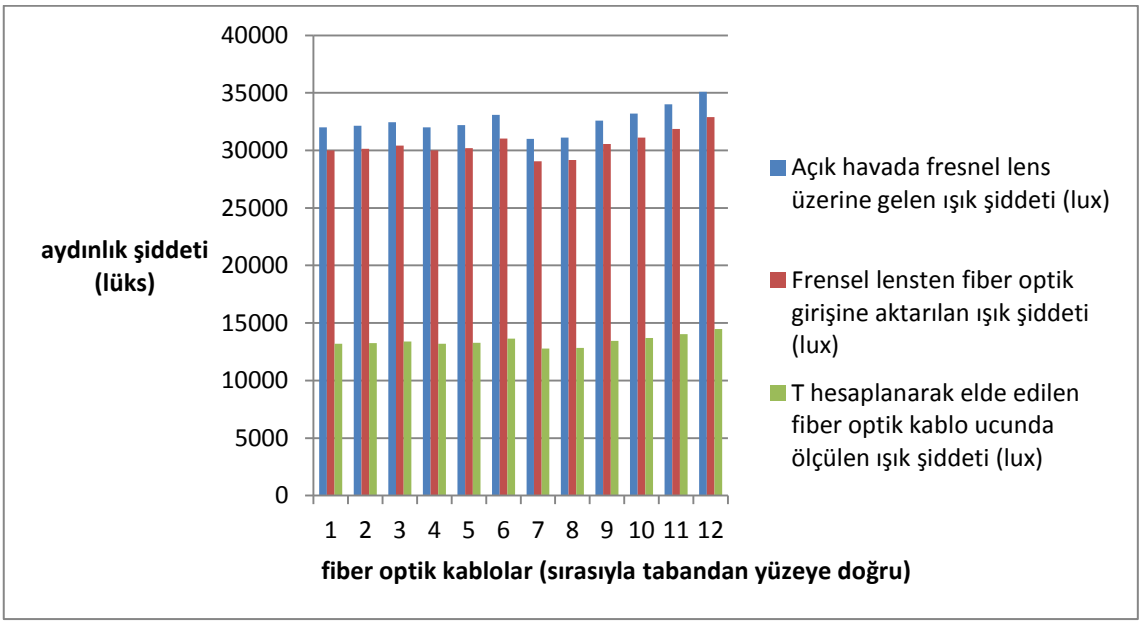
bulunan %44,6'lık ışık aktarım yoğunluğu da hesaplanarak için fiber optik kablo çıkışında elde edilen ışık şiddeti değerleri bulunmuştur.

Çizelgede yer alan 1 nolu fiber optik kablo için frensel lensin fiber optik kablo girişine ulaşan ışık yoğunluğunu nasıl etkilediğini hesaplayacak olursak, 400 cm^2 fresnel lense gelen aydınlık şiddeti değeri 32000 lux'tür. Alanı 7,67 cm^2 olan fiber optik kablo girişine gelen aydınlık şiddeti frensel lens yokken 613,6 lux'tür. Ancak frensel lens kullanıldıktan sonra 1. fiber optik kablo girişinde ölçülen ışık şiddeti 30000 lux olmuştur. Frensel lens kullanımı fiber optik kablo girişinde ve buna bağlı olarak fiber optik kablo çıkışında meydana gelen aydınlık şiddetini yaklaşık 48 katına çıkarmıştır.

12 adet fiber optik kablo için bulunan ortalama aydınlık şiddeti değeri kullanılarak, çapı 1 metre ve 50 cm yüksekliğine kadar dolu silindir şeklindeki biyoreaktör için ışık akısı (lümen) teorik olarak hesaplanacak olursa:

