T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FRESNEL TİPİ BİR GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN TERMAL MODELLEMESİ

Muhammed ŞAFAK

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
1.1.Tezin Önemi ve Amacı 2
1.2.Tezin Kapsamı 3
1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler 3
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1. Dogrusal Fresnel Teknolojisi 5
2.2. Doğrusal Fresnel Kollektör ile İlgili Yapılan Çalışmalar 7
2.3. Doğrusal Fresnel Kollektör Simülasyon 9
2.4. Doğrusal Fresnel Kollektör Optimizasyonu 21
2.5. Doğrusal Fresnel Kollektörü Optik ve Termal Verim 23
3. MATERYAL ve YÖNTEM 27
3.1. Materyal 27
3.1.1. Aynalar arası mesafenin belirlenmesi 27
3.1.2. Optik tasarım 28
3.1.3. Isı transfer akışkanı 30
3.1.4. Güneş takip sistemi 31
3.1.5. Optik verim 32
3.1.6. Termal verim 33
3.1.7. Termal güç 35
3.2. Yöntem 35
3.2.1.Fresnel kollektör prototipin tasarımı 35
3.2.2. Endüstriyel proses ve gereksinimlerin tanımı 36
3.2.3. Prototip kurulum için saha hazırlığı 37
3.2.4. Doğrusal fresnel kollektörün ayak koordinatlarının belirlenmesi 42
3.2.5.Fresnel kollektör prototipin hazırlanması 43
3.2.5.1. Ayna konstrüksiyonun hazırlanması 47
3.2.5.2. Absorberin hazırlanması 51
3.2.5.2.1. Absorber kaplaması 52
3.2.5.3. İkinci reflektörün modellenmesi 56
3.2.5.4. Güneş takip sisteminin modellenmesi 62
3.2.5.5. Projede kullanılan makine ve ekipmanlar 66
3.2.5.5.1. Akümülasyon tank 66
3.2.5.5.2. Eşanjor 68
3.2.5.5.3.Yağ pompası 69
3.2.5.5.4.Yağ tankı 69
3.2.5.5.5. Sirkülasyon pompası 70
3.2.5.5.6. Kontrol ve ölçüm cihazları 70
3.2.5.6. Haberleşme sisteminin tasarlanması ve entegrasyonu 74
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 77
4.1. Ayna Genişliğinin Belirlenmesi 78
4.2. Alıcı Yüksekliğinin Tespiti 78
4.3. Ayna Serileri Arasındaki Mesafenin Tespiti 79
4.4. Absorber (Alıcı) Boyutu Tespiti 87
4.5. 20 Kw Isıl Gücünde Lineer Fresnel Kollektör Sistemi Boyutlandırılması 91
4.6. Doğrusal Fresnel Kollektörün Yıllık Analizi 91
4.7. Tasarım Parametrelerin Farklı Yerleşim Yerlerine Göre Değişimi 93
4.8. LFK Sisteminin Performans Analizi 96

4.9. Kirlilik Etkisinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deney Çalışma 98
4.10. Deney Verilerinin Analizi 99
4.11. Tonatiuh ve Solid Works Sonuçlarının Karşılaştırılması 100
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 102
KAYNAKLAR 103
ÖZGEÇMİŞ ..... **Error! Bookmark not defined.**

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FRESNEL TİPİ BİR GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN TERMAL MODELLEMESİ

Muhammed ŞAFAK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Azmi AKTACİR
Yıl:2021, Sayfa: 108

Enerji üretim alanındaki en önemli rekabet unsuru maliyetlerin düşürülmesidir. Endüstride ısıl enerji giderlerinin yenilenebilir enerji kanakları kullanılarak yapılması rekabet gücünü artıran bir yaklaşımdır. Bu tez çalışmasında ısıl güneş enerji teknolojileri arasında özel ve pahalı üretim teknoloji gerektirmeyen ve kolay yapısı nedeniyle güneş yoğunlaştırıcı sistemleri arasında maliyeti en düşük sistem olan lineer fresnel güneş kollektörü tasarım ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Yansıtıcı yüzeyler (ayna), yutucu yüzey (absorber) ve içinden geçen ısı transfer akışkanından oluşan Fresnel kollektörler, çizgisel odaklı yoğunlaştırmalı güneş enerjisi teknolojisidir. Fresnel kollektörler, güneş ışınlarını yansıtıcı yüzey olarak isimlendirilen çok sayıda düz aynada, odak eksenindeki yutucu yüzeye yansıtır ve geçen akışkanın sıcaklığını artırır. Fresnel kollektöründen elde edilen sıcak akışkan, elektrik üretimi veya proses ısısı için kullanılabilir. Bu tip kolektörlerin en büyük avantajlarından biri; tek eksende güneş takibi yapılırken aynaların güneşin hareketine göre eksenleri doğrultusunda hafif dönme hareketi yaparak odak eksenindeki sabit olan absorber borusuna yansıtma yapmasıdır. Üretiminin nispeten basit olması, yatırım maliyetinin düşük olması ve işletimindeki kolaylığa karşın Türkiye'de Fresnel kollektörü üretimi yapan endüstriyel bir firma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında geliştirilen yenilikçi ve yerli fresnel tipi güneş kollektör sisteminin, kolayca kullanımın sağlanması için tasarım kriterleri ve parametreleri belirlenmesi hedeflenmiştir. Tübitak 1003 öncelikli alanlarda 118M43 no'lu proje kapsamında desteklenenen tez çalışmasında, endüstriyel ölçekte doğrusal fresnel tipi yoğunlaştırılmış güneş kolektörünün prototip üretimi Harran Ünivsersitesinde GAPYENEV merkezinde gerçekleştirilmiştir. 20 kW kapasiteye sahip olan doğrusal fresnel kollektörün Şanlıurfa meteorolojik koşulları için sisteminin boyutlandırılması yapılmıştır. Bu çalışmada optik tasarım için açık kaynaklı bir program olan Tonatiuh kullanılmıştır. Bu program ile incelenecek sistemin ayna yüzeyine gelen ve absorber yüzeyine gönderilen ışıma hesaplanmaktadır. Bu programdan elde edilen absorber yüzeyine gelen her bölgenin ışıma miktarını veren sonuç dosyası, Ansys Fluent programında kullanılarak sistemin ısıl analiz gerçekleştirilmiştir. Şanlıurfa meteorolojik koşulları dikkate alınarak gerçekleştirilen tasarım çalışmasında, 20 kW ısıl kapasite için ayna genişliği 20cm, aynalar arası mesafeler 10 cm, ayna sıra sayısı 20, ayna uzunluğu 13m ve absorber yüksekliği 3 m olarak bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Güneş enerjisi, Güneş takip sistemi, Yoğunlaştırıcı, Doğrusal Fresnel kollektörü, Endüstriyel ısıl işlem

ABSTRACT

Master Thesis

THERMAL MODELLİNG OF A FRESNEL-TYPE SOLAR COLLECTOR

Muhammed ŞAFAK

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Azmi AKTACİR
Year:2021, Page: 108

The most important competitive element in the field of energy production is the reduction of costs. Making the thermal energy expenses in the industry by using renewable energy sources is an approach that increases the competitiveness. In this thesis, linear fresnel solar collector design and prototype production was carried out, which does not require special and expensive production technology among thermal solar energy technologies and is the lowest cost system among solar concentrator systems due to its easy structure. Fresnel collectors, which consist of reflective surfaces (mirror), absorber surface (absorber tube) and heat transfer fluid passing through, are linear focused condensation solar energy technology. Fresnel collectors reflect the sun's rays to the absorber surface on the focal axis in a large number of flat mirrors called reflective surfaces and increase the temperature of the passing fluid. The hot fluid obtained from the Fresnel collector can be used for electricity generation or process heat. One of the biggest advantages of this type of collectors is; while the sun is tracked on a single axis, the mirrors make a slight rotational movement in their axis according to the movement of the sun and reflect on the absorber tube, which is fixed on the focal axis. Despite its relatively simple production, low investment cost and ease of operation, there is no industrial company in Turkey that manufactures Fresnel collectors. In this thesis, it is aimed to determine the design criteria and parameters of the innovative and domestic fresnel type solar collector system to ensure easy use. Prototype production of linear fresnel type condensed solar collector at industrial scale was carried out at GAPYENEV center in Harran University, in the thesis study supported within the scope of project 118M43 in Tübitak 1003 priority areas. The system of the linear fresnel collector with a capacity of 20 kW has been dimensioned for the meteorological conditions of Şanlıurfa. In this study, Tonatiuh, an open source program, was used for optical design. With this program, the radiation incident to the mirror surface of the system to be examined and sent to the absorber surface is calculated. The thermal analysis of the system was carried out by using the result file, which gives the radiation amount of each region coming to the absorber surface obtained from this program, in the Ansys Fluent program. In the design study carried out considering the meteorological conditions of Şanlıurfa, the width of the mirror is 20 cm, the distance between the mirrors is 10 cm, the number of mirror rows is 20, the mirror length is 13 m and the absorber height is 3 m for 20 kW thermal capacity.

KEY WORDS: Solar energy, Solar tracking system, Concentrator, lineer Fresnel collector, İndustrial heat treatment

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli tecrübe ve birikimleriyle beni yönlendiren danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet Azmi AKTACİR'e sağladıkları olanaklardan, teknik desteklerinden ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Çalışmamın gerçekleştirildiği Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü ve GAPYENEV merkezi öğretim elemanları ve uzmanlarına destek ve katkıları için teşekkür ederim. Bu tez çalışmasında 118M143 proje numarası ile bursiyer olarak çalışmama destek olan Tubitak'a idari işlemlerin yapılmasında yardımcı olan Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamı gerçekleştirdiğim Fen Bilimleri Enstitüsü'nün kıymetli personeline tüm süreçlerdeki destekları ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Son olarak aileme; bana duydukları güvenden dolayı çok teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Fresnel kollektör temel bileşenleri 5
Şekil 2.2. Doğrusal fresnel kollektörünün çalışma prensibi. 7
Şekil 2.3. kompakt lineer fresnel kollektörü şeması 8
Şekil 2.4. kompakt hibrit lineer fresnel kollektörü şeması 9
Şekil 2.5. Doğrusal fresnel kollektörü 10
Şekil 2.6. Doğrusal aplanatik Fresnel kollektörü 10
Şekil 2.7. Boşaltılmamış emici borusu 12
Şekil 2.8. Novatec boşaltmamış alıcısı ve ikincil reflektörün kesit çizimi 13
Şekil 2.9. NREL'in uyarlanabilir ikinci reflektörü 13
Şekil 2.10. Üç parçalı düz ikinci reflektörün şeması 15
Şekil 2.11. Dairesel şeklinde ikinci reflektörün şeması 15
Şekil 2.12. Parabolik şekilinde ikinci reflektör 16
Şekil 2.13. Birkaç parçalı düz şeklinde ikinci reflektör 17
Şekil 2.14. İki parabol birleşimi şeklinde ikinci reflektör 17
Şekil 2.15. Geometrik Optik kayıplar: (a) kosinüs kayıpları, (b) engelleme, (c) gölgeleme 18
Şekil 2.16. Kosinüs kayıbını gösteren doğrusal fresnel kollektörü 19
Şekil 2.17. (a) Geleneksel GCP (b) LFR gaz türbini kojenerasyon tesisi ile ISGCP şematik diyagramı 23
Şekil 2.18. İkincil yoğunlaştırıcılı lineer fresnel reflektörün şeması. 23
Şekil 2.19. Katoptrik alt kümeleri olan Lineer Fresnel toplayıcı. 25
Şekil 2.20. İncelenen fresnel prototipi. 25
Şekil 2.21. SLFR solar system 26
Şekil 3.1. Solidworks'te tasarlanan model 27
Şekil 3.2. Tonatiuh yazılımından güneş ışınlarının simülasyonu 28
Şekil 3.3.Tonatiuh'ta tasarlanan model 29
Şekil 3.4. Tonatiuh sonuç ekranı 30
Şekil 3.5. Güneş takip sistemi 32
Şekil 3.6. 20 kWlık fresnel kollektör prototipi 36
Şekil 3.7. LFK sisteminin ısı transfer mekanizması. 37
Şekil 3.8. Doğrusal fresnel kollektör sisteminin kurulum yeri (kuş bakışı) 38
Şekil 3.9. Arazide köşe noktalarının koordinatlarının belirlenmesi 38
Şekil 3.10. Zeminin tesviye edilmesi 39
Şekil 3.11. Toprak zemine çakıl kumun serilmesi 39
Şekil 3.12. Zeminde kalıp hazırlama 40
Şekil 3.13. Kalıp içine hasır demirin bağlanması 40
Şekil 3.15. Sahadan betonlama işlemi görüntüleri 41
Şekil 3.16. Helikopter cihazıyla mastarlama yapılması 41
Şekil 3.17. Beton zeminin son hali 42
Şekil 3.18. Prototipin ayak konstrüksiyonlarının zemin üzerindeki konumu 43
Şekil 3.19. Ayak noktalarının beton zeminde yerlerinin belirlenmesi 43
Şekil 3.20. Lineer fresnel kollektör sisteminin beton zemin üzerine yerleşimi 44
Şekil 3.21. Prototipte köşe bağlantıların kullanılması 44
Şekil 3.22. Düz köşe bağlantı yerleri 45
Şekil 3.23. Light sigma profil yerleşimi 45
Şekil 3.24. Prototip kurulumu için sigma profil kesimi 46
Şekil 3.25. Doğrusal fresnel kollektör konstrüksiyon kurulumu 46
Şekil 3.26. Fresnel kollektörün alt konstrüksiyon kurulumu 47
Şekil 3.27. 30x30 sigma profil görünüşleri 47
Şekil 3.28. Ayna konstrüksiyonu genel görüntüsü 48
Şekil 3.29. Ayna konstrüksiyonuna aynanın yapıştırılması 48
Şekil 3.30. Yataklı rulman Şekil 3.31. Bağlama şekli 49
Şekil 3.32. Aynaların seri bağlanması 49
Şekil 3.33. Temel konstrüksüyonuna aynaların bağlanması 50
Şekil 3.34. Ayna konstrüksüyonu imalat görüntüleri. 50

Şekil 3.35. Absorber borusu tesisatı 51
Şekil3.36. Bakır boru bağlantıları 51
Şekil 3.37. Bakır boruların kaplama işlemi 52
Şekil 3.38. Kaplama işleminden sonra kurutma işlemi 52
Şekil 3.39. Kaplama ve kurutma işleminden sonra filmlere uygulanan ısıl işlem 53
Şekil 3.40. CuCoMnOx Alıcı katmanın kaplanmasından sonra yatay fırında ısıl işlem 53
Şekil 3.41. Seçici Alıcı katman kaplı bakır borular 54
Şekil 3.42. Bakır boru seçici alıcı katmanlar kaplanmadan önce sonraki görüntüleri 54
Şekil 3.43. Absorber boru imalatı çalışmalarını gösteren resimler 55
Şekil 3.44. Absorber boruya sızdırmazlık testi yapılması 55
Şekil 3.45.Seçici alıcı kaplı bakır borulan fresnel kollektörüne montajı. 56
Şekil 3.46. İkinci reflektör kullanımının Tonatiuh programında simülasyonu 56
Şekil 3.47. İkinci reflektörün Tonatiuh programında gösterilmesi 57
Şekil 3.48. İkinci reflektör izometrik görünüşü 57
Şekil 3.49. İkinci reflektör açılım hali 58
Şekil 3.50. İkinci reflektör lazer kesim görünümü 58
Şekil 3.51. İkinci reflektör abkant makinesine bağlanması 59
Şekil 3.52. İkinci reflektörün üretiminin son hali 59
Şekil 3.53. İkinci reflektörün ayna yapıştırmak için kullanılan silikon 60
Şekil 3.54. İkinci reflektörü aynalar takılmış hali 60
Şekil 3.55. İkinci reflektör sahadaki montajı 61
Şekil 3.56. İkinci reflektör 61
Şekil 3.57. Güneş takip sisteminin yerleşimi ve hareket yönü 62
Şekil 3.58. Güneş takip sistemi hareket mekanizması 63
Şekil 3.59. Lineer fresnel kollektörün görünümü 63
Şekil 3.60. Güneş takip sisteminin lineer fresnel kollektöre bağlanması 64
Şekil 3.61. Sistem üzerinde kol bağlantısı 64
Şekil 3.62. Sonsuz vida dişli grubu montajı 65
Şekil 3.63. Fresnel güneş kollektör sistemi 65
Şekil 3.64. Doğrusal fresnel kollektör prototipi makine dairesi görüntüleri 66
Şekil 3.65.Akümülasyon tankı soğuk su çıkışı ve sıcak su girişi 67
Şekil 3.66. Akümülayon tankı teknik resim 67
Şekil 3.67. Eşanjör izometrik görünüşü (13) 68
Şekil 3.68. Yağ tankı 70
Şekil 3.69. Sirkülasyon pompası 70
Şekil 3.70. İmbisat deposu 71
Şekil 3.71. Birinci devrede kullanılan glop vanalar 71
Şekil 3.72. İkinci devrede kullanılan glop vanalar 72
Şekil 3.73. .Birinci devrede kullanılan ölçüm ve tesisat malzemeleri 73
Şekil 3.74. İkince devrede kullanılan sıcaklık ölçer ve basınç ölçer 73
Şekil 3.75. .Birinci devrede hassas basınç ölçüm cihazı 73
Şekil 3.76. Devreye monte edilen kompansatör 74
Şekil 3.77. SCADA ana ekran görüntüsü 75
Şekil 3.78. GAPYENEV merkezi sahasında kurulan Meteoroloji ölçüm istasyonu 75
Şekil 3.79. Rüzgar hız ölçer cihazı 76
Şekil 3.80 Nem-Sıcaklık ölçer cihazı 76
Şekil 3.81. Güneş ışınımı radyasyon ölçer cihazı 76
Şekil 3.82. Yağmur miktarı ölçüm sistemi 76
Şekil 4.1. Farklı ayna genişlikleri için optik verimi 78
Şekil 4.2. Farklı alıcı yüksekliğine göre optik verimler 79
Şekil 4.3. Doğrusal fresnel kollektörü şematik çizimi 80
Şekil 4.4. Ayna 20 cm ve absorber 4 m olması durumunda aynalar arası mesafeler. 81
Şekil 4.5. Ayna genişliği 25 cm ve absorber yüksekliği 4 m için aynalar arası mesafeler 82
Şekil 4.6. Ayna genişliği 30 cm ve absorber yüksekliği 4 m durumunda aynalar arası mesafeler 82
Şekil 4.7. Ayna genişliği 35 cm ve absorber yüksekliği 4 m 83
Şekil 4.8. Ayna genişliği 40 cm ve absorber yüksekliği 4 m 83
Şekil 4.9. Güneş geliş açısı 60 derece bloklama ve gölgeleme kontrolü (Ölçüler cm'dir) 85

Şekil 4.10. Tonatiuh analiz sonuçları 86
Şekil 4.11. Ayna serileri arası farklı mesafelerin optik verimin değişimine etkisi. 87
Şekil 4.12. Trapez ikinci reflektör 87
Şekil 4.13. Tonatiuh programıyla ikinci reflektörsüz doğrusal fresnel prototipinin ısıl analizi 88
Şekil 4.14. Tonatiuh programıyla ikinci reflektörlü doğrusal fresnel prototipinin ısıl analizi 89
Şekil 4.15. İkinci reflektörlü 20 cm ayna genişliği ve 4 m absorber yüksekliği analiz sonuçları. 90
Şekil 4.16. İkinci reflektörlü, 20 cm ayna genişliğinde absorber yüksekliği 3 m ve 4 m sonuçları 90
Şekil 4.17. LFK boyutları ve ayna serilerinin konumları 91
Şekil 4.18. Şanlıurfa iklim koşulları altında LFK'nin aylık ortalama optik verimi 92
Şekil 4.19. Şanlıurfa koşulları altında optik verimin değişimi 93
Şekil 4.20. Isveç- Stokholm için sistemin optik verim değişimi 94
Şekil 4.21. Etiyopya- Addis Ababa için doğrusal fresnel kollektörün optik veriminin değişimi 95
Şekil 4.24. Sistemin performans parametrelein ekranı 96
Şekil 4.25. SCADA meteorolojik istasyonu görüntüsü 97
Şekil 4.26. 30.07.2021 saat 15:00 SCADA verileri 99
Şekil 4.28. Solidworks programında elde edilen optik analiz sonuçları 101
Şekil 4.29. Tonatiuh yazılımında elde edilen optik analiz sonuçları 101