1 lx= $1lm/1m^2$

13437= $lm/(\prod.r^2.h)=lm/3,14.(0,5)^2.0,5$ =5274 lm

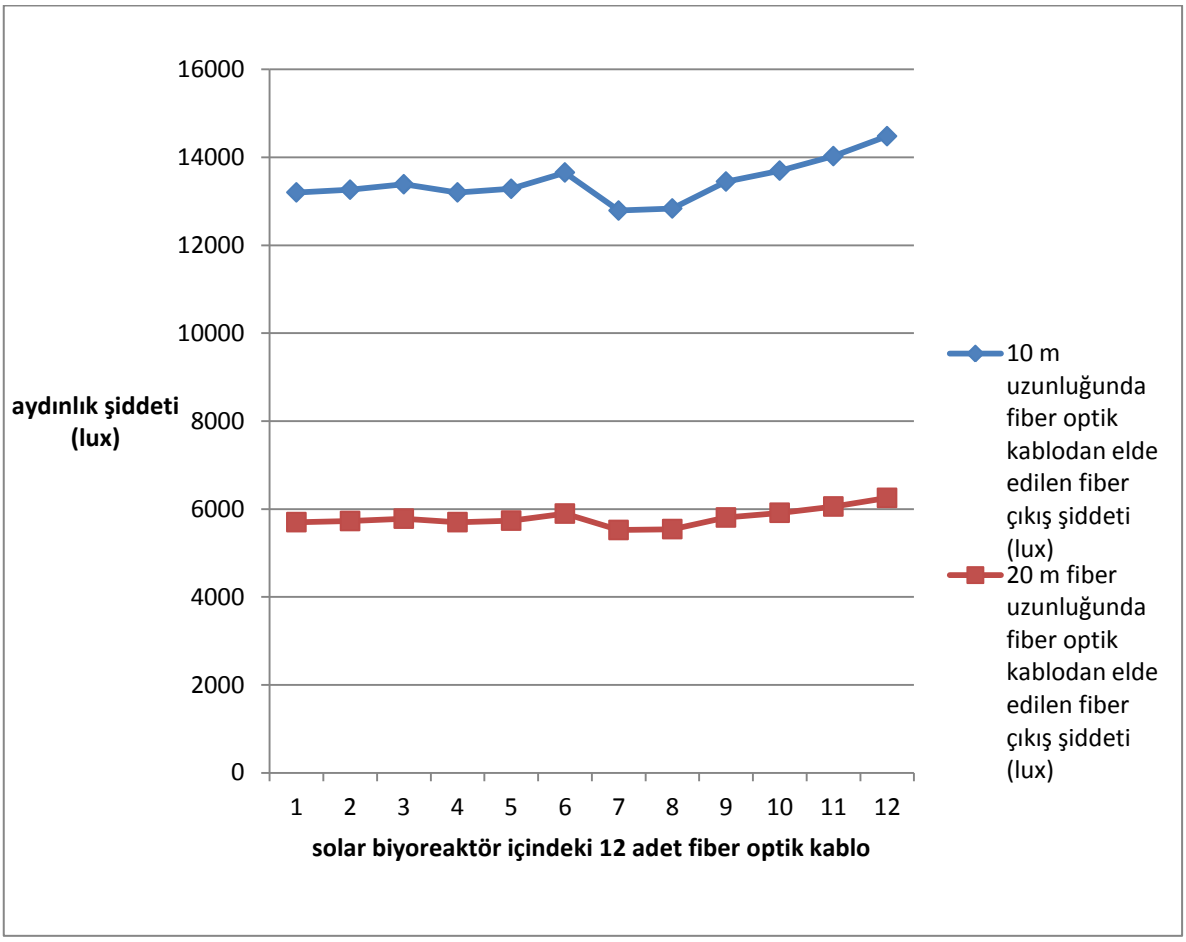


Şekil 4. 1 12 adet fiber optik kablodan elde edilen aydınlık şiddeti değerleri.

İçi boş solar biyoreaktör içinde farklı noktalarda ölçülen fiber optik kablo çıkış aydınlık şiddeti değerleri, ışık aktarım yoğunluğu (T) hesaplanarak elde edilmiştir. Fiber optikler içinde ilerleyen ışığın zayıflaması esasına bağlı olan T değeri, kullanılan özdeş fiber optik kablolar için aynı değere sahiptir. Açık havada yapılan ölçümlerde fiber optik kablo için

çıkış aydınlık şiddeti değerleri birbirine yakın değerler olarak bulunmuştur ve böylece solar biyoreaktör içinde homojen aydınlanma şiddeti sağlanmıştır.

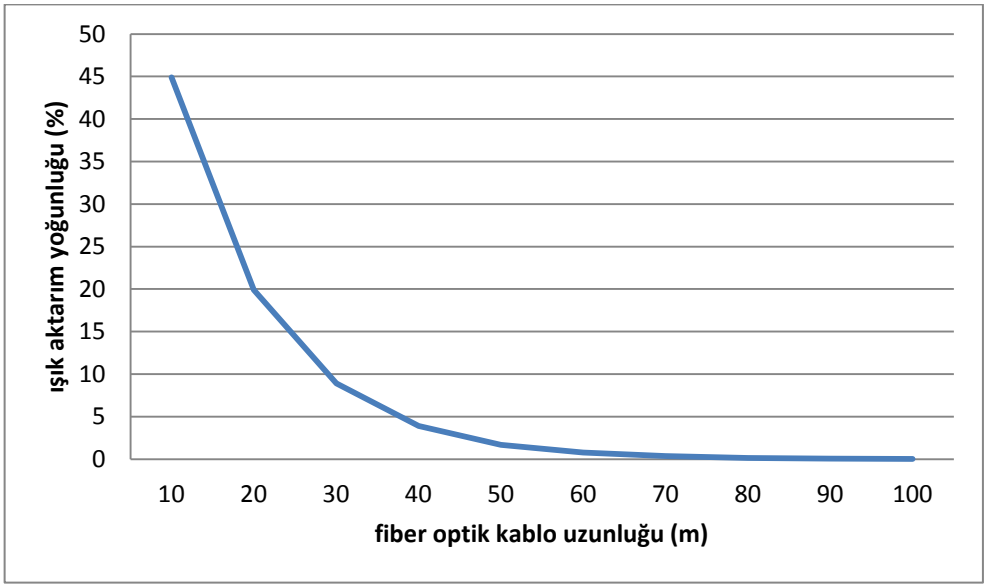
20 m fiber optik kablo için ışık aktarım yoğunluğu % 19 olarak bulunmuştur. 20 m fiber optik kablo için ışık şiddeti çıkış değerleri; 5700, 5726, 5780, 5700, 5735, 5895, 5521, 5542, 5806, 5913, 6056, 6252 ve ortalama ışık şiddeti çıkış değeri ise 5802 lux olarak bulunmuştur. 10 metre kablodan elde edilen ortalama aydınlık şiddeti, 20 metre kablodan elde edilen ortalama aydınlık şiddetinin yaklaşık 2,3 katı olmuştur.



Şekil 4. 2 10 metre ve 20 metre fiber optik kablonun aydınlık şiddeti değerlerinin karşılaştırılması.

Fiber optik kablolarda, T ışık aktarım yoğunluğu fiberin uzunluğu ve metre başına decibel kaybıyla ters orantılı olduğu için bu iki değerin artması, aydınlık şiddetinde azalma meydana getirmiştir. 12 adet fiber optik kabloda okunan aydınlık şiddeti değerleri grafik 4. 2'de görülmektedir. 10 metre fiber optik kablo için, her bir kabloda aydınlık çıkış şiddeti 20 metreye göre daha yüksek olarak ölçülmüştür. Fiber optik kablo

boyunun daha da artması sonucu ışık aktarım yoğunluğunun nasıl değiştiği, fiber optik boyuna bağlı olarak şekil 4. 3'te gösterilmiştir.

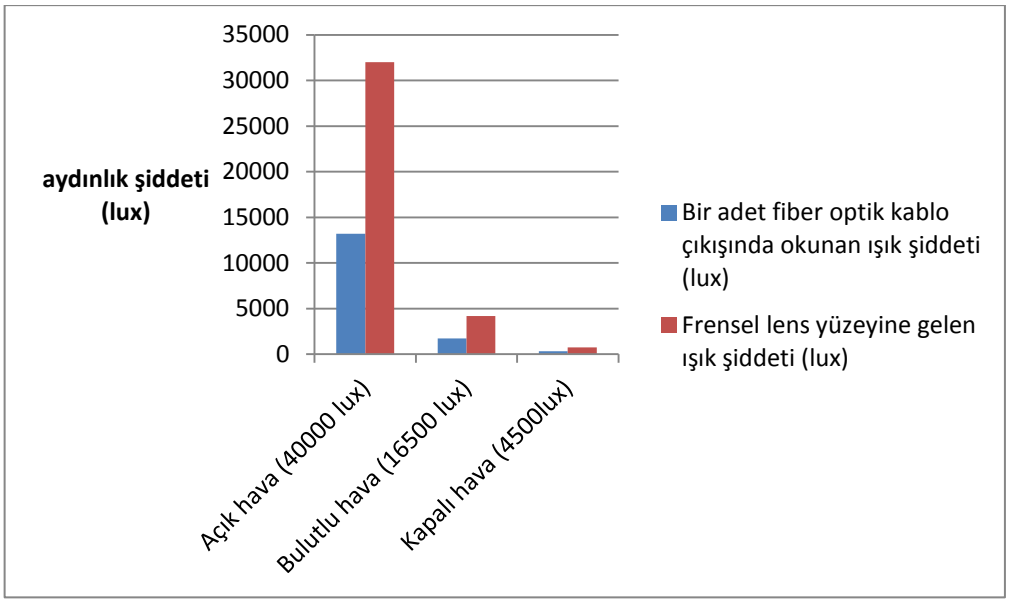


Şekil 4. 3 Fiber optik kablo uzunluğuna bağlı olarak, fiber optik kablo çıkışında ölçülen aydınlık şiddeti değerleri.

12 adet fiber optik kabloda herhangi biri seçilerek bulutlu ve kapalı hava durumları için frensel lens yüzeyine gelen aydınlık şiddeti ve fiber optik kablo çıkışından elde edilen aydınlık şiddeti değerleri de incelenmiştir.

Çizelge 4. 2 Atmosfer koşulları farklı olan üç durum için aydınlık şiddeti değerleri.

Hava durumu	Frensel lens yüzeyinde ölçülen aydınlanma şiddeti (lüks)	Bir adet fiber optik kablo çıkışında ölçülen aydınlanma şiddeti (lüks)
Açık hava (40000 lux)	32000	13200
Bulutlu hava (16500 lux)	13200	5808
Kapalı hava (4500lux)	3600	1584



Şekil 4. 4 3 farklı hava durumunda frensel lenste ve fiber optik kablo çıkışındaki aydınlık şiddeti değerleri.

İçi boş solar biyoreaktörde optik kısımlarda okunan değerler, şekil 6. 4'e bakılarakta incelenecek olursa; kapalı havada frensel lens yüzeyine ve fiber optik çıkışına gelen ışık miktarının bulutlu ve açık havaya göre oldukça azaldığı görülmüştür. Kapalı havada, frensel lens yüzeyinde ve fiber optik kablo çıkışında ışık miktarındaki azalma bulutlu havaya göre % 72,7 'dir. Aynı şekilde, açık havaya göre azalma miktarı ise %88,75'tir.

Üç farklı hava durumu için C (konsantrasyon oranı) eşitlik 4.4 ile bulunmaktadır:

$C_{\text{açık hava}}=\frac{Ainc}{A}=\frac{32000}{30000}=1{,}06$

$C_{\text{bulutlu hava}}=\frac{13200}{12375}=1{,}06$

$C_{\text{kapalı hava}}=\frac{3600}{3375}=1{,}06$

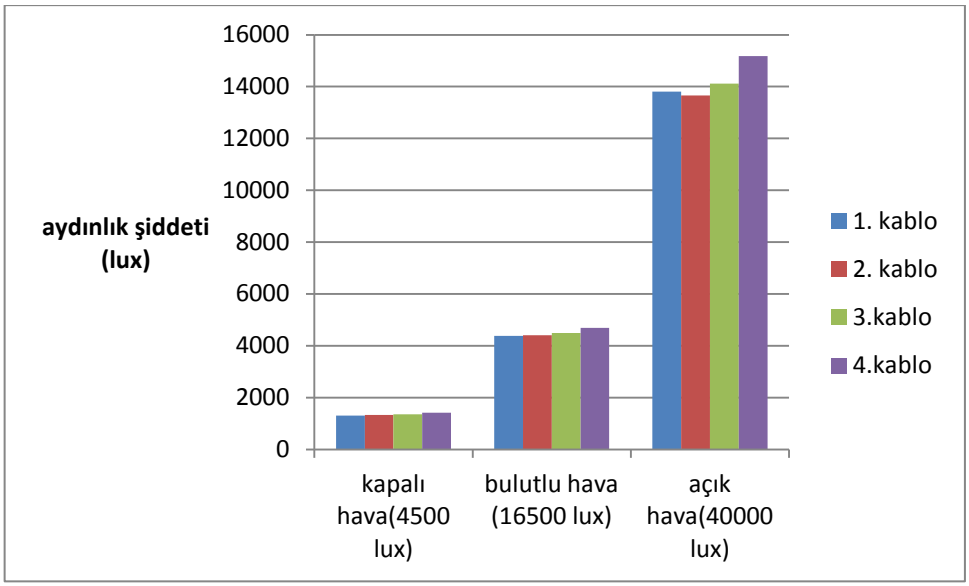
3 farklı atmosfer koşulunda, C değeri hemen hemen aynı bulunmuştur. Bu durum fresnel lenslerin farklı atmosfer şartlarında aynı yoğunlaştırma oranına sahip olduğunu ve üzerine gelen ışığın büyük bir kısmını fiber üzerine yoğunlaştırdığını göstermiştir.