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Isı transfer yağı tipik özellikleri 31
Çizelge 3.2.Termal bir model için giriş ve çıkış parametreleri(8). 33
Çizelge 3.3.Akümülasyon tankın özellikleri. 68
Çizelge 3.4. Sistemde kullanılan eşanjör özellikleri..... 69
Çizelge 3.5. Yağ pompasının özellikleri 69
Çizelge 4.1. Şanlıurfa için tipik gün değerleri..... 77
Çizelge 4.2. Sabit absorber yüksekliğinde farklı ayna genişliğinde ayna sayısının değişimi. 84
Çizelge 4.4. Şanlıurfa meteorolojik koşullarında Haziran ayı için LFK performans değerleri 92
Çizelge 4.5. Haziran ayına için lineer fresnel kollektörün farklı iklimlerdeki performans değerleri ... 95
Çizelge 4.6. LFK sistemi ön deneylerden elde edilen veriler..... 98
Çizelge 4.7. LFK sistemi ayan kirli-temiz durumundan elde edilen veriler..... 99

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Ac	Birincil reflektörün açıklık alanı
Ac	Kollektörün açıklık alanıdır (m^2)
Afk	Doğrusal fresnel kollektörün alanı
A_G	Ayna alanı
Dab	Absorber çapı
DNI	Doğrudan normal ışınımdır ($W\ m^{-2}$)
EES	Mühendislik denklem çözücü
F	Absorber yüksekliği
IC	İntercept faktörü
Lab	Absorber uzunluğu
Lay	Ayna uzunluğu
LFK	Lineer fresnel kollektörü
LFR	Lineer fresnel reflektörü
N	Ayna sayısı
η_{hem}	Termal verim
NPh	Alıcıya çarpan fotonların sayısıdır (-)
PO	Parabolik oluk
PPh	Işın izleme kullanılarak hesaplanan her bir fotonun gücüdür (W).
Qab	Emici tüp üzerindeki güç olayıdır (W)
Qac	Ayna yüzeyine gelen toplam ışıma gücünü (W)
W	Ayna genişliği
Wg	Doğrusal fresnel kollektörün genişliği
X	Aynalar arası boşluk
ηopt	Optik verim
α	Alıcının yutma katsayısını
ρ	Ayna yansıma katsayısını
τ	Alıcı camının geçirgenliğini

1. GİRİŞ

Dünya çapında günümüzde, insanoğlunun yaşamını sürdürebilmesi için enerji vazgeçilmez bir ihtiyaç olarak ön plana çıkmaktadır. Bireylerin yaşamını, gerekli olan ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için başta üretim sektörü olmak üzere hemen hemen her alanda enerjiye gereksinimi vardır. Bu nedenle enerji sistemlerinin araştırılması ve verimli enerjinin nasıl elde edileceği konusu ayrı bir önem kazanmaktadır. Buna karşılık, çevre dostu olarak ön plana çıkan yenilenebilir enerji kaynakları dünyanın her yerinde mevcuttur. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları bakınmından yüksek bir potansiyele sahiptir. Özellikle güneş, rüzgar ve jeotermal enerji gibi doğal enerji kaynaklarının bol miktarda bulunması ve bu kaynaklardan elektrik enerjisinin aktif bir şekilde üretilebiliyor olması yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların son dönemlerde artmasına sebep olmaktadır (Kalogirou, 2013).

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre güneşin yıllık süresi 2.737 saat (günde ortalama 7.5 saat), yıllık güneş ışınımı 1.527 kWh/m²'dir. Güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek olan Türkiye'de enerji araştırmaları ağırlıklı olarak güneş enerjisi alanında yoğunlaşmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin dışında bakım ve işletim maliyetlerini çok düşük olması ön planda tutulmasını sağlamaktadır. Şanlıurfa ilinin içinde olduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesi, güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye'nin en yüksek bölgesi durumundadır. Benzer şekilde, GAP projesinin gelişimi ile birlikte tarımsal ürünlerin organik atıkları biokütle olarak değerlendirilmesi gereken büyük bir potansiyele sahiptir. Son yıllarda, GAP bölgesinde tarıma dayalı bir sanayi gelişimi gözlenmekte olup firmaların enerjiye olan ihtiyaçları her geçen gün artmaktadır (Kılıç, 2012).

Günümüzde, güneş enerjisi teknolojileri ile doğrudan elektrik üretimi veya ısıl prosesler için sıcak akışkan sağlanması mümkündür. Bu kapsamda yoğunlaştırılmış güneş enerji teknolojilerinin endüstrinin ısıl prosesler için sıcak akışkan ihtiyacının sağlanabilir. Doğrusal Fresnel kollektörler çizgisel odaklı yoğunlaştırılmış güneş enerji teknolojilerinden birisidir. Bu sistem ile ısıl enerji üretimi sağlamakta ve elde edilen sıcak akışkan ile elektrik üretimi veya proses ısısı olarak kullanılmaktadır. Diğer

ısıl güneş enerji sistemlerine göre nispeten daha düşük kurulum ve işletme maliyetinin yanı sıra yüksek verim gibi üstünlüklere sahiptir. Fresnel güneş kolektör sistemlerinin başta üretim sektörleri olmak üzere yaygınlaşması ile enerji maliyetleri düşürülebilir. Bölgenin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına imkân sağlayacak bu tip çalışmaların uygulamaya alınması önem arz etmektedir. Bu çalışma ile temiz ve yerli enerji kaynaklarının etkin kullanılmasına katkı sağlanacaktır. Özellikle bu bölgeye yatırım yapmak isteyen yatırımcıların bölgeye gelmesini kolaylaştırarak yeni istihdam alanları oluşturacak ve bölgenin cazibesinin artmasına neden olacaktır. Böylece bölgenin Türkiye ortalamasının altında olan sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyinin yükselmesine imkân sağlanacaktır. Bu tür sistemlerinin kullanılması bir anlamda da enerji bakımından dışa bağımlılığın azalmasını sağlamaktadır. Bu sayede milli ekonomiye de ciddi katkılarda bulunmak mümkün olacaktır (Türkyılmaz ve ark., 2012).

1.1.Tezin Önemi ve Amacı

Fresnel kollektörler, çizgisel odaklamalı güneş enerjisi teknolojilerinden biridir. Temel bileşenleri; Yansıtıcı yüzey (ayna), yutucu yüzey (absorber) ve yutucu yüzeyden geçen ısı transfer akışkanıdır. Güneş, yansıtıcı yüzey adı verilen birçok düz ve uzun aynanın üzerine düşerek, absorber borusundan geçen sıvının yüksek bir sıcaklığa çıkmasına neden olur. Fresnel kollektörler ile boru içerisinden geçen akışkan sıcaklığını 400°C mertebelerine ulaştırmak mümkün olup; direkt endüstriyel buhar üretimi ya da bir buhar türbini devresi kullanılarak elektrik üretimi mümkün olabilmektedir. Basit/kolay yapısı, özel ve pahalı üretim teknolojisi gerektiren parçaların olmaması sayesinde yoğunlaştırılmış kolektörler arasında birim maliyeti en düşük sistemdir. Odak eksenindeki absorber borusunun sabit kalması diğer kolektör sistemlerine göre avantajı olmaktadır. Üretiminin nispeten basit olması, yatırım maliyetinin düşük olması ve işletimindeki kolaylığa karşın Türkiye'de Fresnel kollektörü üretimi yapan endüstriyel bir firma bulunmamaktadır. Bu tezin amacı, yerel altyapı olanaklarıyla elektrik üretimi veya ısıl proses için gerekli olan sıcak akışkan ihtiyacının doğrusal fresnel güneş kollektör sistemiyle karşılanması için tasarım

parametrelerinin belirlenerek prototipinin geliştirilmesidir. Çalışmanın sonucunda, geliştirilecek sistemin GAP bölgesinde uygulanabilirliği ve performans değerleri incelenmiş olacaktır.

1.2.Tezin Kapsamı

Doğrusal fresnel güneş kolektörleri, düşük maliyetli tek eksende güneş takip sistemine sahip çizgisel odaklı bir yoğunlaştırıcı sistemdir. Bu tez çalışmasında, TÜBİTAK'ın yoğunlaştırılmış güneş enerjisi özel alanında 1003 proje desteğini almaya hak kazanan 118M143 numaralı "Yenilikçi Yerli Tip Fresnel Kollektör Geliştirme ve Prototip Üretimi" başlıklı projesine gerçekleştirilen çalışmaların ilgili bölümleri paylaşılmıştır. Tez çalışması kapsamında, 20 kW ısıl kapasiteye sahip doğrusal fresnel güneş kollektörün Şanlıurfa meteorolojik koşullar göz önünde bulundurularak sistemin optik ve termal sonuçlar verilmiştir. Çalışmanın devamında optimize edilen doğrusal fresnel kolektör sisteminin prototip imalatı Harran üniversitesi Gapyenev çalışma sahasında gerçekleştirilen kurulum ve montaj işlemleri gösterilmiştir.

1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler

Güneş enerjisi sistemlerinin yoğunlaştırıcı güneş enerjisi teknolojilerinin verimliliğinin artırılması, araştırmacılarının üzerine yoğunlaştıkları güncel konulardan biridir. Bu teknolojiler içinde linear fresnel kollektörler en az gelişmiş olanlarındandır. Bu nedenle, bu teknolojinin geliştirilmeye önü açık bir sistemdir. Bu tez çalışmasında doğrusal fresnel kollektörleri tasarım ve imalat süreçleri ele alınarak yerel imkanlarla sistemin geliştirilmesi sağlanacaktır. Tez kapsamında gerçekleştirlen çalışmalar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

• Sistemin boyut optimizasyonu yapılarak kayıpların minimize edilmesi ve etkili parametrelerin belirlenmesi

• Absorber yüzeyinde gerçekleştirilecek kaplama uygulaması ile verimin maksimize edilmesi

• Prototip kurulumunun gerçekleştirlmesi

• Şanlıurfa meteorolojik koşullarında sistemin ısıl performans analizin gerçekleştirilmesi

• Sistemin uygulanabilirlik, kullanılabilirlik test edilmesi

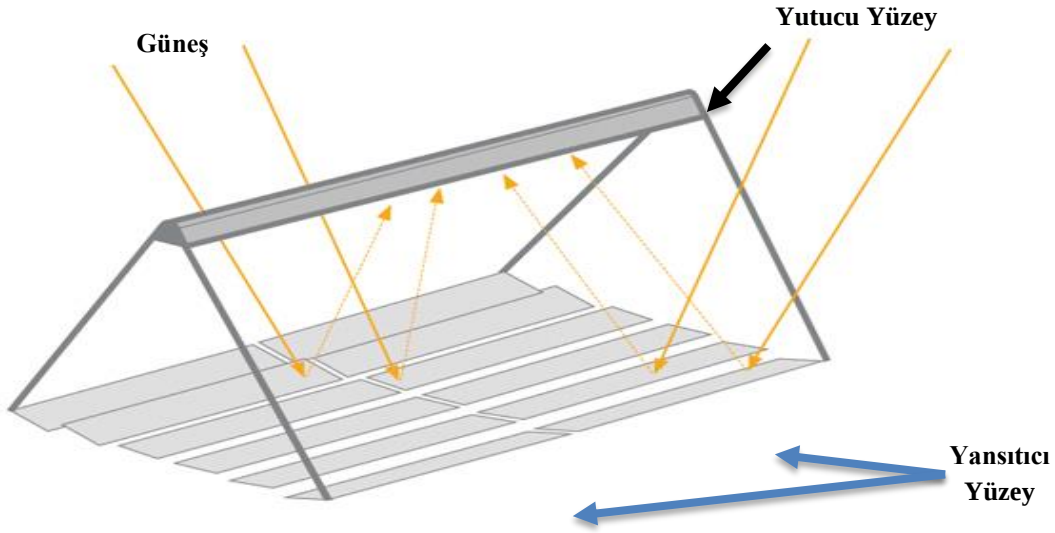
Böylece ülkemizde neredeyse yok denecek kadar az olan yoğunlaştırmalı sistemlerin kullanımı önündeki enegellerin ortadan kaldırılması için bir çalışma ortaya konulmuş olunacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Güneş termal enerji teknolojileri, güneş enerjisi sistemlerinin önemli bir parçasıdır. Solar termal enerji teknolojileri az, orta ve çok sıcaklık uygulamaları olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Bu sistemlerin, en önemli unsuru güneş kollektörleri olarak da adlandırılan güneş kollektörleridir. Düşük sıcaklıklı uygulamalarda düzlemsel güneş kollektörleri, sıcak uygulamalarda orta; Yüksek sıcaklık uygulamalarında lineer yoğuşmalı kanallı parabolik ve Fresnel kollektörler ile nokta yoğuşmalı parabolik kollektörler ve merkezi alıcılar kullanılmaktadır (Yeşilata ve ark., 2011).

2.1. Dogrusal Fresnel Teknolojisi

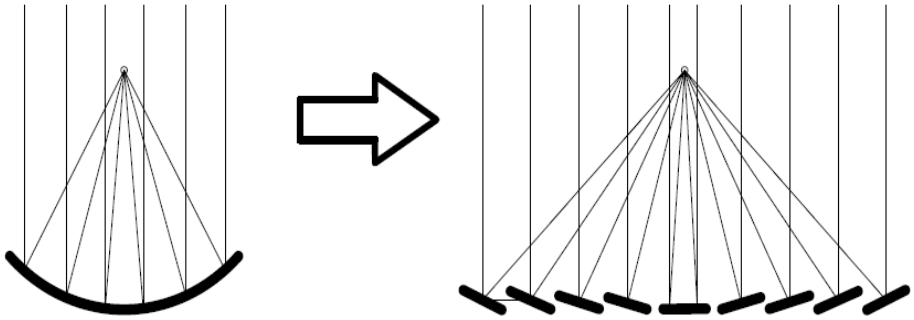
Fresnel kollektörler, çizgisel odaklamalı güneş enerjisi teknolojilerinden biridir. Temel bileşenleri; Yansıtıcı yüzey, emici yüzey ve emici yüzeyden geçen ısı transfer akışkanlarıdır. Odak ekseninde yer alan yutucu (absorber boru) yüzeyinde, yansıtıcı yüzey adı verilen çok sayıda düz ve uzun ayna üzerine düşen güneş ışınlarını yansıtarak, boru hattından geçen akışkanın sıcaklığını yükseltir (Feldhoff, 2012). Şekil 2.1.'de şematik olarak bu sistem gösterilmiştir (Feldhoff, 2012).



Şekil 2.1. Fresnel kollektör temel bileşenleri

Fresnel kollektörlerde akışkan sıcaklığını 400°C mertebelerine ulaştırmak mümkün olup; direkt endüstriyel buhar üretimi ya da bir buhar türbini devresi kullanılarak elektrik üretimi sağlanabilmektedir. Doğrusal fresnel reflektörler en eski yoğunlaştırma sistemlerinden biridir ve enerji maliyetlerini düşürmeye aday teknolojiler olarak kabul edilebilirler. Çoğu doğrusal fresnel kolektörler, orta ve düşük sıcaklıklarda ısı üretmek için kullanılırlar. Bina ısıtma/soğutma, endüstriyel ısı girişi, su arıtma gibi geniş bir uygulama alanında kullanılırlar. Ayrıca, Fresnel kollektörleri yüksek sıcaklıklarda ısı üretir ve endüstrideki büyük ölçekli ısıl işlemlerde veya şebeke için elektrik üretmek için de kullanılır. Lineer Fresnel sisteminin verimi diğer yoğunlaştırıcı sistemlere göre daha düşük olmasına rağmen, daha hafif yapısı ve daha az rüzgar etkisi sayesinde yatırım ve enerji maliyetleri düşürülebilmektedir (Purohitve ark., 2017).

Doğrusal fresnel teknolojisi, dünya çapında güneş enerjisi projelerinde kullanılmaktadır. Enerji, fosil yakıt veya depolama sistemleri ile entegre edilebilen ticari ve teknik olarak uygulanabilir bir teknolojidir. Lineer Fresnel kollektörü, Parabolik oluk kolektörüne benzer, ancak parabolik bir reflektör kullanmak yerine, istenen açıklık alanını elde etmek ve Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi parabolik profile yaklaşmak için düz veya kavisli ayna şeritleri kullanılır. Alıcı, parabolik oluğun aksine sabittir ve bu nedenle daha az hareketli parçadan oluşur ve bu da güçlendirme malzemelerine olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Doğrusal fresnel kolektörler, Parabolik oluk kolektörlerine daha ucuz bir alternatif sağlamaktır (Morinve ark., 2012).



Şekil 2.2. Doğrusal fresnel kollektörünün çalışma prensibi.

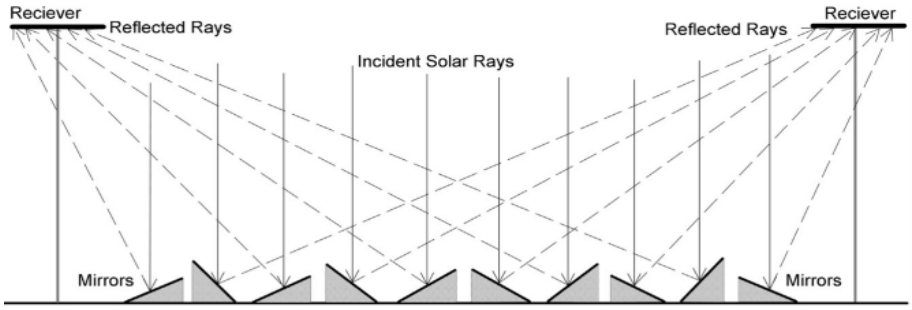
2.2. Doğrusal Fresnel Kollektör ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Isı transfer ile ilgili yapılan bu çalışmada, 79,2 m^2 açıklık alan ticari bir küçük ölçekli doğrusal fresnel kollektör içinde hava kullanılmıştır. Bu sistemde turboşarj ünitesiyle hava basınçlandırılarak fresnel kolektör sistemine gönderilerek 500 °C'ye kadar hava ısıtılması sağlanarak sistemin uygulanabilirliği gösterilmiştir (Famiglietti ve ark., 2021).

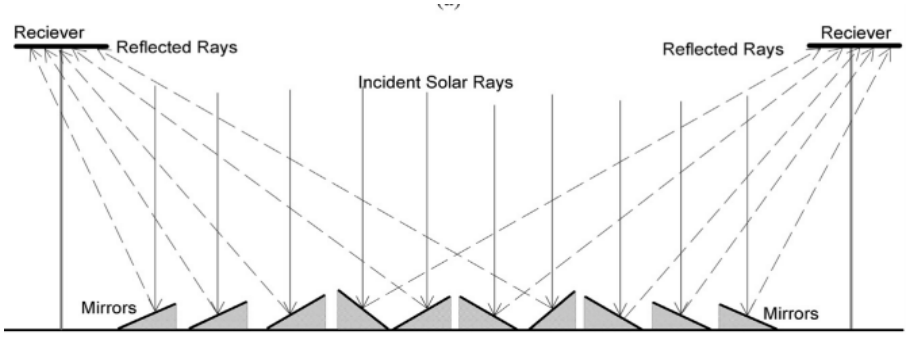
STS-MED programı (Akdeniz Toplulukları için Küçük Ölçekli Termal Güneş Bölgesi Birimleri) kapsamında yapılan projede, bir endüstriyel binanın çatısına 71 kW'lık bir Fresnel sisteminin kurulumu yapılarak bir ofis ve laboratuvar binası olan Novel Technologies Laboratory'nin (NTL) HVAC sistemine entegrasyonunu rapor edilmiştir (Montenonve ark., 2017). Bu sistemde fresnel sistemde üretilen sıcak akışkan termal depolama tankında depolanarak soğutma için Absorsiyonlu soğutma sistemine, ısıtma için doğrudan ısıtma sistemine gönderilmektedir.