4.2 Mikroalg Dolu Solar Biyoreaktörde Optik Kısımların Aydınlanma Şiddetlerinin Hesaplanması

1 m yüksekliğinde ve 1 m çapında olan solar biyoreaktör, yaklaşık 50 cm yüksekliğine kadar mikroalg ile doldurulmuştur. İçi boş biyoreaktörde olduğu gibi, mikroalg dolu biyoreaktörde de farklı hava durumları için optik kısımlardaki aydınlık şiddeti hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 3 Değerleri Farklı atmosfer koşullarında mikroalg dolu solar biyoreaktör içinde 4 farklı konumda yer alan fiber optik kablo çıkışında ölçülen aydınlık şiddeti.

	Derinden yüzeye doğru 4 adet fiber optik kablo çıkışlarında ölçülen lux değerleri				
Hava durumu	1.fiber optik çıkışı aydınlık şiddeti (lüks)	2.fiber optik çıkışı aydınlık şiddeti (lüks)	3.fiber optik çıkışı aydınlık şiddeti (lüks)	4.fiber optik çıkışı aydınlık şiddeti(lüks)	Toplam aydınlık şiddeti (lüks)
Açık hava (46000 lüks)	13813	13662	14117	15180	56772
Kapalı hava (14200 lüks)	4378	4404	4498	4686	17966
Bulutlu hava (4300 lüks)	1305	1333	1362	1419	5419



Şekil 4. 5 Farklı hava durumları için mikroalg dolu solar biyoreaktör içinde 4 fiber optik kablo çıkışındaki aydınlık şiddeti değerleri.

Farklı hava durumları için ayrı ayrı 4 adet fiber optik kabloda ölçülen aydınlık şiddetlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Frensel lenslerin üzerinde ölçülen aydınlık şiddetinin her bir frensel lenste aynı olmamasının sebebi, hepsinin ışığı aynı doğrultuda ve açıda alamamasından kaynaklanmaktadır. Işık ışınlarının frensel lens üzerine en yoğun 90°'lik açıyla gelmektedir. 90° ya da 90°'ye daha yakın açıyla gelen ışık ışınları frensel lens üzerinde daha yüksek ışık akısı (lm) meydana getirmiştir.

Kapalı havada bile 4 adet fiber optik kablodan elde edilen 17966 lux'lük ışık miktarı, 20 m^{2}'lik bir ofis ortamında kullanılan ve yaklaşık 780 lüks (806 lm) LED lambalardan oldukça fazladır.

Mikroalg ile doldurulan solar biyoreaktör içinde derinlere inildikçe aydınlık şiddetinin çok fazla değişmediği görülmektedir. Optik sistem ile taşınan gün ışığının, biyoreaktör içinde hemen hemen her noktada eşit aydınlık şiddetine sahip olduğu grafik 6. 4 ile gösterilmiştir. Bundan dolayı, eşit ışık şiddetinde aydınlatılan solar biyoreaktör içerisinde homojen bir aydınlanma şiddeti sağlanmıştır. Optik bir sistem kullanılmadan gün ışığını solar biyoreaktör içine taşımaya çalışsaydık, frensel lens gibi iyi bir toplayıcı ve odaklayıcı ile ışığı toplayamadığımız ve fiber optik gibi düşük kayıplarla ışığa kılavuzluk eden bir ışık mekanizma kullanmadığımız için ışık biyoreaktör içinde her yerde eşit şiddette yayılamazdı.

Çizelge 4. 4 Farklı atmosfer koşullarında bir adet fresnel lens ve fiber optik kablo çıkışında optik kısımlarda okunan aydınlık şiddeti değerleri.

Hava durumu	Fresnel lensin yüzeyine gelen ışık şiddeti (lux)	Bir adet fiber optik kablo (4.fiber optik kablo çıkışı) çıkışında okunan aydınlanma düzeyi (lüks)	Frensel lens olmadan fiber optik çıkışındaki aydınlık düzeyi (lüks)
Açık hava (46000 lüks)	36800	15180	315
Bulutlu hava (14200 lüks)	11360	4686	97,15
Kapalı hava (4300 lüks)	3440	1419	29,41

Frensel lens kullanılmadan ve frensel lens kullanılarak, çizelge 6. 2'de verilen 4. fiber optik kablonun biyoreaktör içindeki aydınlık şiddeti, üç farklı hava durumu için çizelge 4. 5 'te gösterilmiştir. Tablodan açık hava şartına göre hesap yapacak olursak, 400 cm^2 alana sahip frensel lense gelen ışık şiddeti 36800 lux'dür. Frensel lens olmadan 7,67 cm^2 alana sahip fiber optik kablo girişine gelen ışık şiddeti ise yaklaşık 706 lux olarak ölçülmüştür. Frensel lens kullanımından sonra fiber optik kablo girişinde ölçülen değer 34500 lux olmuştur. 10 metre kablonun ışık aktarım yoğunluğu %44,6 olduğundan fiber optik kablo çıkışında okunan değer yaklaşık 315 lux yerine 15180 lux olmuştur ve frensel lens fiber optik kablo aydınlık şiddetini yaklaşık 48 kat artırmıştır. İçi boş solar biyoreaktör için yapılan ölçümde de fiber optik kablo aydınlık şiddetinin 48 kat arttığını bulmuştuk.