Birden fazla alıcı kullanan ve kompakt lineer Fresnel reflektör sistemi olarak adlandırılan (CLFR) güneş kolektörleri, özellikle sınırlı zemin kullanılabilirliği olan uygulamalar için lineer Fresnel reflektör (LFR) sistemine kıyasla daha iyi optik performans ve maliyet etkinliği sağlamaktadır. Bu sistem ilk olarak Avustralya'nın

Queensland eyaletindeki Stanwell Elektrik Santralinde; kullanılmış ve sistemde gölgeleme ve bloklama kayıpları ortadan kaldırılmıştır (Burbidge ve ark., 2000). Ancak, literatürde CLFR sisteminin optik tasarımını ve performansını değerlendirmek için sadece birkaç araştırma yapılmıştır. Mills ve ark., çalışmalarında 2004 yılında Liddell Santralinde doğrudan buhar üretimi için CLFR güneş kolektörü kurulduğunu ve ilk performans sonuçları alındığını rapor etmişlerdir. Bu sistemde, 285°C'lik buhar sıcaklığı ve 69 bar basınç kış koşullarında aşılmış ve 0.95 kuruluk ile 80 bar'da doymuş buhar üretimi elde edilmiştir (Mills ve ark., 2014). Zhu ve ark., çalışmalarında, birbiriyle sızdırmaz hale getirilmiş bir grup doğrusal aynayı içeren optik ayna alanı, gölgeleme ve engellemeyi ortadan kaldırmak için bir kompakt lineer fresnel kollektörü tasarlanmıştır. Bu sistemde ayarlanabilir mekanik yapı, uç kayıpları belirli bir dereceye kadar azaltabilen güneş irtifa açısına uyacak şekilde yapılmıştır. CLFR sistemi, ölçeklenebilir hale getiren ve farklı sıcaklıklar sağlanabilen iki katmanlı aynalarla yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, CLFR-hibrit konfigürasyonu, LFR ve CLFR sistemlerine kıyasla en yüksek konsantrasyon ve kullanım oranlarına sahip bulunmuştur. 50 adet düz ayna elemanlı, 210 cm genişlik ve 150 cm odak uzaklığına sahip CLFR-hibrit sistem için geometrik konsantrasyon oranı 15.14 ve zemin kullanım oranı 0.95 elde edilmiştir. CLFR-hibrit sistemin konsantrasyon oranı, toplam ayna elemanı sayısı ile artarken, aksine kullanım oranı azalır. Yüksek konsantrasyon oranı elde edilirken düşük kullanım oranından kaçınmak için zemin kullanımı düşünülmesi gerekmektedir (Zhu ve ark., 2018). Şekil 2.3.'de ve Şekil 2.4.'de göstermektedir.



Şekil 2.3. kompakt lineer fresnel kollektörü şeması



Şekil 2.4. kompakt hibrit lineer fresnel kollektörü şeması

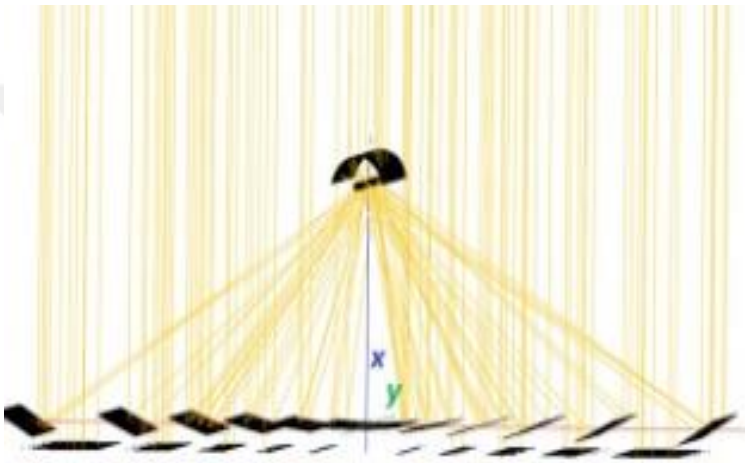
2.3. Doğrusal Fresnel Kollektör Simülasyon

Doğrusal Fresnel kollektörlerin performanlarını etkileyen parametlerin incelenmesi üzerine güncel birçok teorik çalışma da mevcuttur. Lineer fresnel ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde absorber, ayna, ısı transfer akışkanı ve optik kayıplar üzerinde olduğu görülmektedir.

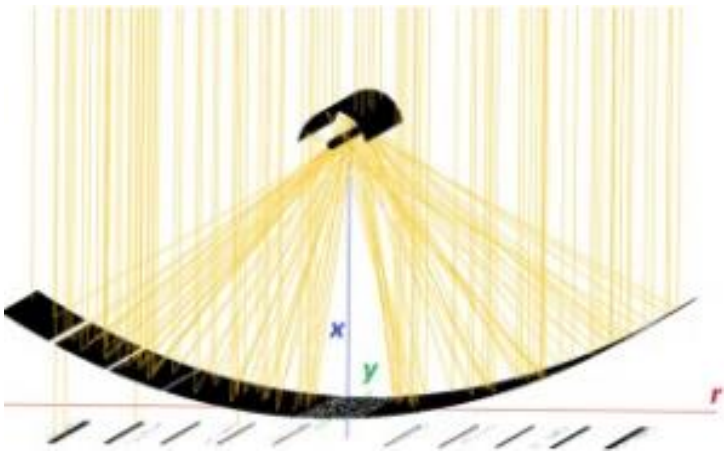
He ve ark., çalışmalarında, Işın izi teknolojisini ve geometrik analizi kullanarak, ayna elemanları kuzey-güney yönünde olan lineer fresnel reflektörlü güneş yoğunlaştırıcılarının (LFRSC) optik analizi için bir tasarım yöntemi sunmuşlardır. Bu yöntemde, aynaların absorberde olan uzaklığı ile aynalar arasındaki uzaklığın yarısı ile bir oran tanımlanmış ve bu oranın 0.9 ile 1.2 arasında olmasını belirlenmiştir. Bu çalışmada simülasyonlar, sekiz sıra aynalı düşük frekanslı bir kollektör kullanılarak aynanın genişliği ve alıcının yüksekliği değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Kollektörün merkez hattına yakın yerleştirilen aynaların, normal geliş açısına sahip dış sıraya göre daha yüksek verimliliğe sahip olduğu gösterilmiştir (He ve ark., 2012).

De Souza ve ark., çalışmalarında, Güneş enerjisi santralleri için yeni bir optik tasarım olarak doğrusal aplanatik Fresnel reflektörleri (LAFR) önermişlerdir. Bölünmüş bir birincil yansıtıcı ve tamamen sabit bir ikincil ayna ve alıcıdan oluşur. Geleneksel parabolik olukların yüksek kesme faktörlerini yüksek konsantrasyonu

sunarken Lineer Fresnel reflektörlerin pratik ve düşük maliyetli faydalarını göstermişilmiştir. Şekil 2.5.'da gösterildiği gibi güneş ışınlarının izleri, bazıları birincil aynanın parçalarını kaçırılmış ve doğrudan zemine çarpmıştır. Aplanatik fresnel kollektörü Şekil 2.6.'da gösterildiği gibi çok az sayıda güneş ışınlarının izleri kaçarılmıştır. Pratik yüksek performanslı LAFR tasarımlarının 26 konsantrasyon değerlerinde 0.84 kadar yüksek kesme faktörlerine ulaşabildğini bulmuşlardır (de Souza ve ark., 2021).



Şekil 2.5. Doğrusal fresnel kollektörü



Şekil 2.6. Doğrusal aplanatik Fresnel kollektörü

Eddhibi ve ark., çalışmalarında, doğrusal fresnel güneş kollektörü (LFSC) geometrisinin verimlilik üzerindeki etkisini incelemek için bir tasarım yöntemini

tanımlamışlardır. Önerilen yaklaşım, geometrik parametre varyasyonunun alıcı üzerinde toplanan güneş enerjisi üzerindeki etkisini değerlendirmek ve kayıp mekanizmalarının etkisini simüle etmek için hem ışın izleme hem de Monte Carlo yönteminin bir kombinasyonunu kullanan optik bir modele dayanmaktadır. Bu nedenle 50 m uzunluğunda ve 1 m alıcı genişliğinde bir LFSC ünitesi için, engelleme ve gölgeleme etkilerini azaltmak için optimum boşluk 10 cm olduğunu vurgulamışlar. Buna ek olarak, alıcı yüzeyi üzerindeki güneş akısı dağılımı göz önüne alındığında, genişliği 1 m'den 0.6 m'ye azaltılabilir. Bu nedenle, optimize edilmiş prototip, %37.5'lik bir konsantrasyon oranına, 0.79'lik bir kesme faktörü ve eğik ayna kullanılarak optik verimliliği yaklaşık 0.74 olduğunu hesaplamışlardır. Optik verimlilik kışın 0,4'ten yaz aylarında 0,7'ye ve üretilen ısıl akış 350 kW'dan 718.27 kW'a yükseldiğini gözlemlemişlerdir (Eddhibi ve ark., 2017).

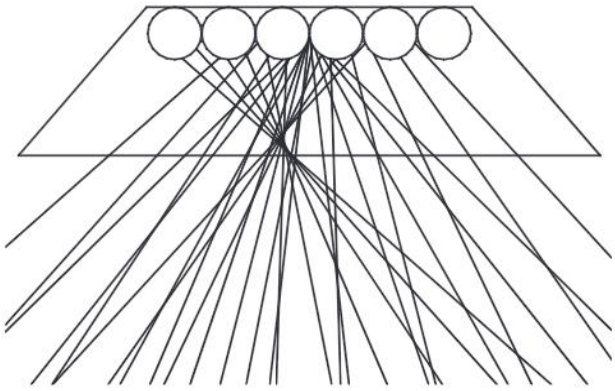
Doğrusal fresnel kollektöründe yansıtıcı yüzeyi aynalardır. Aynalar üzerine gelen güneş ışınını, bazı tasarımlarda su, yağ, hava ve erimiş tuz gibi bir ısı transfer akışkanı içeren absorber yüzeye odaklar. Kullanılan ısı transfer akışkanı sistemin çalışma sıcaklığına bağlı olarak belirlenir. Bu sistemde ayna açıklığı, ayna yüzey alanı olarak ifade edilir. Ayna açıklığının arttırılması, alıcı modüle yansıyan güneş radyasyonu miktarını arttırır. Büyük sistemler için tipik açıklık genişlikleri 15 m civarındadır. Aynalar düz veya elastik olarak kavisli olabilir ve genellikle kompozit/metal arkalığı olan camdan yapılır, aynanın kavisli olması konsantrasyon oranını arttırır ve alıcının tasarımını daha basit hale getirir. Ayna genişliği ve uzunluğu tasarıma bağlı olarak değişir (Bellos, 2019).

Barbon ve ark., çalışmalarında, küçük ölçekli doğrusal fresnel kollektörün tasarımında alıcı yüksekliği, ayna uzunluğu ve genişliği gibi tasarım parametrelerinin absorber boruda toplanan enerji miktarını üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada elde edilen simülasyon sonuçlarında, alıcı yüksekliğinin, ayna uzunluğunun ve ayna genişliğinin absorber borunun üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Analiz edilen durumlar arasında, ayna genişliğindeki %30'luk bir azalma, absorberde alınan enerjide %59'luk azalmaya, alıcı yüksekliğindeki %30'luk

bir artışta, absorberde alınan enerjide %8'lik artışa ve ayna uzunluğunda %30 oranında artışta, absorberde alınan enerjide yaklaşık %24'lük bir artışa sebep olduğu gösterilmiştir (Barbon ve ark., 2018).

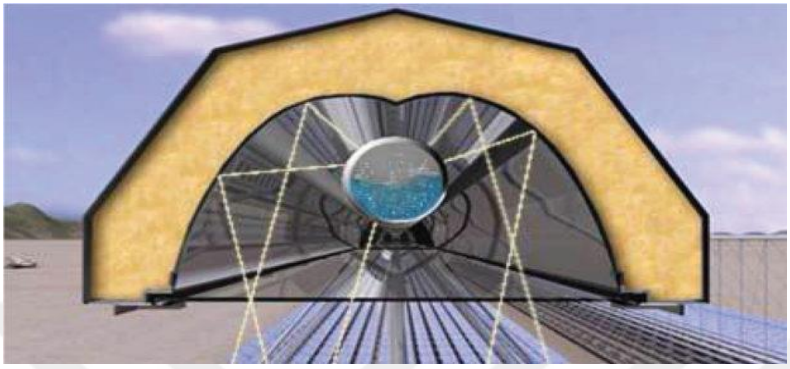
Doğrusal fresnel güneş kollektörlerinde, absorber boru etrafındaki odaktan kaçan güneş ışınımını tekrar absorbere yönlendirerek sistemin termal kayıbı oluşturmadan toplam performansı artırmak için absorber boru üzerine yerleştirilen ikinci reflektörler kullanılır. İkinci reflektörün şekli, absorber boru tarafından yakalanan güneş enerjisinin belirlenmesinde oldukça önemlidir (Hack ve ark., 2018). İkinci reflektör konfigürasyonu, gelen radyasyonu absorber boruya yoğunlaştırmak için düzenlenir. İkinci reflektörlü fresnel kolektörler, absorber boru, yansıtıcı yüzey, ısı kaybını önlemek üzere yalıtım örtüsü ve destek yapılarıdan oluşur (Zhu ve ark., 2014).

İkinci reflektörün çeşitli konfigürasyonları bulunmaktadır. Trapez çerçeve içinde çoklu absorber tüpün kullanıldığı ikinci reflektörlerde daha büyük alıcı yüzey alanına sahip olunması avantaj olarak değerlendirilir. Ancak yüksek sıcaklıkta yüksek ısıl kayıp nedeniyle, bu konfigürasyon düşük sıcaklık prosesleri (180-300°C) için uygundur (Facao ve ark., 2011). Şekil 2.7.'de göstermektedir.



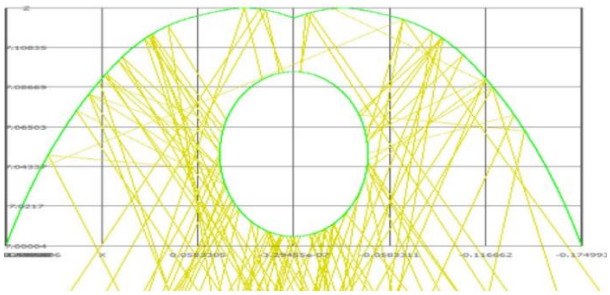
Şekil 2.7. Boşaltılmamış emici borusu

Bir diğer yaygın ikinci reflektör konfigurasyonu, iki parabolün kesişmesiyle oluşan bileşik parabol formundadır ve bileşik parabolün tasarımı alıcının geometrisine bağlıdır (Lai, 2011). Şekil 2.8.'de göstermektedir.



Şekil 2.8. Novatec boşaltmamış alıcısı ve ikincil reflektörün kesit çizimi

Hack ve ark., çalışmalarında, ikinci reflektörün şekli ile ilgilenmiş ve uyarlanabilir tasarımlar sunmuşlardır. Uyarlamalı yöntem, bir kollektörün optik özelliklerine göre popüler ikinci reflektör tasarımları (Uyarlanabilir, Bileşik parabolik (CPC), Trapezoidal ve Kelebek) değerlendirilmiştir. Güneş doğrudan toplayıcının üzerindeyken kesme (intercept) faktörü ve toplam toplayıcı optik verimliliği, tasarımların her biri için hesaplanmıştır. CPC ikinci reflektörü, Uyarlanabilir ikinci reflektöründen %3 daha az performansa sahip olduğu gösterilmiştir. NREL'in yeni geliştirilen uyarlanabilir tasarımının Şekil 2.9'de gösterdiği gibi dört tasarım arasında en iyi performansı sunduğu gösterilmiştir (Hack ve ark., 2018).



Şekil 2.9. NREL'in uyarlanabilir ikinci reflektörü

Minaeian ve ark., çalışmalarında dairesel, düz, az parçalı ve parabolik olmak üzere dört farklı ikincil reflektör tipi ve yönü incelenmiş ve optik olarak karşılaştırılmıştır. Tüm geometrik parametreler her bir durum için ayrı ayrı optimize edilmiştir. Her ikincil reflektör tasarımının diğer durumlara kıyasla akı yoğunluğu ve akı homojenliği açısından en verimli geometrisini elde etmek için çok çeşitli geometrik parametreler araştırılmıştır. Sonuçlar, birkaç düz parçalı toplayıcının akıyı %87.9'a çıkardığını gösterilmiştir. Ayrıca, dairesel ve parabolik ikincil reflektörler kullanılarak en yüksek güneş akı homojenliği elde edilmiştir. İmalat maliyeti önemli bir parametre olarak düşünüldüğünde, düz reflektör, akı miktarı açısından en uygun olanıdır. Son olarak, akı miktarı, dağıtımı ve üretim maliyeti gibi üç kriterin tümü dikkate alındığında, düz reflektör en uygun ikincil reflektör olarak seçilemesini belirlemişlerdir. Aşağıda ikinci reflektör çeşitleri sıralanmıştır (Minaeian ve ark., 2020).

1) Üç bölümlü düz trapez şeklinde ikinci reflektör

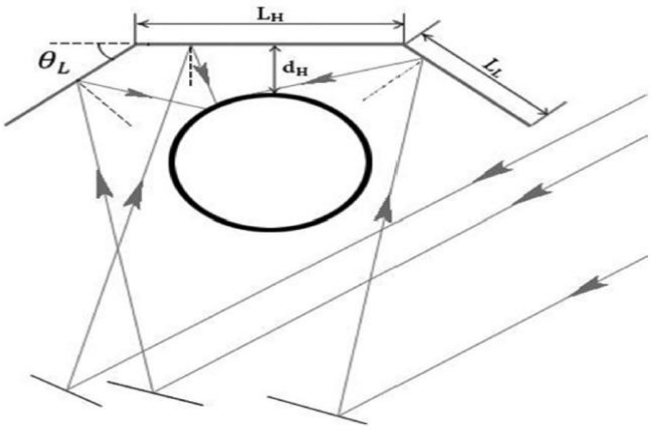
Bu reflektör, üç parçalı birdüz reflektörden oluşur (Şekil 2.10). Segmentler arasındaki boyut ve açı, uygun koşullara ulaşmak için ayarlanabilir. Merkezi segmentin etrafında yer alır. Bu reflektörün performansı üzerinde etkili olan parametreler aşağıdaki gibidir:

• Kanatçıkların yataya göre eğimi (OL).

• Merkezi bölümün genişliği (LH).

• Yan bölümlerin genişliği (LL).

• Emici borunun üzerindeki dikey mesafe (dh).



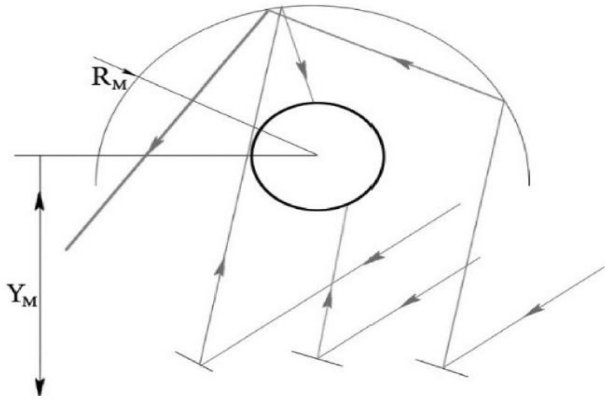
Şekil 2.10. Üç parçalı düz ikinci reflektörün şeması

2) Dairesel şeklinde ikinci reflektör

Bu reflektörün performansı üzerinde etkili olan parametreler aşağıdaki (Şekil 2.11) gibidir:

• İkincil reflektörün yarıçapı, RM

• Reflektörün merkezleri ile birincil reflektörler arasındaki dikey mesafe, YM.



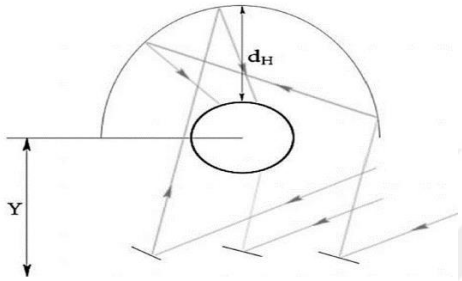
Şekil 2.11. Dairesel şeklinde ikinci reflektörün şeması

3) Parabolik şekilinde ikinci reflektör

Parabolik yoğunlaştırıcılar, güneş enerjisi santrallerinde yaygın olarak kullanıldıkları için uygun ikinci reflektörler gibi görünmektedir (Şekil 2.12). Bu reflektör için değişken parametreler aşağıdaki gibidir:

• Parabol odak uzaklığı (p).

• Emici tüp ve parabolik reflektör (dh) arasındaki dikey mesafe.



Şekil 2.12. Parabolik şekilinde ikinci reflektör

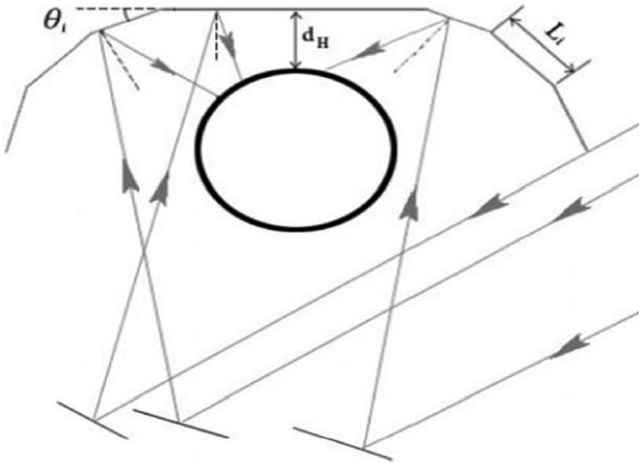
4) Birkaç parçalı düz şeklinde ikinci reflektör

Bu konfigürasyonun bir avantajı, her segmentin daha hassas bir şekilde ayarlanabilmesidir. Ayrıca yapım maliyeti dairesel reflektöre göre daha düşüktür. Sistemin performansını iyileştirmek için düz reflektör ve dairesel reflektör birkaç düz parçalı reflektör elde etmek için birleştirilebilir (Şekil 2.13). Bu durumda değişkenler aşağıdaki gibidir:

• Her düz segmentin genişliği (Li).

• Yatay segment ve emici boru arasındaki mesafe (dh).

• Yataya göre her parçanın eğimi (0).



Şekil 2.13. Birkaç parçalı düz şeklinde ikinci reflektör

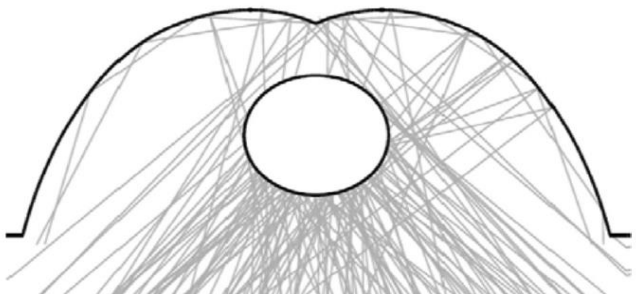
5) İki parabol birleşimi şeklinde ikinci reflektör

Bu reflektörü farklı boyutlara ve geometrilere sahip olabilir (örneğin, düz, tek yaylı ve çift yaylı). Aşağıdaki parametrelerin alıcı tüp üzerindeki çevresel ısı akışı dağılımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır:

• Ark tipi.

• Yayın yarıçapı.

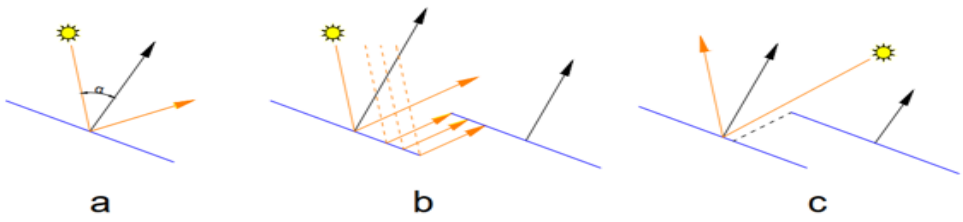
• Reflektörün boyutu.



Şekil 2.14. İki parabol birleşimi şeklinde ikinci reflektör

Güneş Yoğunlaştırma teknolojileri, güneş ışığını bir alıcıya yoğunlaştırmak için yansıtıcı yüzeyler (ayna) kullanır. Doğrusal fresnel kollektör sistemleri, güneş

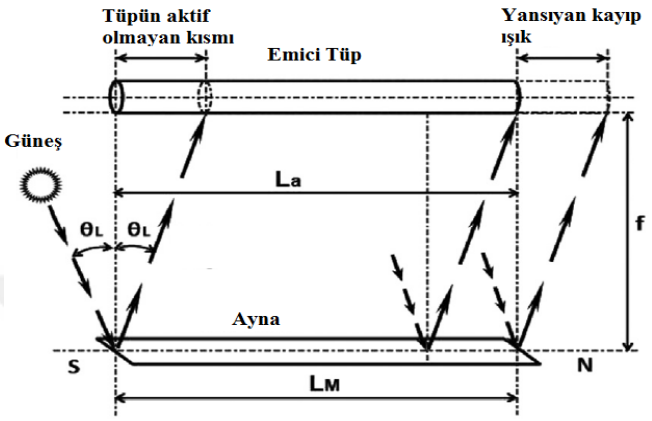
ışınlarını yüksekte monte edilmiş sabit bir doğrusal alıcıya yansıtan uzun, dar, düz veya hafif kavisli aynalar kullanır. Küçük ölçekte bile, genellikle tek eksenli izleme mekanizmaları kullanılır. Bu nedenle, gelen güneş ışınları genellikle eğik olduğundan, bu sistemlerin optik kayıplara sahip olmaması kaçınılmazdır: kosinüs kayıpları, gölgeleme ve engelleme kayıpları olarak üç tür geometrik kayıp vardır. Bu nedenle, diğer teknolojilere kıyasla (basitlik, sağlamlık ve düşük yatırım maliyeti) bazı avantajlara sahip olmalarına rağmen, aynı zamanda verimliliklerini önemli ölçüde sınırlandıran önemli dezavantajları ve sınırlamaları da vardır. Literatürde bu Sistemlerin optik kayıplarını tahmin etmek için yeterli sayıda çalışma mevcuttur. Bununla birlikte, gölgeleme, engelleme ve kosinüs kaybını hesaba katmak için genellikle ışın izleme yöntemleri kullanılmaktadır. Doğrusal fresnel kollektör sistemi, sabah güneşin doğması ile çalışmaya başlar gün batımına kadar devam eder. Öğlen vakti daha yüksek miktarda güç üretir. Bu tür kollektörlerde Şekil 2.15.'de gösterilen kosinüs, gölgeleme ve engelleme (bloklama) nedeniyle yansıyan ışınların belli bir yüzdesi kaybolur. Güneş enerjisinin konsantre edilmesinde, optik kalite temel bir parametredir ve sistemin verimliliğini etkiler (Sepulveda ve ark., 2019).



Şekil 2.15. Geometrik Optik kayıplar: (a) kosinüs kayıpları, (b) engelleme, (c) gölgeleme

LFC'de ısıl performans üzerinde abserber tüpe gelen enerjinin etkisi çok önemlidir. Aynalardan yansıyan güneş ışınlarının tamamı absorber üzerine düşmez. Absorber yüzeye gelen enerjinin değerlendirilmesinde uç kaybı ve yansıyan ışık kaybı olarak ifade edilen iki tür kaybın hesaba katılması gerekir. Şekil 2.16.'te uç kaybının gösterilmiştir. Absorberin uç tarafında güneşin geliş açısından dolayı güneş ışığının ulaşmadığı bölge oluşur bu kısım uç kaybını oluşturur. Absorberin uygunsuz uzunluğundan kaynaklanan emici tüp üzerine düşmeyen güneş ışınlarına ışık kaybı olarak adlandırılır. Bu iki tür kayıba kosinüs kayıbı denir. Barbon ve ark., bu kayıbı

doğrudan çıkarılması için absorber borunun uzunluk ve konumunun optimizasyonuna odaklanan geometrik bir algoritmaya dayanan yeni bir matematiksel yöntem sunmuştur (Barbon ve ark., 2016).



Şekil 2.16. Kosinüs kayıbını gösteren doğrusal fresnel kollektörü

Montes ve ark., tarafından yapılan çalışmada Lineer Fresnel reflektörü (LFR) ve kompakt lineer Fresnel reflektörü (CLFR) arasında bir performans karşılaştırması yapılmıştır. Sonuçlar, CLFR durumunda gölgeleme ve bloklama kayıplarında azalma olduğu gösterilmiş, ancak CLFR'de ayna sıraları alıcıdan daha uzağa hizalandığından, ışın yayılması nedeniyle alıcıdaki radyasyon olayının miktarı LFR'ye kıyasla daha düşükt olduğu ve LFR'nin genel verimliliği, CLFR'ninkinden daha yüksek bulunduğu gösterilmiştir (Montes ve ark., 2014).

Sharma., tarafından yapılan çalışmada, aynalar arası boşluk, alıcı yüksekliği ve kollektör oryantasyonu ile ilgili gölgeleme ve engelleme kayıpları analizi edilmiştir. Sonuçlar, gölgeleme ve engellemenin gün içinde önemli ölçüde değiştiğini, ancak Kuzey-Güney yönelimli kollektör (Kuzey-Güney düzleminde dönme ekseni) için bir yılda çok fazla değişmediğini gösterilmiştir. Öte yandan, Doğu-Batı yönelimi için zıt davranış, yani gün içinde değil, aylara göre önemli farklılıklar gözlenmiştir. Ek olarak, Kuzey-Güney yönünde, gölgeleme öğle saatlerinde sıfır ve düşük güneş irtifasında (gün doğumu ve gün batımına yakın) maksimum iken, engelleme öğle saatlerinde

zirveye ulaşmış, gün doğumu ve gün batımı sırasında sıfıra düştüğünde ve Doğu-Batı yönelimi göz önüne alındığında, sonuçlar en az yaz gündönümü çevresinde ve maksimum kış gündönümü çevresinde gölgelenme gösterilmiş, ancak engelleme için tam tersi - kış gündönümü çevresinde minimum ve yaz gündönümü çevresinde maksimum olduğu gösterilmiştir (Sharma, 2014).

Abbas ve ark., çalışmalarında doğrusal fresnel kollektör sisteminde ayna genişlikleri ve aynalar arası boşluğu engelleme ve gölgeleme etkilerini dikkate alarak tasarlanmışlarr. Bu çalışmada, maliyette herhangi bir artış olmadan verimliliği artırabilen tutarlı bir fresnel kollektörünun tasarımı elde etmek için bu parametreler analitik olarak incelenmiştir. Belirli bir tasarım için bir yıl boyunca ışın izleme simülasyonu gerçekleştirilerek, geleneksel tasarımlara kıyasla radyasyon toplama verimliliğinde bir artış elde edilmiştir. Bununla birlikte, ayna genişliğini değiştirerek kullanılması, değişken boşluk ve sabit ayna genişliği tasarıma kıyasla net bir verimlilik artışı sağlamadığı bulunmuştur. Sonuç olarak ayna genişliği artinca gölgelemenin arttığı gözlenmiştir (Abbas ve ark., 2017).

Song ve ark., tarafından yapılan çalışmada, kosinüs kayıpları, gölgeleme ve engelleme kayıpları gibi optik kayıpların hesaplanması için bir matematiksel modeli geliştirilmiştir. Bu model nihayetinde alıcı yüksekliği, reflektörlerin genişliği ve aynalar arasındaki boşluk gibi tasarım parametrelerinin etkisini incelemek için kullanılmıştır. 3 m'nin altındaki alıcı yüksekliği için alıcının gölgesinden kaynaklanan kayıpların önemli olduğu ve bu nedenle önerilen yüksekliğin 3 m ve üstünden olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, artan ayna aralığı ile gölgeleme ve engellemede azalma olduğu gösterilmiş, öte yandan daha geniş aynalar, daha yüksek gölgeleme ve engelleme nedeniyle daha düşük optik verimliliğe yol açtığını gözlenmiştir (Song ve ark., 2015).

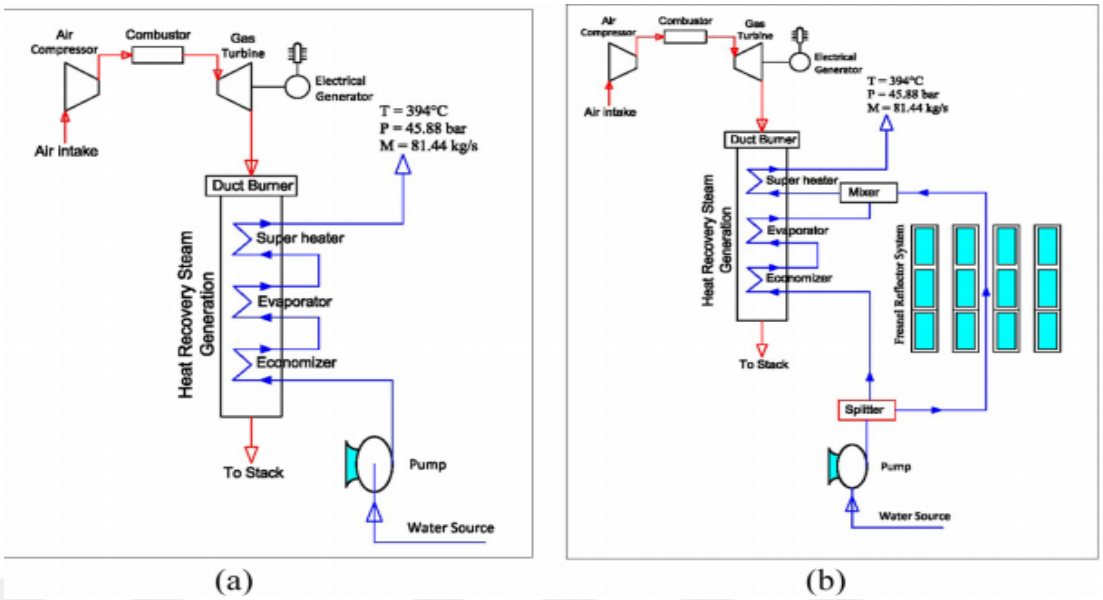
2.4. Doğrusal Fresnel Kollektör Optimizasyonu

Sicilya'da inşa edilen bir prototip için lineer bir Fresnel kollektör geometrisini optimize etmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Öte yandan, gelişmiş görüntüleme dışı optik konseptleri kullanıldığında, vakum alıcıları ve hava alıcıları dahil olmak üzere birkaç olası ikincil bileşen vardır. Tasarım çalışmasının sonuçları, yeni LFC prototipinin ve yapısının geometrik tasarımı için uygun çözümler olduğunu göstermiştir. Belirtilen aralıktaki birincil ayna ve ikincil kapasitör alanındaki değişiklikler, belirli sınır koşulları altında bireysel optik tasarıma yol açtığını vurgulanmıştır (Barale ve ark., 2010).

Valencia'da (İspanya) Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)'de geliştirilen endüstriyel olarak üretilen bir lineer fresnel yoğunlaştırıcının tasarımı optimize edilmiştir. Bu çalışmada düz alıcı doğrusal fresnel kollektörü, bir ışın izleme kodu kullanılarak optik olarak modellenmiştir. Ayrıca Kahire'de kurulu bir güneş enerjisi santralinin yıllık güneş enerjisi verimine uygulanan Taguchi yöntemi ile optimize edilmiştir. Yapılan çalışmada, iki farklı üretici firmasından temin ettikleri düzlemsel yüzeyli güneş kollektörünü kullanmıştır. Araştırmacı deney düzeneğinde akış hızı, giriş sıcaklığı, kollektör boyunca sıcaklık artışını ve kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı ölçümlerini saniyede bir yapmıştır. Her iki kollektör için de elde edilen tüm parametreleri ASHRAE 93-86 standardına göre karşılaştırmıştır. Araştırmacı deneyde giriş sıcaklığı olarak, 40°C başlangıcında, 80°C sonuncuda olmak üzere 10°C'lik fark ile 5 adet giriş sıcaklığında deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, yeni dinamik yöntemi (NDM), hızlı dinamik teste (QDT) göre daha güvenilir bulmuştur (Pauletta, 2016).

Elektrik üretiminde klasik olarak kullanılan doğal gaz yakıtlı gaz türbinlerinde güneş enerji entegrasyonuyla kurulacak güneş-doğal gaz entegre santralleri (ISGCPP) özellikle Orta Doğu ülkeleri başta olmak üzere, güneş kuşağındaki birçok ülkede avantajlı bir konuma gelebilir. Bu ülkelerde elektrik üretimi için en uygun çözüm

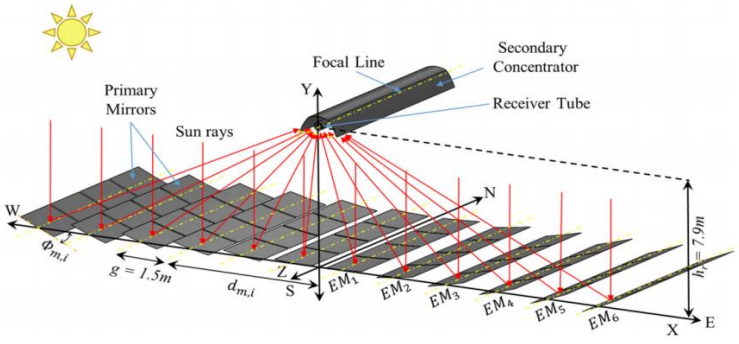
olarak ISGCPP, geleneksel konsantre güneş enerjisi santrallerinde termal enerji depolama ihtiyacını azaltır ve tek başına konsantre termal güçten daha düşük maliyetle ve fotovoltaik santrallerden çok daha ucuza güç sağlar. Ayrıca, konsantre güneş enerjisinin (CSP) geleneksel fosil yakıt bazlı termik santrallerle entegre edilmesi, büyük ölçekli merkezi elektrik üretim santralleri için oldukça uygundur ve yeni kurulan santrallerin tasarımında veya mevcut santrallerin güçlendirilmesi sırasında uygulanabilir. Dabwan ve ark., yaptığı çalışmanın temel amacı, 150 MWe elektrik üretim kapasiteli bir gaz türbinine sahip olan ve bir endüstriyel tesis için 394 °C, 45,88 bar ve 81,4 kg/s buhar üreten mevcut bir gaz türbini kojenerasyon tesisinin olası modifikasyonlarını araştırmaktır. Bu bağlamda, LFR konsantre güneş enerjisi alanı ile entegre gaz türbini kojenerasyon tesisinin termo-ekonomik performansını belirlemek için Thermoflow yazılımı kullanılarak birçok simülasyon gerçekleştirilmiştir. Gaz türbininin farklı elektrik üretim kapasiteleri ve güneş kollektörlerinin farklı alanları incelenmiştir. Thermoflow yazılımı simülasyon sonuçları, minimum maliyet ve çevresel etki ile gerekli buhar üretimini elde etmek için gereken gaz türbininin ve entegre güneş enerjisi türbini kojenerasyon tesisinin (ISGCPP) güneş alanının optimal konfigürasyonunu ve boyutlandırılmasını belirlemek için kullanılmıştır. Çalışma, ISGCPP'nin tamamen güneş enerjisiyle çalışan LFR enerji santraline göre seviyelendirilmiş elektrik maliyetini %76-85 oranında azaltabileceğini ortaya koyulmuştur. Ayrıca çalışma, 50 MWe kapasiteli gaz türbini boyutuna ve 93 ha LFR güneş alanına sahip ISGCPP konfigürasyonunu optimum entegre tesis olarak tanımlanmıştır. Yıllık CO_2 emisyonunu, 50 MWe ve 400 k tonluk karşılık gelen konvansiyonel santral tarafından salınanla karşılaştırıldığında 100 k ton (%18) azaltığını fark edilmiştir (Dabwan ve ark., 2017). Şekil 2.17.'de göstermektedir.