Çizelge 4. 5 Dolu ve boş solar biyoreaktör için optik kısımlardaki aydınlık şiddeti değerlerinin karşılaştırılması.

Solar biyoreaktörün dolu/boş durumu	Hava durumu	Fresnel lens yüzeyine gelen aydınlık şiddeti (lüks)	Bir adet fiber optik kablo (4.fiber optik kablo çıkışı) çıkışında okunan aydınlık şiddeti (lüks)
Solar biyoreaktör boşken	Kapalı hava (4500 lüks)	3600	1584
	Bulutlu hava (16500 lüks)	13200	5808
	Açık hava (40000 lüks)	32000	13200
Solar biyoreaktör mikroalg ile doluyken	Kapalı hava (4300 lüks)	3440	1419
	Bulutlu hava (14200 lüks)	11360	4686
	Açık hava (46000 lüks)	36800	15180

Solar biyoreaktör dolu ve boşken fiber optik kablodaki çıkış aydınlık şiddetleri çok fazla farklılık göstermemektedir. Ancak solar biyoreaktör boşken, açık hava durumu hariç, diğer hava durumları için fiber optik kablo çıkışındaki aydınlık şiddeti değerleri daha

yüksek bulunmuştur. Bu durum, fresnel lensin sera içinde başka bir cismin gölgesinde kalmasından veya lüksmetrede meydana gelen ölçüm hatasından kaynaklanıyor olabilir. Aydınlanma şiddetini azaltan bir diğer etken ise fiber optik kabloda meydana gelen bükülmelerdir. Bükülme açısına bağlı olarak, aydınlık şiddeti belli bir açıya kadar artmakta ve sonra tekrar azalmaktadır. Bükülme açısının 90°'ye kadar olduğu durumlarda zayıflama meydana gelirken, 90°'den büyük açılarda zayıflama oldukça azalmaktadır. Boş solar biyoreaktör için, hesaplanan değerler de bükülme durumu ihmal edilmiştir. Ancak, dolu solar biyoreaktör için bulunan sonuçlarda bükülme açısı etkili olmuştur. Bizim kullandığımız sistemde çok fazla bükülme açısı olmasa da, binalarda doğal aydınlatmadan yararlanırken kulllanılan fiber optik kablolara birçok bükülme açısı verilerek, aydınlatılacak ortama ulaştırılmaktadır. Teorikle deneysel arasında yapılan karşılaştırmada, deneyseldeki aydınlık şiddeti değerleri daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, deneyseldeki açık hava aydınlık şiddetinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Atmosfer aydınlık şiddeti ne kadar büyük olursa, fiber optik kablonun çıkış aydınlık şiddeti de o kadar büyük olmaktadır.

4.3 Kapalı Havada Tek Bir Fresnel Lens ve Fiber Optik Kabloyla Elde Edilen Aydınlık Şiddetlerinin Bulunması

Kapalı havada atmosfer aydınlık düzeyi 2000 lüks olarak ölçülmüştür. Güneş ışınlarını dik alacak şekilde tutulan (20 cm x 20 cm boyutlarında) fresnel lensin odağına, yine ışığı dik alacak şekilde fiber optik kablo tutulmuştur. 400 cm^2 fresnel lens yüzeyindeki aydınlık düzeyi yaklaşık 1600 lüksdür. Tek başına fiber optik kablo çıkışındaki aydınlanma düzeyi ise yaklaşık 13,5 lüksdür. Fresnel lensten 25 cm uzağa konan yerleştirilen fiber optik kablonun girişindeki aydınlanma düzeyi 1500 lüks olmuştur.

Fresnel lens üzerine gelen ışığın %93,75'nü fiber optik kablo üzerine odaklamıştır. 1500 lüksün %44,6'sı da fiber çıkışına iletilerek 669 lüks değerindeki aydınlanma düzeyi fiber optik kablo çıkışında ölçülmüştür. Bu durumda aydınlanma şiddeti 48 katına çıkmıştır. Fiber optik kablonu kritik açı eşitlik 4. 1'de yer alan formülden hesaplanırsa:

(Fiber optik kablonun nümerik açıklığı NA, 0,6 olarak bilinmektedir. Eşitlik 2. 9'dan korun kırılma indisi 1,52 olarak bulunmuştur.)

NA =$sin\Theta = \sqrt{nco2 - ncl2}$ = $\sqrt{nco2 - (1{,}402).(1{,}402)}$ =0,6

nco =1,52 olarak bulunur.

Θc = $\sin^{-1}\left[1 - \frac{\text{n cl 2}}{nco2}\right]^{1/2}$

Θc= $\sin^{-1}\left[1 - \frac{1{,}402}{1{,}52}\right]^{1/2}$ = 22,7°

Kabul konisi açısı=2x22,7=45,4° olarak bulunur.