Şekil 2.17. (a) Geleneksel GCP (b) LFR gaz türbini kojenerasyon tesisi ile ISGCP şematik diyagramı

2.5. Doğrusal Fresnel Kollektörü Optik ve Termal Verim

Hindistan, Vallipuram'da kurulu 154 m^2 birincil ayna alanına sahip bir LFR sistemi pilot tesisi düşünülmüştür. Fresnel aynaların eğim ve yarıçap eğrileri daha düzgün bir akı elde edilebilmesi için düzenlenmiş ve buna ek olarak yeni bir yoğunlaştırıcı konfigürasyonu önerilerek optik verimin %76,4 olarak bulunduğu belirtilmiştir (Prased ve ark., 2017). Şekil 2.18.'de göstermektedir.



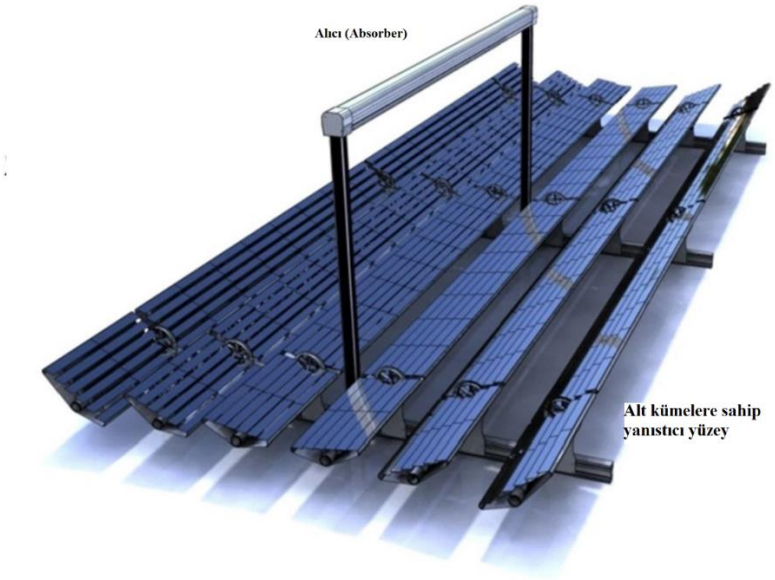
Şekil 2.18. İkincil yoğunlaştırıcılı lineer fresnel reflektörün şeması.

Bellos ve ark., çalışmasında yeni olan Bezier polinom parametreleri kullanılarak bir LFR'nin ikincil reflektörünü optimize ederek optik ve ısıl verim performansları

hesaplanmıştır. Geliştirdikleri geometrik tasarım sounucunda optik verim % 61.01'den % 72.89 olarak hesaplanmıştır. Isıl verim ise % 20.50'den % 22.50'e arttığı gözlenmiştir (Bellos ve ark., 2018).

de Sa ve ark., yaptıkları çalışmada küçük ölçekli doğrusal bir fresnel yoğunlaştırıcının optik ve ısı kayıbı karakterizasyonunu deneysel olarak elde etmek için geliştirilen prosedürler uygulanmıştır. Sistemin optik verimliliği % 47-52 arasında değiştiğini ve ısı kaybı 130˚C 'ye kadar sıvı sıcaklıkları için oluşturulmuştur (de Sa ve ark., 2021).

Vouros ve ark., tarafından yansıtıcı ile ilgili bu çalışmada, alt kümelere sahip lineer Fresnel toplayıcıların optik, termal ve genel özellikleri açıklanmıştır. Alt kümeler, birbirlerine göre orantılı olarak konumlarını korurken alıcıya odaklanan aynalardan oluşur. Sistem şematik olarak Şekil 2.19'de verilmiştir. Lineer fresnel kollektörünün optik verimini bulmak için ışın izleme modellemesi kullanılmıştır. Termal verimini değerlendirmek için termal analız yapılmıştır. Spesifik aynalar ile ayna serileri aynı arazi alanına eşit olarak dağılmış bir karşılaştırma yapılmıştır. Birincil aynaların yansıtıcı yüzeyi için farklı yansıtma değerlerine ve optik hatalara sahip iki malzeme, yani cam aynalar ve alüminyum levhalar dikkate alınarak, yansıtıcı alt kümelere sahip kollektörün performansının, güneşin öğlene yakın konumları için düzgün dağılmış aynalara sahip kollektörün performansına benzer ve güneşin büyük eğimi için daha az olduğu gösterilmiştir. Her tasarım için alıcı üzerinde kendi sıcaklık dağılımını vermiş ve benzer bir şekilde termal verim sağlanmıştır. Bununla birlikte, katoptrik-alt küme tasarımı, daha az sayıda dönen parça gerektiren sağlam bir konfigürasyon olduğu gözlemlenmiştir. Katoptrik alt kümeler ile toplayıcının optik verimliliği, düzgün dağılmış aynalar ile benzer olduğu bulunmuştur (Vouros ve ark., 2020).



Şekil 2.19. Katoptrik alt kümeleri olan Lineer Fresnel toplayıcı.

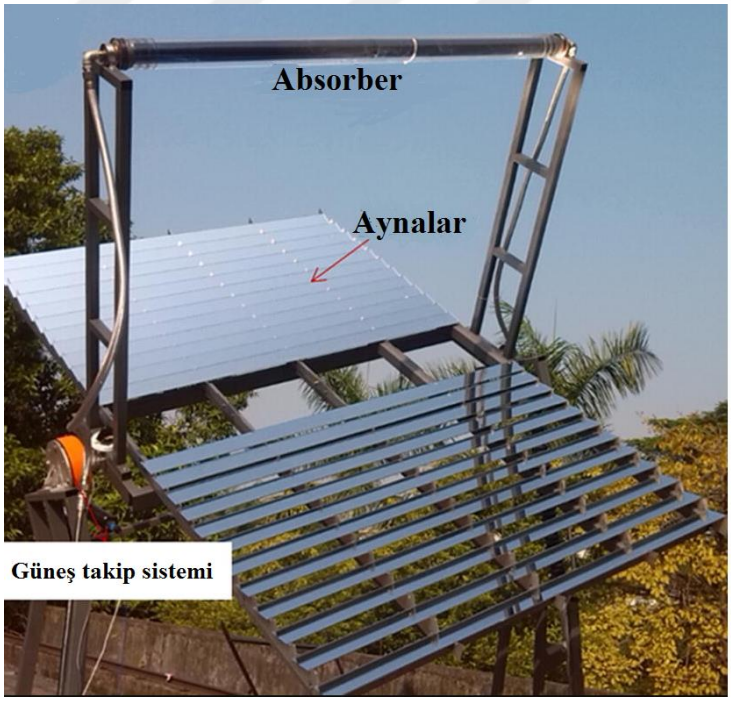
Lineer Fresnel teknolojileri hala sıcak bir araştırma konusudur ve Farklı Lineer Fresnel sistemleri hali hazırda, Novatec Solar (Almanya) Areva solar (Fransa/Amerika), Fera (İtalya) gibi birçok şirket tarafından geliştirilmektedir. Fransıs SUNCNIM şirketi tarafından geliştirilen Fresnel kollektörun, Seyne (Fransa) bölgesinde 250 kW'lık bir prototipi kurulmuş ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda günlük ısıl verimi %40 civarında belirlemişlerdir (Beltagy ve ark., 2017). Şekil 2.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. İncelenen fresnel prototipi.

5 MWe Fresnel güç üretim tesisi Cezayirin farklı bölgeleri için karakterize edilmiştir. Belli bir sayıdan sonra aynalar arasındaki gölgelemeden dolayı gelen güneş enerjisinin yoğunlaştırılmasına katkısının olmayacağı belirlenmiş ve optimum ayna sayısı 40 olarak bulunmuştur. Verim, yıllık enerji üretimi ve kWh maliyet hesaplanmıştır. Tesisin toplam verimi bölgeden bölgeye değişmekle birlikte en yüksek %15,7 bulunmuştur (Beltagy ve ark., 2015).

Zhu ve ark.,tarafından yapılan çalışmada, ölçeklenebilir bir lineer Fresnel yansıtıcı (SLFR) güneş sistemi önerilmiştir. Birbirine kapalı bir dizi lineer düz ayna içeren optik ayna alanı, ayna arası boşluk gölgelemeyi ve engellemeyi ortadan kaldırmak için tasarlanmıştır. Güneş deklinasyon açısına uydurmak amacıyla ve kayıpları azaltmak için ayarlanabilir bir mekanik kaldıraç monte edilerek maksimum ısıl verimin % 64 olduğunu gösterilmiştir (Zhu ve ark., 2017). Şekil 2.21.'de göstermektedir.



Şekil 2.21. SLFR solar system

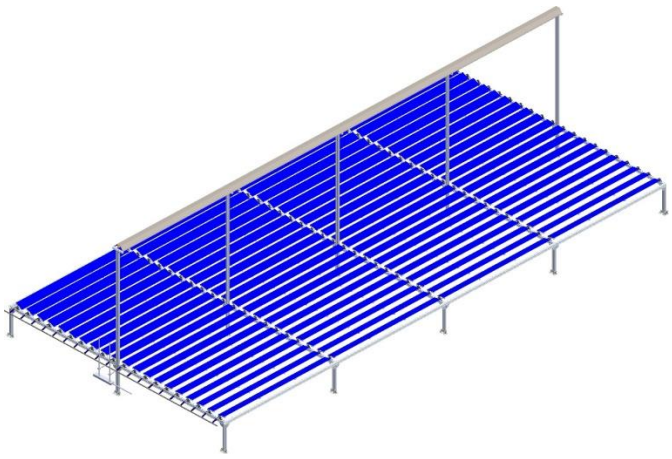
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada, doğrusal fresnel tipi güneş kolektörü incelenmiştir. Bu amaçla sistem tasarımı için Solid Works ve Tonatiuh programları kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında takip edilen tasarım ve üretim aşamaları aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Aynalar arası mesafenin belirlenmesi

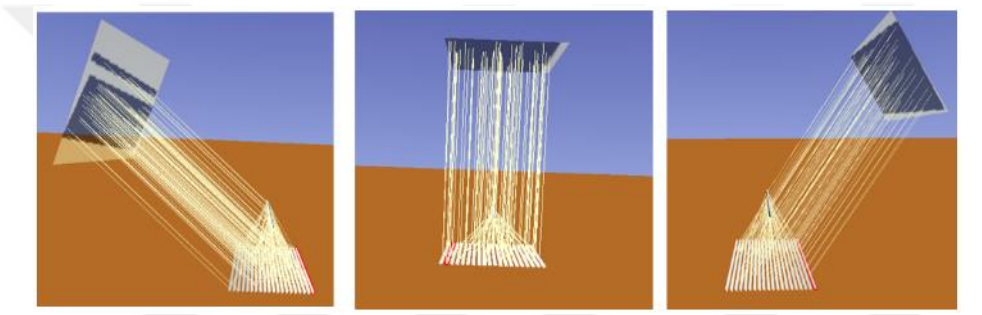
Bu çalışmada dikkate alınan doğrusal fresnel kollektörü Şekil 3.1.'de şematik olarak gösterilmiştir. Ayna serileri arasındaki bloklama (engelleme) ve gölgeleme etkilerinden oluşacak kayıpların en aza indirilmesi için aynalar arası mesafenin belirlenmesi gerekir. Aynalar arası mesafenin belirlenmesinde Solid Work programı kullanılmıştır. Bu amaçla kolektöre güneş geliş açısının 30° ve 60° gelmesi durumunda, bloklama (engelleme) ve gölgeleme etkileri dikkate alınarak optimum mesafe belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Solidworks'te tasarlanan model

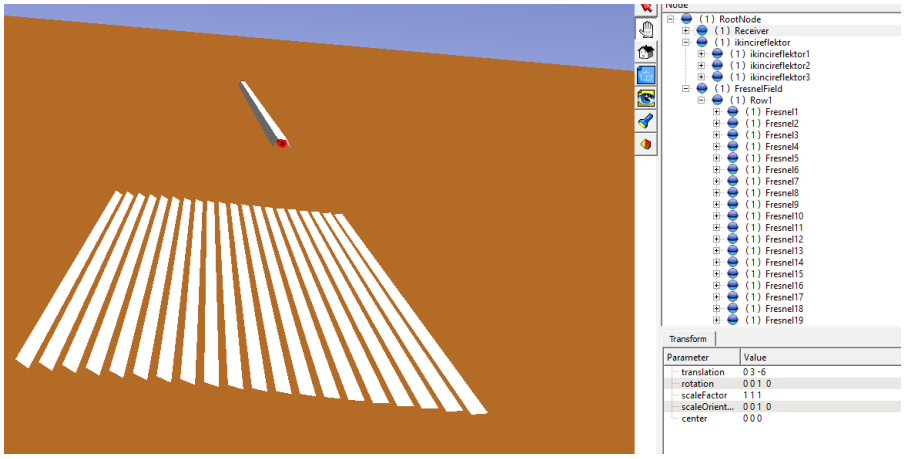
3.1.2. Optik tasarım

Bu çalışmada optik tasarım için Tonatiuh programı kullanılmıştır. Tonatiuh, güneş yoğunlaştırma sistemlerinin optik simülasyonu için açık kaynaklı, ileri teknoloji, doğru ve kullanımı kolay ve ilgilenen herkes için ücretsiz olarak kullanabilecek bir simülasyon aracıdır. Bu programda ayna yüzeyine gelen ışıma ile yutucu yüzeye gönderilen ışıma hesaplanır. Şekil 3.2.'de Tonatiuh programında güneş ışınlarının simülasyonu görülmektedir.



Şekil 3.2. Tonatiuh yazılımından güneş ışınlarının simülasyonu

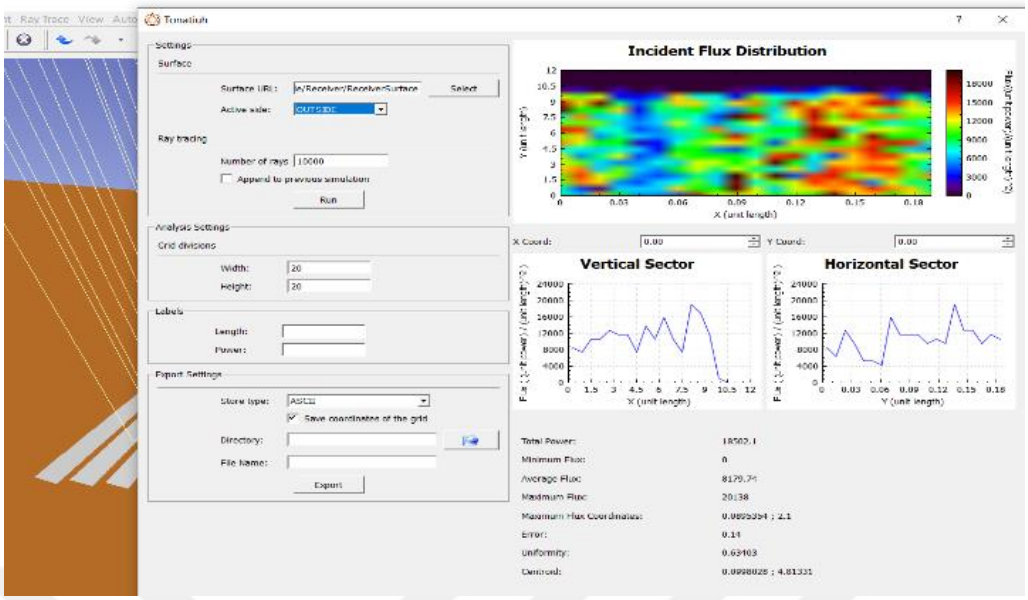
Tonatiuh programında sistemin incelenmesi için modelin sisteme tanıtılması gerekir. Bu programda sistem modellemesi iki yöntem ile yapılabilmektedir. İlk olarak tasarım modelini Tonatiuh arayüzünde bulunan sekmeler yardımıyla model oluşturabilir. İkinci yöntem olarak programda bulunan Script Editor kısmına eklenebilecek kod ile sistem modellenebilir. Bu çalışmada Script Editor için kod geliştirilerek tasarımı gerçekleştirilen model oluşturulmuştur. Şekil 3.3.'te Tonatiuh'ta tasarlanan bir modelin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.3.Tonatiuh'ta tasarlanan model

Doğrusal fresnel tipi güneş kolektörünün absorber yüksekliği, ayna genişliği ve ayna uzunluğu parametrelerinin belirlenmesi için farklı boyutlarda modeller oluşturularak Tonatiuh programında analiz edilmiştir. Tonatiuh programında incelenen tüm modeller analizlerinde, program 10 defa çalıştırılarak elde edilen sonucun aritmetik ortalaması alınmıştır. Programdan elde edilen sonuçlar arasında optik olarak en iyi sonucu veren modeller belirlenerek sistem boyutlandırılması bulunmuştur.

Tonatiuh'da incelenen modelin sonuçlarını veren ekran görüntüsü Şekil 3.4.'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, absorber yüzeyine gelen toplam ışınım miktarı hesaplamaktadır ve termal analiz için absorber yüzeyine gelen her bölgenin ışıma miktarını veren bir sonuç dosyası vermektedir. İncelenen modelin ısıl analizinin yapılmasında elde edilen sonuç dosyası kullanılmaktadır. Bu çalışmada termal analiz için Ansys Fluent programı kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Tonatiuh sonuç ekranı

3.1.3. Isı transfer akışkanı

Isı Transfer akışkanı absorber borusunun içinde bir pompa yardımıyla dolaşmaktadır. Absorber borusu, yoğunlaştırılan güneş ışınları sayesinde yüzeyi ısınması sonucu iletim yoluyla ısısını absorber borusunun içinde dolaşan akışkana vererek akışkan sıcaklığı 400℃ mertebelerine ulaşabilmektedir. Isı transfer akışkanı olarak su, hava, ısı transfer yağı veya tuz eriyiği kullanılabilmektedir. Ayrıca sistemin verimini arttırmak için ısı transfer akışkanının ısı taşınım kapasitesini arttırmak için nano boyutlarda grafit partikülleri ilave edilebilir. Isı transfer akışkanı, ısıyı alıcıda toplayan ısı transfer ortamıdır. Daha sonra ısı, daha hızlı başlatma için ısı transfer akışkanının genleşebileceği veya önceden ısıtılabileceği bir tankta depolanır.

Isıl güneş enerji sistemlerinde, elektrik üretmek için Rankine döngüsünü kullanabilir. Burada güneş enerjisi kullanılarak buhar oluşturulur ve bir türbinden geçirilerek elektrik üretilir. Endüstriyel ihtiyaçlar için buhar üretmede en yaygın teknik bir ısı transfer sıvısı kullanmaktır. Absorberde elde edilen sıcak akışkan daha sonra buhar üretmek için su ile bir ısı eşanjöründen geçirilir. Burada kullanılan ısı transfer sıvısının yüksek sıcaklıklarda sıvı kalması, ısı transferini ve pompalama kolaylığını

sağlamaktadır. Yağlar yaklaşık olarak 300°C'ye kadar sıvı çalışma aralığına sahiptir. Tuz eriyikleri 600 °C'ye kadar ve sıvı metaller çok daha yüksek sıcaklıklara ulaşabilir.

Bu tez çalışmasında proje kapsamında tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilen sistemde ısı transfer akışkanı olarak ısı transfer yağı 32 kullanılmıştır. Bu akışkan kapalı sistemlerde 315 C°, açık sistemde 200 C° çalışma sıcaklığına kadar emniyette kullanılır. Spesifik ısısı ve termal iletkenliği yüksektir. Buharlaşması az, düşük sıcaklıktaki çalışması iyidir. Çelik ve bakır üzerinde krozif etki göstermez (Apetpetro, . Çizelge 3.1.'de gösterildiği gibi ısı transfer yağı tipik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Isı transfer yağı tipik özellikleri

Özellikler	**Birim**							
Sıcaklık	^0C	0	20	40	100	150	200	250
Yoğunluk	kg/m^3	870	857	844	805	772	740	707
Kinematik Viskozite	mm^2/s	270	149.5	29	5.1	3.25	1.4	-
özgül ısı kapasitesi	kJ/kg^0K	1.962	2.049	2.137	2.400	2.619	2.838	3.058
Termal iletkenlik	W/m^0K	0.136	0.135	0.133	0.129	0.125	0.121	0.118

3.1.4. Güneş takip sistemi

Güneş enerjisi sistemlerinde verimliliği artırmak için güneş takip sistemleri kullanılmaktadır. Burada tasarlanan sistemde, yatay eksende Doğu-Batı istikametinde güneş takip sistemi kullanılmıştır. Şekil 3.5.'te güneş takip sisteminin hareket mekanizması görülmektedir.



Şekil 3.5. Güneş takip sistemi

3.1.5. Optik verim

Optik verimin temel amacı, güneşin her konumunda ayna tarafından yansıtılan ve alıcı tarafından emilen güneş ışınlarını belirlemektir. Alıcı tarafından emilen güneş enerjisinin aynalara gelen güneş enerjisine oranı optik verimidir. Lineer Fresnel kollektörü optik verimi (η), denklemler (3.1) (3.2) ve (3.3) kullanılarak belirlenir (Sallaberry ve ark., 2014).

$$Q_{ab}=N_{Ph}*P_{Ph} \quad (3.1)$$

$$Q_{ac}=DNI * Ac \quad (3.2)$$

$$\eta_{opt} = \frac{Qab}{Qac} * \alpha * \rho * \tau \quad (3.3)$$

Burada; Q_{ab} absorber boru üzerindeki gücü (W) ve Q_{ac} ayna yüzeyine gelen toplam ışıma gücünü (W) gösterir. Ayrıca;

N_{Ph}: Alıcıya çarpan fotonların sayısıdır (-)

P_{Ph}: Işın izleme kullanılarak hesaplanan her bir fotonun gücüdür(W).

DNI: Doğrudan normal ışınımdır (W m^{-2})

Ac: Kollektörün açıklık alanıdır (m^2)

α : Alıcının yutma katsayısını,

ρ : Ayna yansıma katsayısını,

τ : Alıcı camının geçirgenliğini.

η_{opt}: Optik verimdir (-)

Alıcı yüzeyine ulaşan toplam ışımanın Qab, ayna yüzeyine ulaşan toplam ışıma Qac oranına İntercept faktörü yada kesme faktörü denilir (IC) (7) ve eşitlik 3.4 ile bulunur.

$$IC=Q_{ab} / Q_{ac} \quad (3.4)$$

3.1.6. Termal verim

Termal verim amacı, güç, akış oranları ve tesis sıcaklıkları dahil tüm termal parametreleri hesaplamaktır. Hesaplanan ana parametreler, akışkanın çıkış sıcaklığı ve akışkan akışı farklı hızlarında emilen güçtür. Karşılaştırma ve doğrulama amacıyla, bu değerler deney tesisinden deneysel olarak ölçülebilir. Bu modeli Çizelge 3.2'de gösterilen parametreleri kullanarak çözmek için ticari bir mühendislik denklem çözücü (EES) simülatörü kullanılır. Absorberin geometrik verileri, kılflı cam ve ikincil yansıtıcının mühendislik verileri bilinmek ve modele programlanması gerekmektedir (Zambolin ve ark., 2010).

Çizelge 3.2.Termal bir model için giriş ve çıkış parametreleri.

Model Girişleri	Model Çıkışları
Akışkan debisi (m3/h)	Akışkanın çıkış sıcaklığı
Akışkan giriş sıcaklığı (C)	Akışkan tarafından emilen ısı
Dış sıcaklık (C)	Güç losses
Emme borusundaki iç basınç (bar)	Güç kayıpları
Aynalardan gelen gerçek radyasyon (W)	Farklı yüzeylerin sıcaklığı
Odaklanan aynaların yüzdesi	Farklı ısı akışları

Termal verim η_{hem}aşağıdaki denklemlerle hesaplanır:

$$\dot{Q}_a = \dot{m}.c_f.\Delta T \quad (3.5)$$

Burada;

$\dot{Q}_a$: Çekilen gerçek faydalı güç

$\dot{m}$: Kütlesel debi, hacimsel debi ölçümüyle elde edilirse Akışkanın Yoğunluğuyla çarpılır.

c_f: özgül ısı

ΔT : Giren akış ile çıkan akış arasındaki sıcaklık farkı

$$\dot{Q}_a = A_G.DNI.\eta_{hem} \quad (3.6)$$

Burada;

A_G : Ayna alanı (m^2)

DNI: Direkt ışınım W/m^2

η_{hem}: Termal verim

Absorber giriş sıcaklığı (T_{in}), giriş ve çıkış sıcaklıkları farkı (ΔT) iken, ısı aktarma akışkanı sıcaklığı (T_m) kullanıldığında;

$$T_m = T_{in} + \frac{\Delta T}{2} \quad (3.7)$$

Ortam sıcaklığı (T_a), ısı aktarma akışkanının indirgenmiş sıcaklık farkı (T^*_m);

$$T_m^* = \frac{T_m - T_a}{G} \quad (3.8)$$

En küçük kareler yöntemi kullanılarak, istatistiksel bir eğri uydurularak kayıpsız anlık azalma verimi (η_{hem}) hesaplanır ve aşağıdaki verim eğrisi elde edilir. Uygun verimlilik eğrisine ölçüm sisteminin belirsizliğinin düzeltme faktörü (a_1 ve a_2) eklendiğinde;

$$\eta_{hem} = \eta_{0,hem} - a_1 \frac{T_m - T_a}{G} - a_2.G\left(\frac{T_m - T_a}{G}\right)^2 \quad (3.9)$$

Denklem 3.13'da ($\eta_{0,hem}$) çizilirse, termal verimi elde edilir.

Klasik ısı transfer modelleri absorber borusu ve ikincil reflektörden oluşan bir sistemin termal problemini çözmek için eşitlik 3.10 kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_a = \dot{m} * Cp * (Tin - T\text{out}) \quad (3.10)$$

3.1.7. Termal güç

Doğrusal fresnel kollektörün termal gücünü hesaplamak için, çalışmanın optik analizi yapılır. Bununla beraber, optimal prototipin karlılığını incelemek ve doğrulamak için alıcı bileşende bulunan çalışma akışkanına aktarılan ısı akışını hesaplanır (Eddhibi ve ark 2017).

Termal güç, eşitlik (3.11) ile tanımlanır:

ϕtermal =Wac*DNI* η (3.11)

W_{ac} : yansıtıcı yüzey alanı

Wac=W*L*n (3.12)

W = ayna genişliği (m)

L = ayna uzunluğu (m)

n = ayna sayısı

DNI = Direkt Güneş ışınımı (W/m^2)

3.2. Yöntem

3.2.1.Fresnel kollektör prototipin tasarımı

Üniversitemiz GAPYENEV merkezinde TÜBİTAK 1003 öncelikli alanlarda desteklenen "Yenilikçi Yerli Endüstriyel Ölçekte Fresnel Kollektör Geliştirmesi Ve Prototip Üretimi" başlıklı projede prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Tamamen yerel imkanlarla gerçekleştirilen bu projede, güneş enerjisi kullanılarak 200°C üzerinde sıcaklık elde edilmiştir. Elde edilen ısıl enerji birçok sektörde ihtiyaç duyulan enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilecektir. (Anadolu Ajansı, 2021)

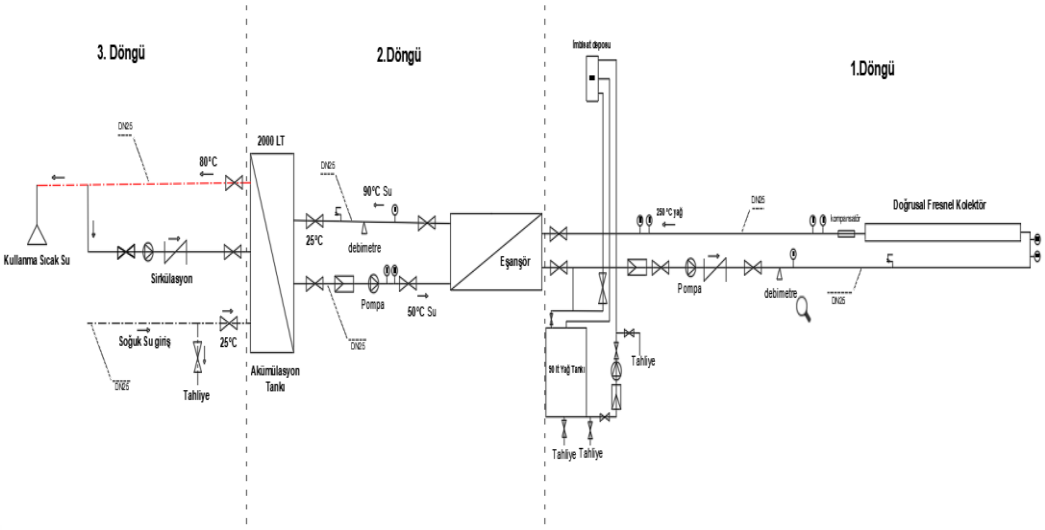
Endüstriyel prosesler için 20 kW kapasiteli lineer Fresnel kolektör sisteminin tasarımı Şanlıurfa meteorolojik koşullarına (37°10'19" enlem ve 39°0'16" boylam) göre yapılmıştır. İkinci reflektör trapez şeklinde olup, iç yüzeyleri aynalarla, reflektörün alt kısmı ise yutucu tüpteki ısı kaybını azaltmak için camla kaplanmıştır. Şekil 3.6.'de fresnel kollektör prototipi gösterilmektedir.



Şekil 3.6. 20 kWlık fresnel kollektör prototipi

3.2.2. Endüstriyel proses ve gereksinimlerin tanımı

Bu tezde tasarımı gerçekleştirilen LFK sisteminde ayna yüzeyine gelen direk güneş ışınımı absorber yüzeyine yoğunlaştırılarak absorber içinde kapalı döngü ile dolaşan ısı transfer akışkanına aktarılmaktadır. Birinci döngüde ısı transfer akışkanı olarak ısı transfer yağı kullanılmıştır. İkinci döngüde, yüksek sıcaklığına sahip akışkanın ısısı eşanjör (ısı değiştirici) ikinci akışkana aktarılmaktadır. Bu döngüde ısı transfer akışkanı olarak su kullanılmıştır. Üçüncü döngüde prosese uygun olarak ısı transferi ilerdeki çalışmada gerçekleştirilebilecektir. Bu çalışmada kurgulanan LFK sisteminin ısı transfer mekanizması şematik olarak Şekil 3.7.'de görülmektedir.



Şekil 3.7. LFK sisteminin ısı transfer mekanizması.

3.2.3. Prototip kurulum için saha hazırlığı

Doğrusal Fresnel Kollektör prototipi kurulumu için GAPYENEV merkezine ait dış sahada 18x10 metre boyutlarında bir alan belirlenmiştir. Belirlenen bu alanın koordinatları, CORS özellikli GNSS alıcısı ile tespit edilmiştir. Arazi üzerinde alınan bu koordinatların tam olarak Kuzey-Güney doğrultusundaki koordinatını elde etmek için dönüklük hesaplaması yapılmış ve koordinatlar tekrar CORS özellikli GNSS alıcısına yüklenmiştir. Şekil 3.8.'de GAPYENEV binasının Güney cephesinde kurulacak tesisin konumu ile arazide alınan yaklaşık koordinatlar (Kırmızı üçgen) ve Kuzey-Güney doğrultusuna yönlendirilmiş kesin koordinatlar (Yeşil üçgen) yer almaktadır.



Şekil 3.8. Doğrusal fresnel kollektör sisteminin kurulum yeri (kuş bakışı)

Şekil 3.9.'da sistemin kurulacağı arazide belirlenen köşe noktalarının koordinatlarının zemine aplikasyonu hazırlanan tahta kazıklar yardımıyla işaretlenerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Arazide köşe noktalarının koordinatlarının belirlenmesi

Arazide tespit edilen alanın temizlenmesi ve tesviye edilmesi için iş makinası kullanılmıştır. Şekil 3.10.'da sahanın iş makinası ile hazırlanması görülmektedir.



Şekil 3.10. Zeminin tesviye edilmesi

Tesviye edilen toprak zemin çakıl kum (mucur) serilmiştir. Şekil 3.11.'da Çakıl kumun zemine serilmesi için yapılan saha çalışmaları görülmektedir.



Şekil 3.11. Toprak zemine çakıl kumun serilmesi

Daha önce köşe koordinatları belirlenen zeminde Doğu-Batı doğrultusunda 10 m, Kuzey-Güney doğrultusunda 18 m ve kalıp yüksekliği 15 cm olacak şekilde kalıp oluşturulmuştur. (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Zeminde kalıp hazırlama

Kalıplama yapıldıktan sonra hasır demir kullanılarak beton zeminin mukavemeti artırılmıştır. 180 m^2 kalıp alanının tamamını kaplayacak şekilde hasır demir kullanılmıştır. Şekil 3.13.'te saha çalışmaları gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Kalıp içine hasır demirin bağlanması

Betonlama işleminde kalıba zarar vermeden ve donatıyı oynatmayacak şekilde 15 cm kalınlığında toplam 27 m^3 hacminde C25 hazır beton kullanılmıştır. Bu işlemle ilgili görseller Şekil 3.14.'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Sahadan betonlama işlemi görüntüleri

Betonun yüzeyinin düz hale getirmesi için mastarlama (Şekil 3.16) yapılarak tamamlanmıştır.



Şekil 3.16. Helikopter cihazıyla mastarlama yapılması

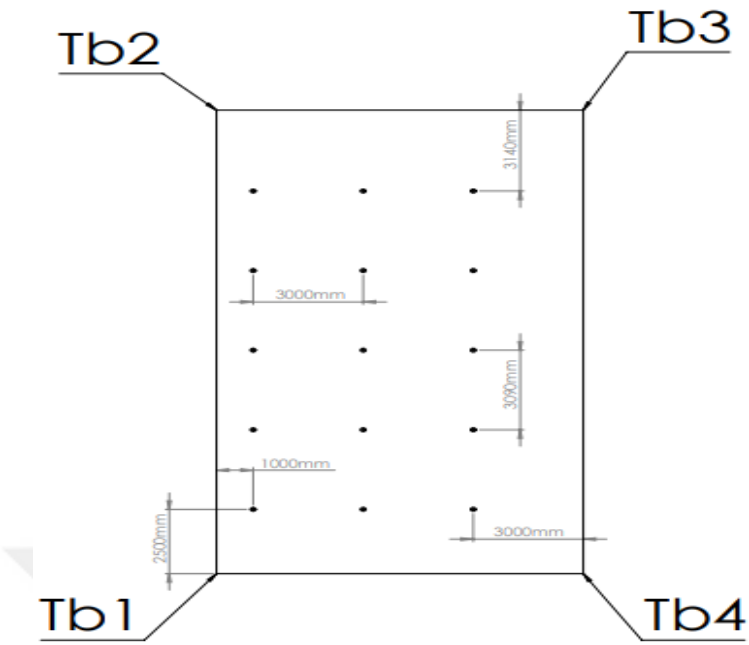
Sertleşme işlemi beton dökümü tamamlandıktan yaklaşık 12 saat sonra başlamışnmış, bu süre içerisinde günde iki kez sabah erkenden ve akşam gün batımında sulama yapılmıştır. Şekil 3.17.'de fresnel kollektörün kurulacağı beton zemin görülmektedir.



Şekil 3.17. Beton zeminin son hali

3.2.4. Doğrusal fresnel kollektörün ayak koordinatlarının belirlenmesi

Doğrusal Fresnel Kollektörü için oluşturulan prototipin alt yapı konstrüksiyonu 15 ayaktan oluşmaktadır. Konstrüksiyon ayaklarının noktalarının konumu Şekil 3.18.'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Prototipin ayak konstrüksiyonlarının zemin üzerindeki konumu



Şekil 3.19. Ayak noktalarının beton zeminde yerlerinin belirlenmesi

3.2.5.Fresnel kollektör prototipin hazırlanması

Bu çalışmada tasarımı yapılan lineer fresnel kollektörün prototipinde alt yapı konstrüksiyonu olarak sigma profil kullanılmıştır. Şekil 3.20.'te tasarlanan sistemin alt yapı konstrüksiyonun beton zemin üzerine yerleşimi görülmektedir.



Şekil 3.20. Lineer fresnel kollektör sisteminin beton zemin üzerine yerleşimi

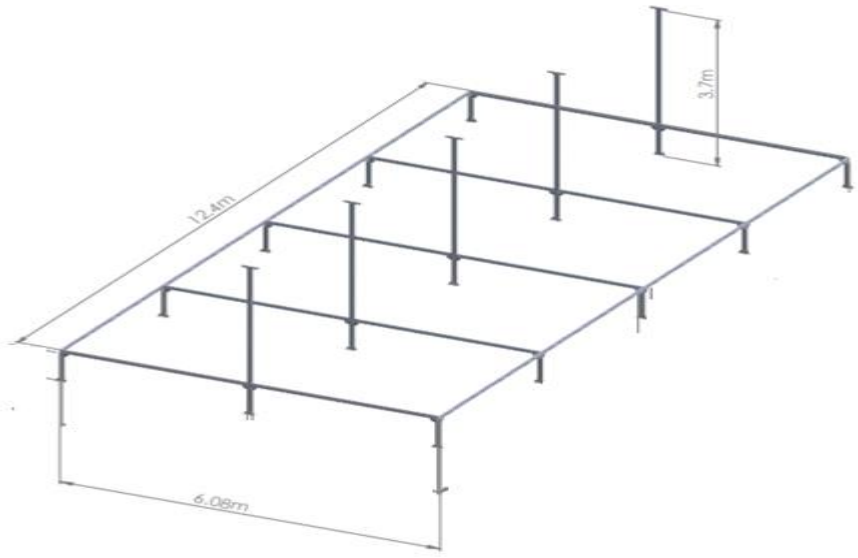


Şekil 3.21. Prototipte köşe bağlantıların kullanılması



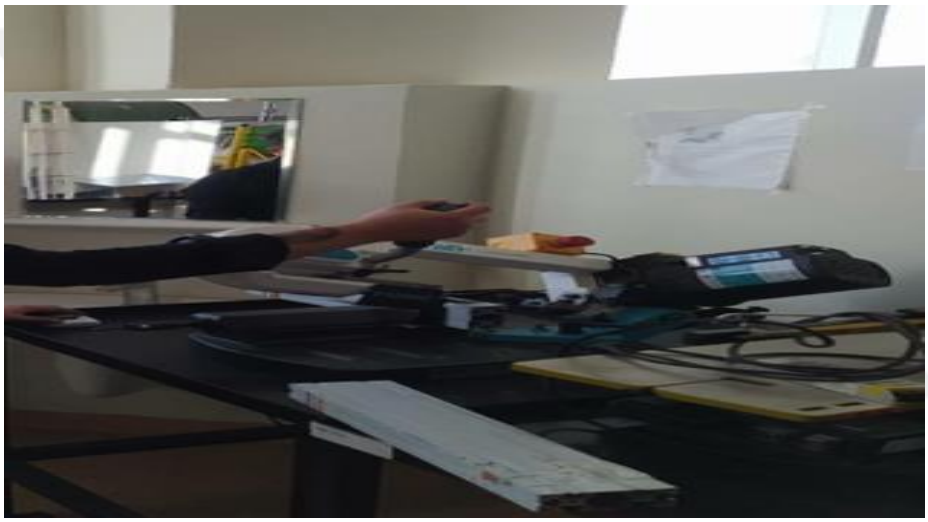
Şekil 3.22. Düz köşe bağlantı yerleri

Prototipin uzun kenarının uzunluğu 12.4 m'dir. Prototipte kullanılan sigma profillerin boyu 6 m olduğundan 12.4 m'lik parça 2 boy profil ve 40'cmlik profil bağlanarak oluşturulmuştur. Sigma profillerini birleştirmede Şekil 3.23.'de göstermektedir.