Kritik açıdan büyük açıyla gelen ışık ışınları, fiber boyunca ilerleyememektedirler. Fiber sonunda ölçülen aydınlanma düzeyini (669 lüks) fiberin koruna dik gelen ve kritik açıdan küçük gelen ışınlar oluşturmaktadırlar. Fresnel lens için konsantrasyon oranı (C) ise aşağıdaki gibi hesaplanmştır:

C=$\frac{Ainc}{A}$ =$\frac{1600}{1500}$ =1,06

Buradaki C değeri, teoride hesaplanan içi boş biyoreaktör için bulunan C değeriyle aynı çıkmıştır. Teoride, içi boş biyoreaktör için fresnel lens üzerin gelen ışığın %93,75'ni fiber optiğe aktarmıştır ve C değeri yaklaşık 1,06 olarak bulunmuştur. Tek bir fresnel lens ve fiber optik kablo için yapılan ölçümde de, yakın C değeri bulunmuştur. Deneysel ve teorik olarak bulunan sonuçlarda elde edilen C değerleri, yakın değerler olduğundan (fresnel lensin üzerine gelen ışığın %93,75'ni fiber optiğe aktarması sonucu) deney sonuçlarımız teorikteki sonuçlarla örtüşmektedir. Ayrıca konsantrasyon oranının 1'e yakın olması, gelen ışığın neredeyse tamamının (%6,25 kayıp) fiber üzerine aktarıldığını göstermiştir.

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, solar optik bir tasarım yardımıyla kapalı fotobiyoreaktörün içi gün ışığı taşınarak aydınlatılmıştır. Mikroalg kültürü yetiştirilmesinde kulanılan fotobiyoreaktörlerden elde edilen biyokütle, birçok alanda kullanılan enerji kaynağıdır. Sınırsız ve bol olan güneş enerjisinde faydanılarak geliştirilen solar biyoreaktör, reaktör içinde her noktaya taşınabilen fiber optik tabanlı yapısı sayesinde biyoreaktörün her yerinde hemen hemen eşit aydınlık şiddeti meydana getirmiştir. Geliştirilen yeni tip solar biyoreaktör, fotobiyoreaktör içindeki her noktayı eşit şiddette aydınlatarak homojen bir aydınlanma şiddeti sağlanmıştır. Günümüzde gün ışığından faydalanılarak oluşturulan birçok doğal aydınlatma sistemi bulunmaktadır. Kullandığımız yapay ışığın yerine doğal aydınlatma sistemleri kullanılması, hem ülke ekonomisine büyük katkıda bulunmakta hem de insan psikolojisi üzerinde yapay ışığa göre daha iyi bir etki oluşturmaktadır. İlk kurulum maliyeti yüksek olan bu sistemler, ev sistemleri için çok kullanılmamasına rağmen; spor kompleksleri, büyük ofis tipi işyerleri ve mağazalar gibi yerlerde kullanılmaktadır.

Geliştirilen yeni tip solar biyoreaktörde kullanılan optik tasarım sayesinde, farklı hava koşullarında bile atmosfer aydınlanma şiddetinden daha büyük değerler elde edilmiştir. Dört farklı noktadan aydınlatılan mikroalg dolu biyoreaktörde, bu dört farklı noktadaki aydınlanma şiddetleri yakın değerler bulunmuştur. Böylece homojen aydınlık şiddeti sağlanmıştır. Aydınlanma şiddetindeki farklılıklar, fiber optik kablonun yaptığı bükülme açısından, fresnel lensin gölgede kalmasından, fresnel lensin üzerine düşen ışığın yüzey normaliyle yaptığı açıdan ve ışığın fiber optik kablonun kritik açısından büyük gelip fiber optik kablo içerisine girememesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, bükülme yarıçapı

optik kablonun çapından en az sekiz kat büyük olmalıdır. Bizim kullandığımız fiber optik kablonun bükülme yarıçapı optik kablonun çapından sekiz kat büyüktür. Bu değer daha küçük olursa, ışık fiber içinde ilerleyememekte ve kayıplar meydana gelmektedir. Biyoreaktör içerisinde yer alan fiber optik kablo çıkışlarında ölçülen aydınlanma şiddeti değerlerinin, fresnel lensin kullanımıyla 48 kat arttığı görülmüştür. Teoride 12 fresnel lens için yapılan hesaplamalarla da bu artış miktarının aynı olduğu görülmüştür. Açık, bulutlu ve kapalı havada yapılan ölçümlerde aydınlanma şiddetinin artmasına bağlı olarak biyoreaktör içindeki toplam aydınlanma şiddetinin arttığı görülmüştür. Fiber optik kablo tipine göre değişen fiber optik kablo ışık aktarım yoğunluğu, kullandığımız fiber optik kablo için %44,6 olarak bulunmuştur. Fiber optik kablo boyu arttıkça da ışık aktarım yoğunluğunun, artan fiber optik kablo boylarına göre azaldığı yapılan hesaplamalarla görülmüştür. Kapalı havada çok az ışık alan biyoreaktör içinde bile, sadece dört adet fiber optik kabloyla bile yeterli aydınlanma düzeyi sağlanmıştır. İstenilen aydınlanma düzeyi elde edilememesi durumunda, optik sistem genişletilip istenilen aydınlık şiddeti değeri elde edilebilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Selbaş, R., Yakut, A. K. ve Şencan, A. (2011). "Güneş kulesi modeli ile elektrik enerjisi üretimi için bir uygulama." Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 9(2).

[2] Meinel, A. (1977). "Concentrating collectors. " Space Environment and the Earth, 1: 183-216.

[3] Şimşek, N. (1998). "Enerji sorununun çözümünde jeotermal enerji alternatifi." Ekoloji Çevre Dergisi, 8(29): 15-20.

[4] Council, U. G. B. (1995). "Green Building Rating Systems—Draft Recommendations for a US Rating System." Bethesda, Md: US Green Building Council.

[5] Braun, H. (2008). "Photobiology: The biological impact of sunlight on health & infection control." Phoenix Project Foundation.