Şekil 3.23. Light sigma profil yerleşimi

Fresnel kollektör konstrüksiyonu için sigma profillerin istenilen ölçüye getirilmesinde ve sistem kurulumunda GAPYENEV merkezinde bulunan makina teçhizat ve el aletleri kullanılmıştır (Şekil 3.24). Doğrusal fresnel kollektör konstrüksiyon kurulumu GAPYENEV ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.25.'de sahadan kurulum fotoğrafları görülmektedir. Absorber direğininin rüzgar kuvvetine daha dirençli olması için direkler üst noktalarından alt konstrüksiyona halat ile bağlanılmıştır. Şekil 3.26.'da Fresnel kollektörün alt konstrüksiyon kurulumu görülmektedir.



Şekil 3.24. Prototip kurulumu için sigma profil kesimi



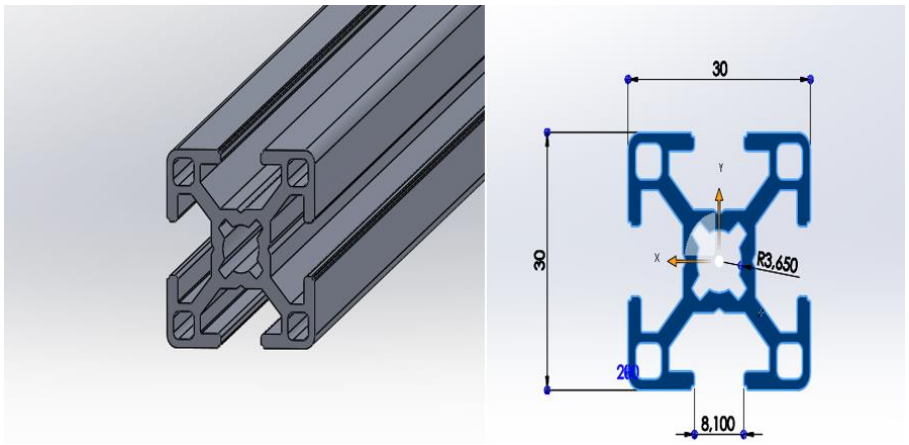
Şekil 3.25. Doğrusal fresnel kollektör konstrüksiyon kurulumu



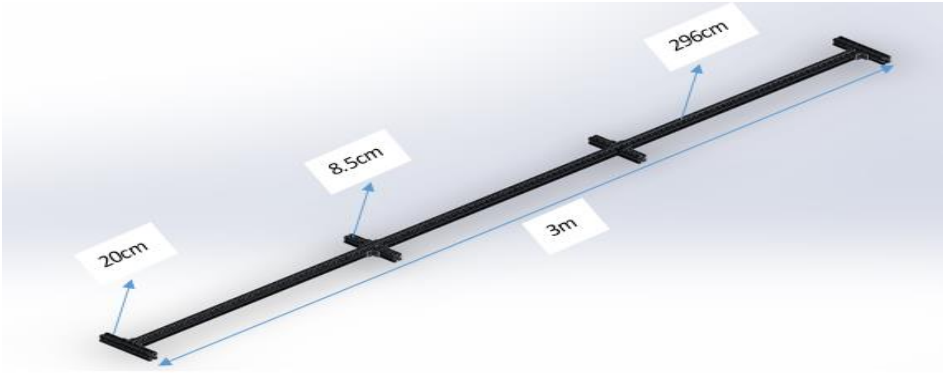
Şekil 3.26. Fresnel kollektörün alt konstrüksiyon kurulumu

3.2.5.1. Ayna konstrüksiyonun hazırlanması

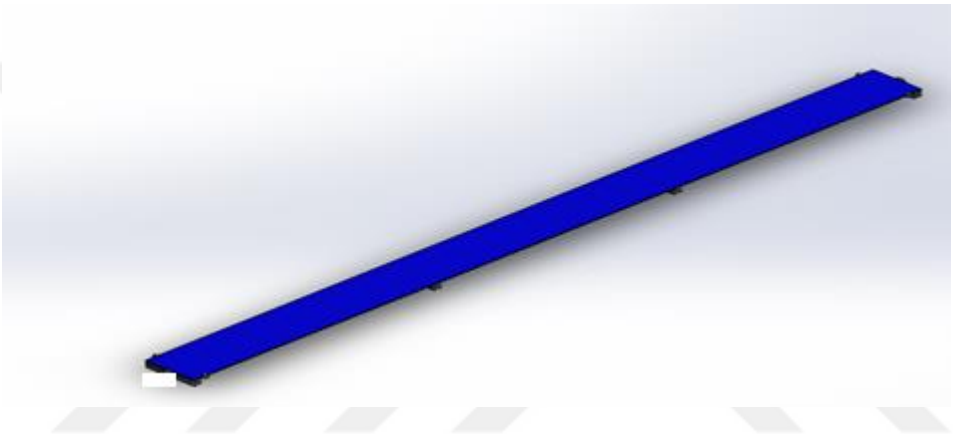
LFK sisteminin güneş ışınımını absorbere yansıtan elemanı olan aynalardır. Tasarımı yapılarak mekanik analiz çalışması ile boyutlandırılması yapılmıştır. LFK prototipinde 12 m boyunda 20 adet ayna serisi kullanılmıştır. Aynalar Şekil 3.27.'de görülen 30x30 sigma profil kullanılarak üretilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen ayna konstrüksiyonu şematik olarak Şekil 3.28.'de gösterilmiştir. Her bir ayna serisi 3 m boyunda 4 adet ayna konstrüksiyonundan oluşmaktadır. Konstrüksiyonun detayları Şekil 3.29.'te verilmiştir.



Şekil 3.27. 30x30 sigma profil görünüşleri

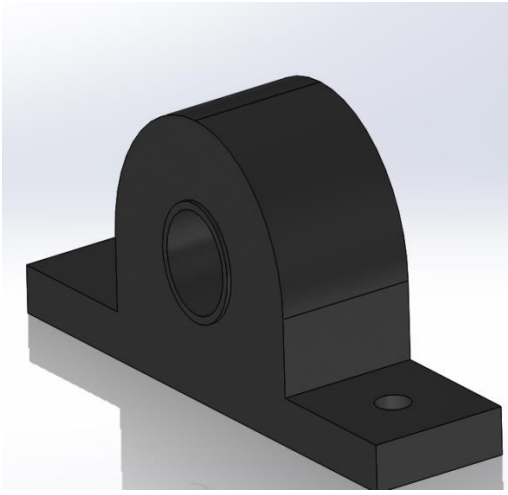


Şekil 3.28. Ayna konstrüksiyonu genel görüntüsü

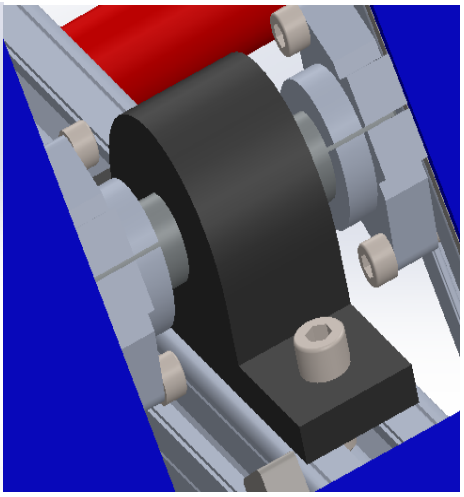


Şekil 3.29. Ayna konstrüksiyonuna aynanın yapıştırılması

İki ayna konstrüksiyonunu seri olarak bağlamak için Şekil 3.30.'da görülen mil başı ve güneş takip sisteminden gelen hareketin aynalara iletiminde Şekil 3.31.'de görülen yataklı rulmanlar kullanılmıştır.

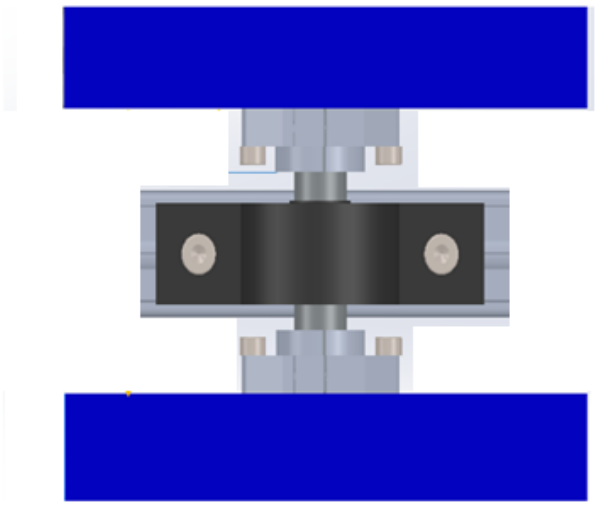


Şekil 3.30. Yataklı rulman

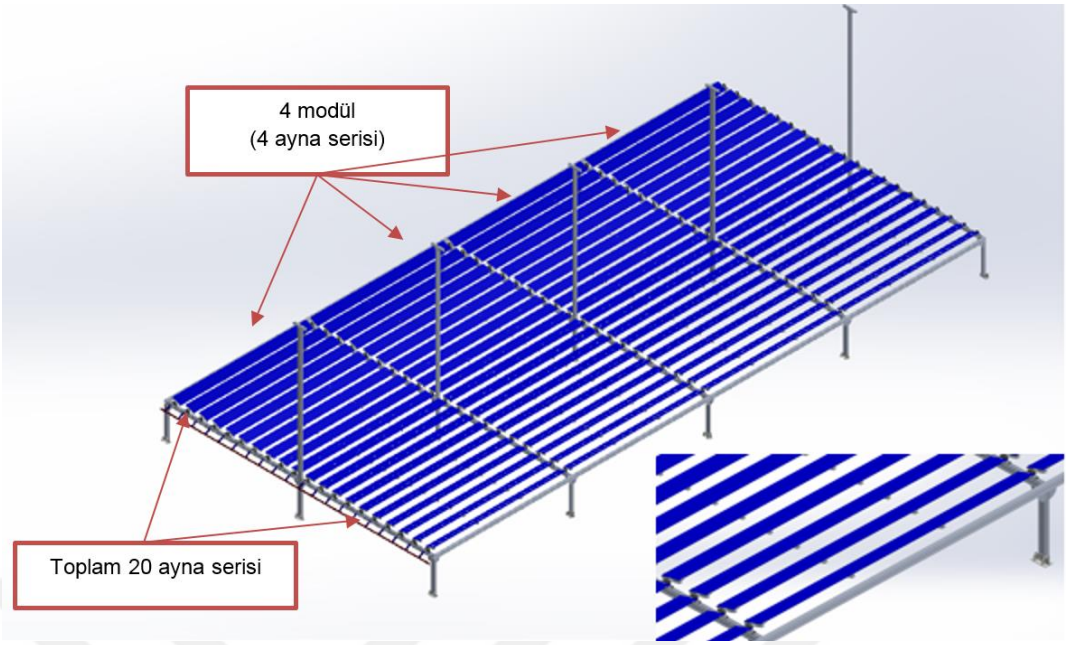


Şekil 3.31. Bağlama şekli

Aynaları seri olarak bağlamak için 20 mm çapında 9 cm uzunluğunda mil kullanılmıştır. Şekil 3.32.'de iki aynanın seri olarak bağlanması detaylı olarak gösterilmiştir. Ayna serilerinin temel konstrüksiyona yerleştirilmesi Şekil 3.33.'te verilmiştir. 5 kW gücünde 4 adet modül ve her modülde 20 adet ayna bulunmaktadır. Şekil 3.34.'te GAPYENEV merkezinde gerçekleştirilen ayna konstrüksiyonları imalatından görüntüler sunulmuştur.



Şekil 3.32. Aynaların seri bağlanması



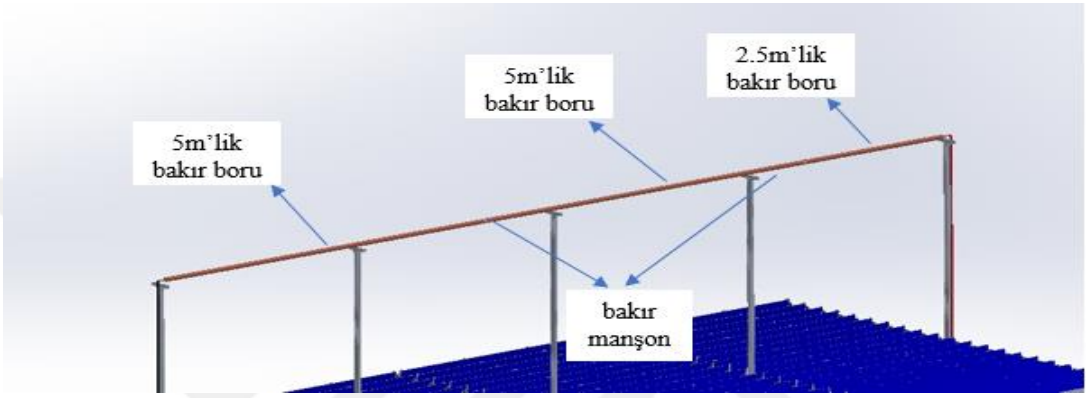
Şekil 3.33. Temel konstrüksüyonuna aynaların bağlanması



Şekil 3.34. Ayna konstrüksüyonu imalat görüntüleri.

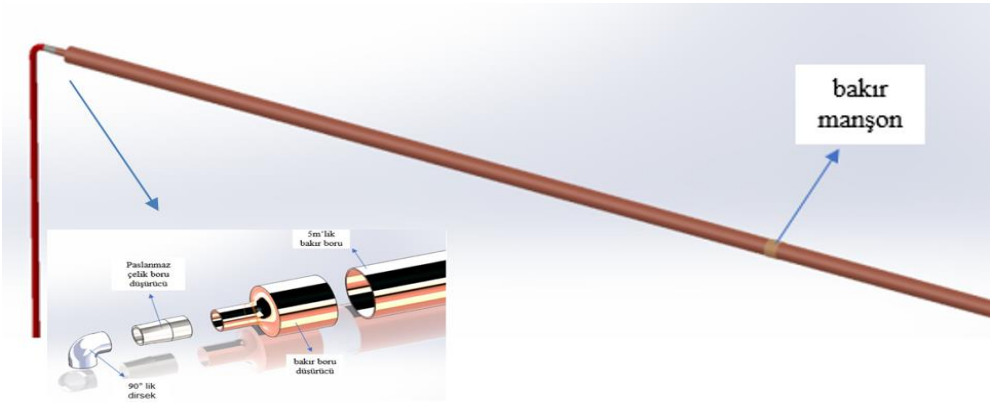
3.2.5.2. Absorberin hazırlanması

Güneş enerjisinin yoğunlaştırıldığı bölge olan absorber boru 66 mm dış çapında ve 12.5 m boyunca 2 mm et kalınlığında bakır malzemeden üretilmiştir. Absorber tesisatı şematik olarak Şekil 3.35.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.35. Absorber borusu tesisatı

Şekil 3.36.'da detaylı olarak tesisatı görülen absorber boru, 3 adet 5 m uzunluğunda 66 mm çapında 2 mm et kalınlığında bakır boru, 2 adet 66 mm'den 35 mm'e bakır düşürücü (redüksiyon), 2 adet 35 mm'den 30 mm'e paslanmaz çelik boru düşürücü (redüksiyon) ve 2 adet 90 derece dirsek paslanmaz çelikten oluşturulmuştur.



Şekil3.36. Bakır boru bağlantıları

3.2.5.2.1. Absorber kaplaması

Seçici Alıcı katmanın hazırlanması üç farklı katman kullanılmıştır. Bakır borular kaplanmadan önce yüzeyleri seyreltilmiş nitrik asit ile temizlenmiştir. Temizleme işleminden sonra bakır boruların yüzeyi olası asit kalıntıları için saf su ile durulanmıştır. Daha sonra 1. kaplama işlemine geçilmiştir. 1. Kaplama işleminde temizlenmiş olan bakır boru üzerine hava tabancalı sprey püskürtme yöntemiyle çinko oksit (ZnO) tabakası kaplanmıştır. Tüm yüzeye püskürtme işeminden sonra sıcak hava tabancası ile (300 ^{o}C) organiklerin filmden uzaklaşması için kurutma işlemi uyuglanmıştır. Şekil 3.37.'de ve Şekil 3.38.'de kaplama işlemi ve kaplama işleminden sonra sıcak hava tabancası ile yapılan kurutma işleminin resmi verilmiştir.



Şekil 3.37**.** Bakır boruların kaplama işlemi



Şekil 3.38**.** Kaplama işleminden sonra kurutma işlemi

Tüm yüzeyin kurutma işleminden sonra daha önceden sıcaklığı 450 ºC' ye ayarlanmış olan yatay fırında ısıl işlem uygulanmıştır. Şekil 3.39.'de kaplama ve kurutma işleminden sonra filmlere uygulanan ısıl işlemin resmi verilmiştir.



Şekil 3.39. Kaplama ve kurutma işleminden sonra filmlere uygulanan ısıl işlem

Bakır borunun tüm yüzeyinin ısıl işleme maruz kalması için yatay fırınımız hidrolik bir palet üzerinde haraket ettirilmiştir. Bu işlem bittikten sonra 2. Kaplama adımına geçilmiştir. 2. Kaplama adımında CuCoMnOx Alıcı katmanı 1. adımdaki gibi aynı kaplama işlemiyle gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.40.'da CuCoMnOx Alıcı katmanın kaplanmasından sonra yatay fırında ısıl işlem uyuglama resmi verilmiştir.



Şekil 3.40. CuCoMnOx Alıcı katmanın kaplanmasından sonra yatay fırında ısıl işlem

Alıcı katman kaplandıktan sonra SiO_x antireflektif kaplama adımına geçilmiştir. Bu adımda da 1. ve 2. adımlardaki kaplama ve ısıl işlemleri uygulanmıştır. Şekil 3.41.'te seçici alıcı katman kaplı bakır boruların 3. adımdan sonraki son halinin resimleri verilmiştir.



Şekil 3.41. Seçici Alıcı katman kaplı bakır borular

Şekil 3.42.'de deneme aşamasında hazırlanan bakır boru örneklerin kaplama öncesi ve sonrası resimleri verilmiştir.



Şekil 3.42. Bakır boru seçici alıcı katmanlar kaplanmadan önce sonraki görüntüleri

Kaplaması yapılan bakır borular (5m'lik 2 adet ve 2.4m'lik borular) oksijen kaynağıyla sahada birleştirilmiştir. Sahadan çalışmaları gösteren fotograflar Şekil 3.43.'te verilmiştir. Birleştirme sonrasında absorber boruya hava kompresörüyle 5 bar basınçta hava basılarak sızdırmazlık testi yapılmıştır. Şekil 3.44.'te bu işlemin resimleri görülmektedir. Bu işlemlerden sonra hazır hale gelen absorber boru, Şekil 3.45'te gösterildiği gibi lineer fresnel kollektörüne montajı yapılmıştır.



Şekil 3.43. Absorber boru imalatı çalışmalarını gösteren resimler



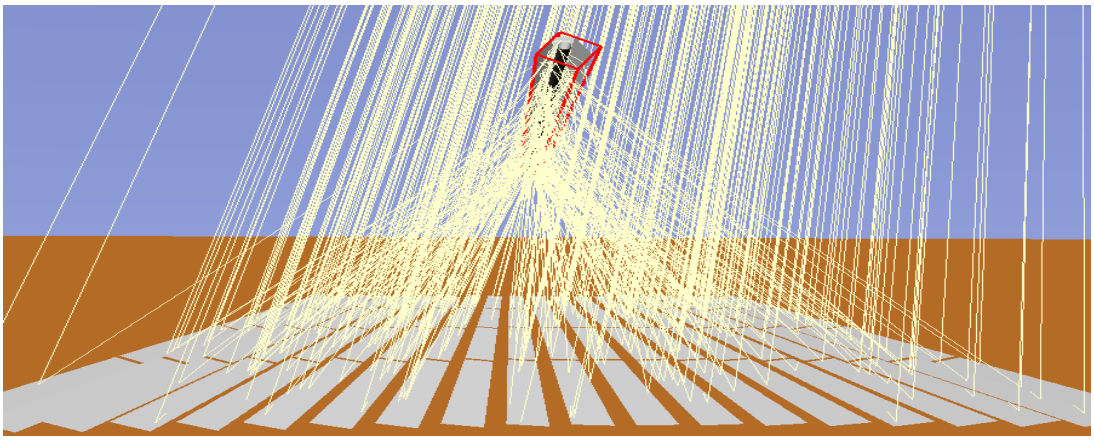
Şekil 3.44. Absorber boruya sızdırmazlık testi yapılması



Şekil 3.45.Seçici alıcı kaplı bakır borulan fresnel kollektörüne montajı.