[6] Goldemberg, J. (2000). World Energy Assessment: Energy and the challenge of sustainability, United Nations Pubns.

[7] Dunne, D. A. (1989). "Some effects of the quality of light on health." J Orthomol Med, 4(4): 229-232.

[8] Georgsson, L. S. and I. B. Fridleifsson (2009). "Geothermal energy in the world from energy perspective." Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources, 1-22.

[9] Abdul-Rahman, H. and C. Wang (2010). "Limitations in current day lighting related solar concentration devices: A critical review." International Journal of the Physical Sciences, 5(18): 2730-2756.

[10] Mayhoub, M. and D. Carter (2009). "Towards hybrid lighting systems: A review", Lighting Research and Technology.

[11] Sims, R. E. (2003). "The renewable energy response to climate change." Advances in solar energy, 15: 315-372.

[12] Rosemann, A., G. Cox, P. Friedel, M. Mossman and L. Whitehead (2008). "Cost-effective controlled illumination using daylighting and electric lighting in a dual-function prism light guide." Lighting Research and Technology, 40(1): 77-88.

[13] Tsuei, C.-H., W.-S. Sun and Kuo, C.-C. (2010). "Hybrid sunlight/LED illumination and renewable solar energy saving concepts for indoor lighting." Optics Express, 18(104): A640-A653.

[14] Irfan, U. and S. Seoyong (2012). "Development of Optical Fiber-based Daylighting System with Uniform Illumination." Journal of the Optical Society of Korea, 16(3): 247-255.

[15] Feuermann, D., J. M. Gordon and M. Huleihil (2002). "Solar fiber-optic mini-dish concentrators: first experimental results and field experience." Solar Energy, 72(6): 459-472.

[16] Francini, F., D. Fontani, D. Jafrancesco, L. Mercatelli and P. Sansoni (2006). Solar internal lighting using optical collectors and fibers. SPIE Optics+ Photonics, International Society for Optics and Photonics.

[17] Kribus, A., O. Zik and J. Karni (2000). "Optical fibers and solar power generation." Solar Energy, 68(5): 405-416.

[18] Pandharipande, A. and D. Caicedo (2011). "Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing." Energy and Buildings 43(4): 944-950.

[19] Omer, A. M. (2008). "Energy, environment and sustainable development." Renewable and sustainable energy reviews, 12(9): 2265-2300.

[20] Eben, K. (1993). "Let the sun shine in." Lighting Design and Alication, 23(5): 41-46.

[21] Neij, L. (1997). "Use of experience curves to analyse the prospects for diffusion and adoption of renewable energy technology." Energy policy 25(13): 1099-1107.

[22] Weisser, D. (2007). "A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies." Energy 32(9): 1543-1559.

[23] Wong, I. and H. Yang (2012). "Introducing natural lighting into the enclosed lift lobbies of highrise buildings by remote source lighting system." Applied Energy 90(1): 225-232.

[24] Buti, K. and J. Perlin (1980). The golden thread: 2500 years of solar architecture. NewYork, NY: Van Nostrand Reinhold Company.

[25] Hoffert, M. I., K. Caldeira, G. Benford, D. R. Criswell, C. Green, H. Herzog, A. K. Jain, H. S. Kheshgi, K. S. Lackner and J. S. Lewis (2002). "Advanced technology paths to global climate stability: energy for a greenhouse planet." Science 298(5595): 981-987.

[26] Shafey, H. and I. Ismail (1990). "Thermodynamics of the conversion of solar radiation." Journal of Solar Energy Engineering, 112(2): 140-145.

[27] Weisz, P. B. (2004). "Basic choices and constraints on long-term energy supplies." Physıcs Today, 57(7): 47-52.

[28] Jayakumar, P. (2009). "Resource Assessment Handbook." Asia and Pacific Center for Transfer of 505.

[29] Wong, L. and W. Chow (2001). "Solar radiation model." Applied Energy, 69(3): 191-224.

[30] Umut, İ. (2008). "Yenilenebilir enerji kaynaklarını elektrik enerjisine dönüştürmede kullanılan yöntemler ve örnek uygulamalar." SDÜ Yekarum e-Dergi, 1: 1.

[31] Kalogirou, S. (2003). "The potential of solar industrial process heat applications." Applied Energy, 76(4): 337-361.

[32] Sarode, A. N., A. A. Patil and V. H. Patil "A Critical Review on Low Temperature Solar Water Heater Collectors." energy 1: 2.

[33] Tripanagnostopoulos, Y., M. Souliotis and T. Nousia (2000). "Solar collectors with colored absorbers." Solar Energy 68(4): 343-356.

[34] Wazwaz, A., J. Salmi, H. Hallak and R. Bes (2002). "Solar thermal performance of a nickel-pigmented aluminium oxide selective absorber." Renewable Energy, 27(2): 277-292.

[35] Gordon, J. (2001). Solar energy: the state of the art: ISES position papers, Earthscan.

[36] Winston, R. (1974). "Principles of solar concentrators of a novel design." Solar Energy, 16(2): 89-95.

[37] Kavanaugh, S. P. (1998). "A design method for hybrid ground-source heat pumps." ASHRAE transactions, 104: 691.

[38] Qin, L. and Furbo, S. (1998). "Solar heating systems with evacuated tubular solar collector." EuroSun'98.

[39] Kalogirou, S., S. Lloyd, J. Ward and P. Eleftheriou (1994). "Design and performance characteristics of a parabolic-trough solar-collector system." Applied energy, 47(4): 341-354.

[40] Garg, H. and Hrishikesan, D. (1988). "Enhancement of solar energy on flat-plate collector by plane booster mirrors." Solar Energy 40(4): 295-307.

[41] Tabor, H. (1966). "Mirror boosters for solar collectors." Solar Energy 10(3): 111-118.

[42] Seitel, S. C. (1975). "Collector performance enhancement with flat reflectors." Solar Energy, 17(5): 291-295.

[43] Perers, B., Karlsson, B. and Bergkvist, M. (1994). "Intensity distribution in the collector plane from structured booster reflectors with rolling grooves and corrugations." Solar energy 53(2): 215-226.

[44] Kalogirou, S. (1991). Solar energy utilisation using parabolic trough collectors in Cyprus." Master's thesis, The Polytechnic of Wales.

[45] Kalogirou, S. (1996). "Parabolic trough collector system for low temperature steam generation: design and performance characteristics." Applied Energy,55(1): 1-19.

[46] Gupta, K., R. Mirakhur and A. Sathe (1978). A simple solar tracking system. Sun: Mankind's Future Source of Energy.

[47] Kearney, D. and H. Price (1992). Solar thermal plants-LUZ concept (current status of the SEGS plants). Proceedings of the Second Renewable Energy Congress, Reading UK.

[48] Nuwayhid, R., F. Mrad and R. Abu-Said (2001). "The realization of a simple solartracking concentrator for university research applications." Renewable Energy, 24(2): 207-222.

[49] Krueger, D., A. Heller, K. Hennecke and K. Duer (2000). "Parabolic trough collectors for district heating systems at high latitudes in a case study." Energy, 50(100): 150.

[50] Francia, G. (1968). "Pilot plants of solar steam generating stations." Solar Energy, 12(1): 51-64.

[51] Biyoküre, Biyoreaktör Nedir, http://biyokure.org/biyoreaktor-nedir/7469/, 10 Eylül 2015.

[52] Emre, İ., (2007). Yarı-Kesikli Fermantasyonda Besleme ve Havalandırma Profilllerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[53] Şahin, Y. ve Akyurt, İ (2010). "Planktonlar ve Fotobiyoreaktörler", Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 2(1):83-92.

[54] Atız, A. (2011). Yalıtımlı Silindirik Model Bir Güneş Havuzunun Optik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

[55] Volotinen, T., N. Nilsson, D. Johansson, J. Widén ve P. Kräuchi (2011). Solar fibre optic lights-Daylight to office desks and corridors. CISBAT 2011, Lausanne, Switzerland, September 14-16, 2011.

[56] André, E. and J. Schade (2002). Daylighting by optical fiber, MSc Thesis 2002: 260, Luleå University of Technology, Sweden.

[57] Reick, G. and R. Joseph (1972). "Fiber optics illumination system." JOSA 41(11):807-814.

[58] Hathaway, W. E. (1992). A Study into the Effects of Light on Children of Elementary School-Age--A Case of Daylight Robbery, ERIC.

[59] Franta, G. and Anstead, K. (1994). "Daylighting offers great opportunities." Window & Door Specifier-Design Lab: 40-43.

[60] Romm, J. J. and W. D. Browning (1994). "Greening the building and the bottom line." Rocky Mountain Institute. Snowmass, Colorado.

[61] Lingfors, D. (2013). "Illumination properties and energy savings of a solar fiber optic lighting system balanced by artificial lights." Applied Optics, 52: 6685

[62] Erdem, S., (2007). Aydınlatma Mühendisliğinde İleri Yöntemlerle Çözüm Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

[63] Celik, A. N. (2006). "Present status of photovoltaic energy in Turkey and life cycle techno-economic analysis of a grid-connected photovoltaic-house." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10(4): 370-387.

[64] Ayersbeng, M. and D. Carter (1995). "Remote source electric lighting systems: A review." Lighting Research and Technology, 27(1): 1-15.

[65] Kandilli, C., A. Turkoglu and K. Ulgen (2009). "Transmission performance of fibre-optic bundle for solar lighting." International Journal of Energy Research 33(2): 194-204.

[66] Udd, E. (2002). "Fiber optics, theory and applications." Encyclopedia of smart materials.

[67] Burkhard, D.G., Strobel, G.L., and Burkhard, D.R. (1978). Flat-sided rectilinear trough as a solar concentrator: an analytical study. Applied Optics, 17(12): 1870-1881.

[68] Leutz, Ralf, Suzuki, A., Akisawa, A., and Kashiwagi, T. (1999). "Design of Nonimaging Fresnel Lenses for Solar Concentrators. " Solar Energy, 101: 101-107.

[69] Liang, D., Fraser Monteiro, L., Ribau Teixeira, M., Fraser Monteiro, M.L., Collares-Pereira, M. (1998). Fiberoptic solar energy transmission and concentration. Solar Energy Materials and Solar Cells. 54: 323-329.

[70] Snyder, A. W. and Love, J. D. (1983). Optical Waveguide Theory. New York: Chapman and Hall.

[71] Welford, W. and Winston, R. (1978). The Optics of Nonimaging Concentrators. New York: Academic Press.

[72] Miller, O., J. McLeod and W. Sherwood (1951). "Thin sheet plastic Fresnel lenses of high aperture." JOSA 41(11): 807-814.

[73] Egger, J. R. (1979). Use of Fresnel lenses in optical systems: some advantages and limitations. 23rd Annual Technical Symposium, International Society for Optics and Photonics.

[74] Leutz, R. and A. Suzuki (2012). Nonimaging Fresnel lenses: design and performance of solar concentrators, Springer.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gülsüm KILIÇ

Doğum Tarihi ve Yeri : 10.08.1990 İspir

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : glsm.klcc@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Biyomühendislik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lisans	Fizik	İstanbul Üniversitesi	2012
Lise	Fen	Gediktaş Lisesi	2007