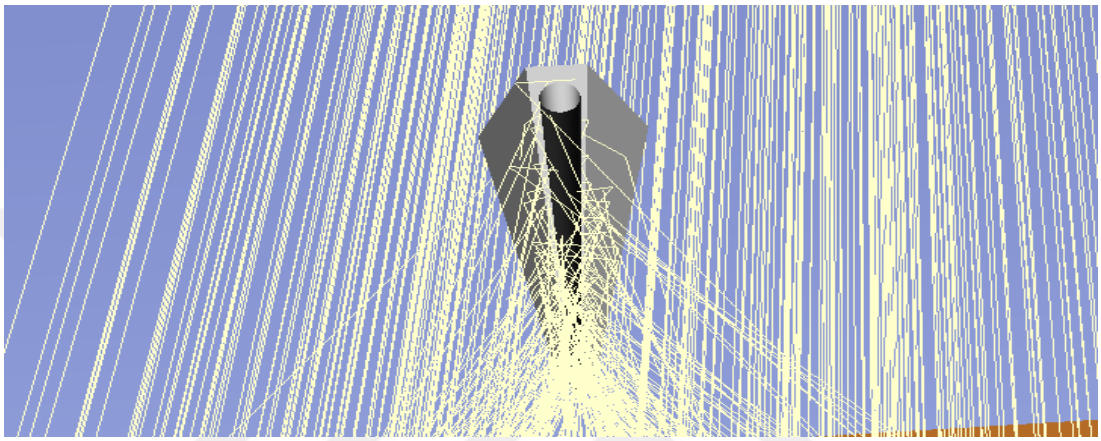
3.2.5.3. İkinci reflektörün modellenmesi

Bu çalışmada kurgulanan lineer fresnel kollektörü odaklama bölümünde ikinci reflektör tasarımı için Tonatıuh yazılımı ve Solıdworks programı kullanılmıştır. Tonatıuh, aynalardan yansıyan en büyük ışınları sınırlamak için ve emici tüpün (absorberin) ölçülerini dikkate alınarak kullanılmıştır. Yatay eksen üzerine yerleştirilmiş yansıtıcı (Ayna) yüzeyler doğu-batı yönünde yansıyan ışınımları Şekil 3.46.'da verilmiştir.



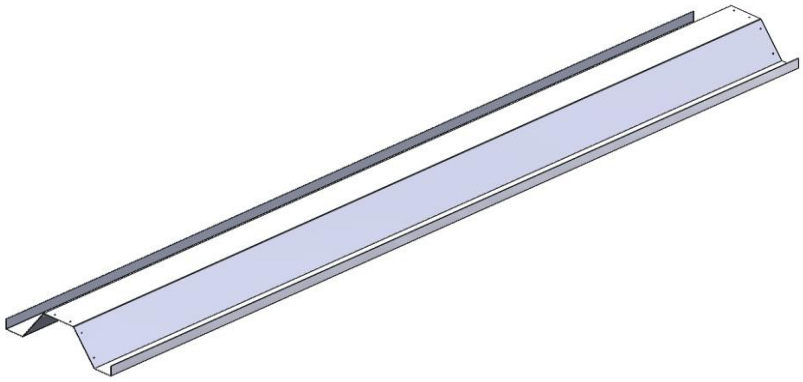
Şekil 3.46. İkinci reflektör kullanımının Tonatiuh programında simülasyonu

Sabah gün doğuşuyla birlikte yansıtıcı yüzeyler (tasarımda 20 seri bulunmaktadır) güneş takip sistemiyle doğu yönüne yönlendirilerek gelen güneş ışınımını alıcı yüzeye (absorbere) gönderilir. İkinci reflektör kullanıldığında Şekil 3.47.'de görüldüğü gibi absorberden kaçan ışınımları ikinci reflektörü kullanılarak optimum yanısımaya elde edilmiştir.

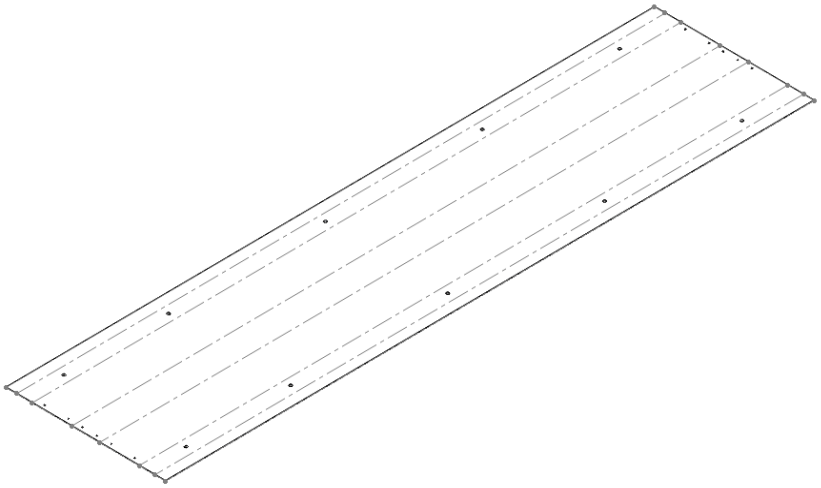


Şekil 3.47. İkinci reflektörün Tonatiuh programında gösterilmesi

İkinci reflektörün tasarımı için Solidworks programı ikinci reflektörün tam ölçüleri çıkarabilmek için kullanılmıştır. İkinci reflektörün izometrik ve açılım halindeki durumu şekil 3.48 ve 3.49'te gösterilmiştir.

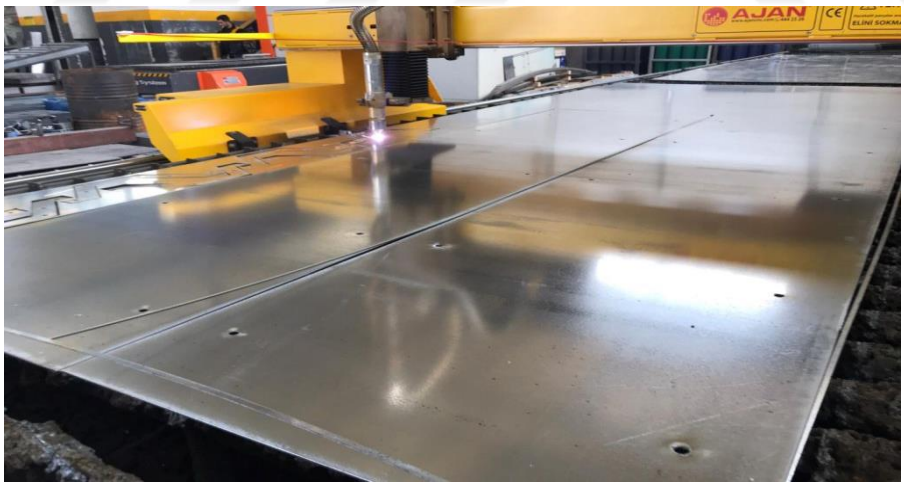


Şekil 3.48. İkinci reflektör izometrik görünüşü



Şekil 3.49. İkinci reflektör açılım hali

İkinci reflektör imalatında St 37 kalite sac kullanılmıştır. Başlangıçta Şekil 3.50.'da gösterildiği gibi lazer kesim makinası kullanılarak kesim işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.50. İkinci reflektör lazer kesim görünümü

Lazer kesim işlemi bittikten sonra büküm işlemi için saclar abkant makinasına aktarıldı. Şekil 3.51.'de gösterildiği gibi verilen açılara ve uzunluklara göre büküm işlemi yapıldı. Böylelikle ikinci reflektör Şekil 3.52.'de gösterilen son hali elde edilmiştir.



Şekil 3.51. İkinci reflektör abkant makinesine bağlanması

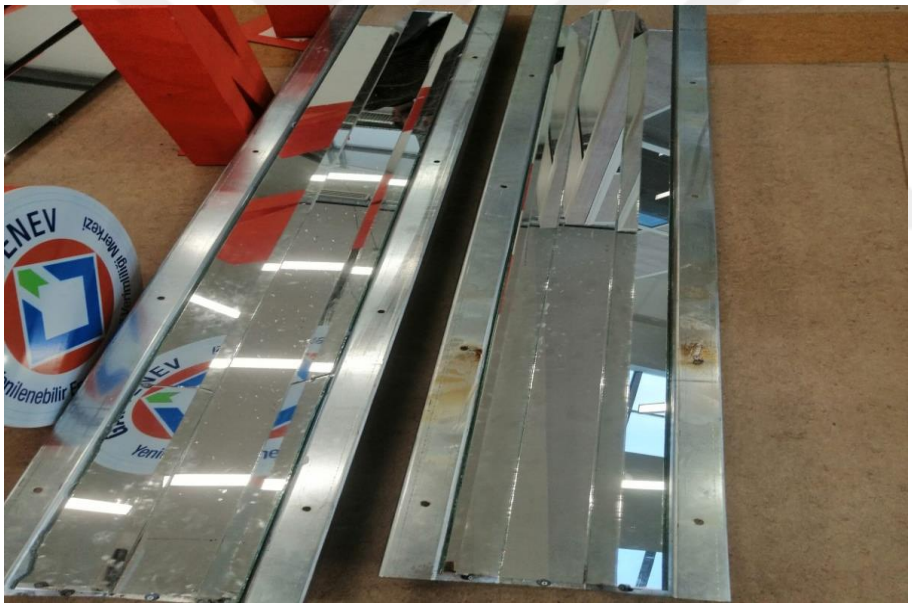


Şekil 3.52. İkinci reflektörün üretiminin son hali

Absorber yüklemine göre ikinci reflektör montajı yapılmıştır. Montaj yapılırken çok hassas bir şekilde aşağıdaki Şekil 3.53.'te, Şekil 3.54.'te, Şekil 3.55.'te gösterildiği gibi montaj işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.53. İkinci reflektörün ayna yapıştırmak için kullanılan silikon



Şekil 3.54. İkinci reflektörü aynalar takılmış hali



Şekil 3.55. İkinci reflektör sahadaki montajı

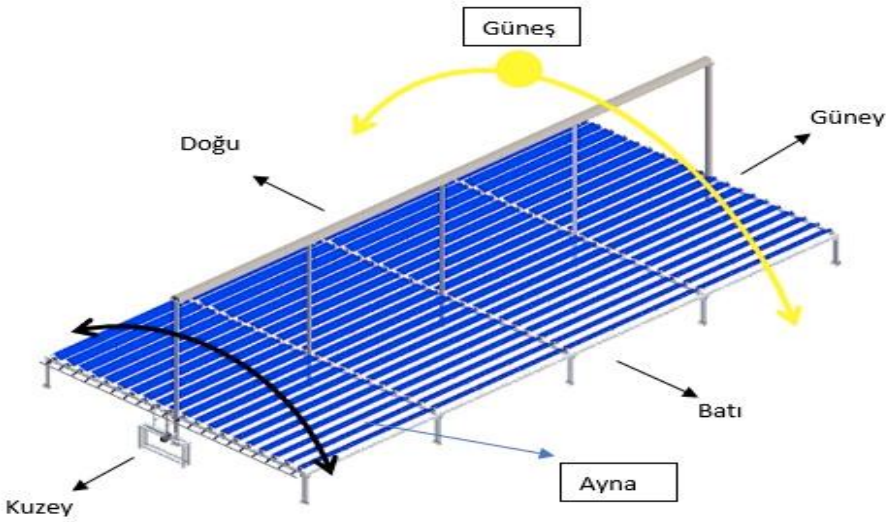
İkinci reflektör dış yüzeyleri 4cm kalınlığında taşyünü ısı yalıtım levhası yerleştirilerek dış taraftan 2mm galvanizli saç ile kaplanarak ısı yalıtımı yapılmış ve dış etkilerden korunmuştur. İkinci refkeltörün alt tarafı (ayna serilerene bakan taraf) 4mm cam ile kapatılarak ısı kaybı engellenmiştir. Şekil 3.56.'da ikinci reflektörün imalat sonrasında elde edilen son hali görülmektedir.



Şekil 3.56. İkinci reflektör

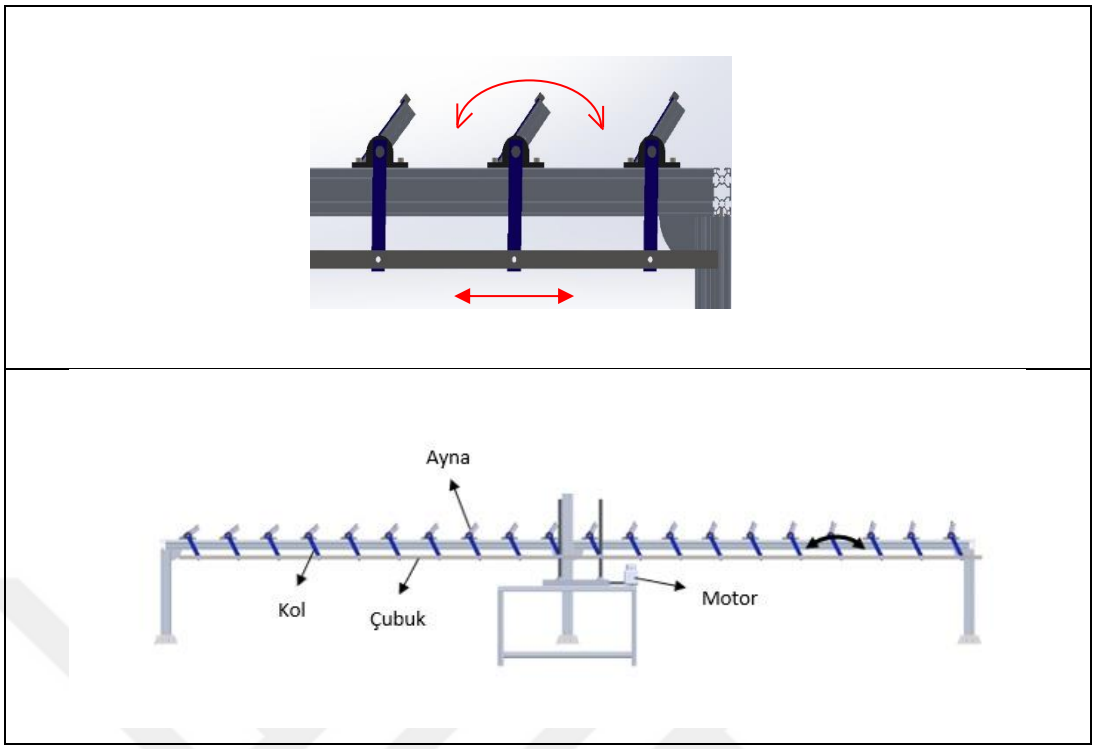
3.2.5.4. Güneş takip sisteminin modellenmesi

Bu çalışmada kurgulanan Lineer fresnel kollektörü güneş takip sisteminde, kuzey-güney doğrultusunda yatay eksen üzerine yerleştirilmiş yansıtıcı (Ayna) yüzeyler doğu-batı yönünde güneşi takip etmektedir. Güneş takip sistemi şematik olarak Şekil 3.57.'de verilmiştir. Güneş takip sistemiyle, Sabah gün doğuşuyla birlikte yansıtıcı yüzeyler (tasarımda 20 seri bulunmaktadır) doğu yönüne yönlendirilerek gelen güneş ışınımını alıcı yüzeye (absorbere) gönderilir.



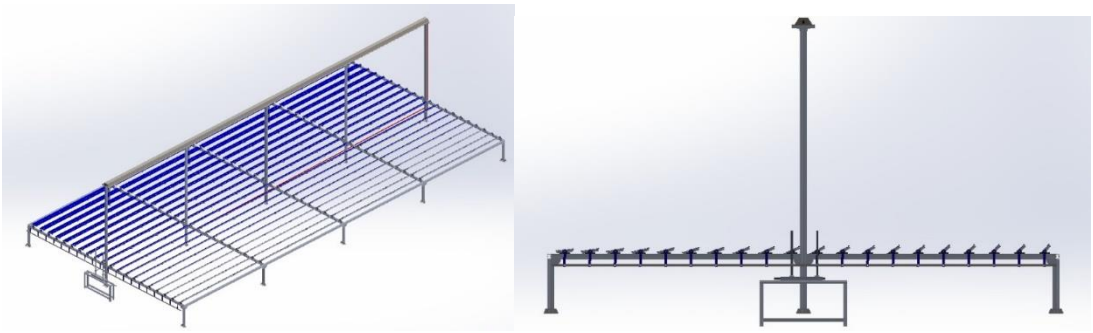
Şekil 3.57. Güneş takip sisteminin yerleşimi ve hareket yönü

Şekil 3.58'de güneş takip sistemi hareket mekanizması verilmiştir. Bu mekanizmada her aynaya bağlı bir kol (krank) bulunmaktadır ve tüm kollar bir çubuk ile sabitlenmiştir. Çubuk doğrusal hareket yaptığında çubuğa bağlı tüm kolların (krankların) aynı anda açısal hareket yapmasını sağlamaktadır. Böylelikle tüm aynaların aynı açısal harekette dönmektedir.



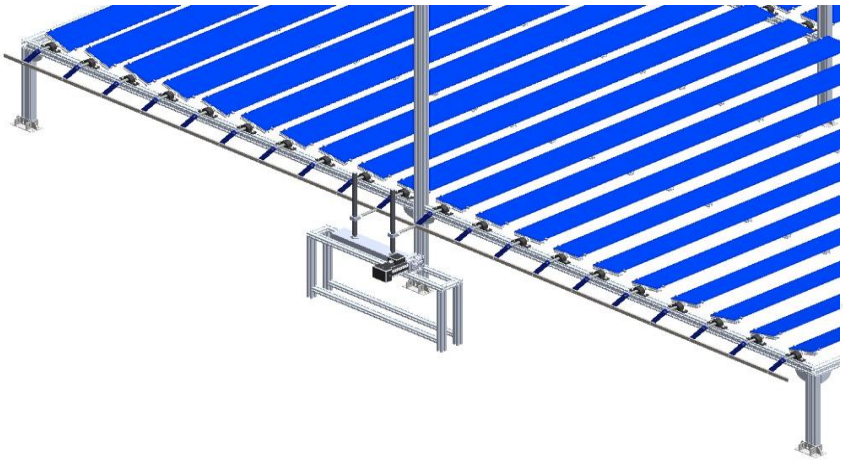
Şekil 3.58. Güneş takip sistemi hareket mekanizması

Güneş takip sisteminin tasarımında Solid Works Programı kullanılmıştır. Şekil 3.59.'da bu çalışmada tasarımı yapılan lineer fresnel kollektörün görünümü verilmiştir. Bu tasarımda güneş takip sistemi kollektörün ön yüzüne (kuzey tarafına) yerleştirilmiştir.



Şekil 3.59. Lineer fresnel kollektörün görünümü

Güneş takip sistemi Şekil 3.60'te gösterildiği gibi ayna serilerine kol bağlantıları ve kolları birbirine bağlayan çubuk ile motordan tahrik edilerek aynaların aynı açısal hızla güneş takibi kolayca yapılmaktadır.



Şekil 3.60. Güneş takip sisteminin lineer fresnel kollektöre bağlanması

Güneş takip sistemi alt yapı tasarımı yapılarak üretimi yapılmıştır. Sahadan kurulum ve imalat fotoğrafları Şekil 3.61.'da, Şekil 3.62.'da verilmiştir.



Şekil 3.61. Sistem üzerinde kol bağlantısı



Şekil 3.62. Sonsuz vida dişli grubu montajı

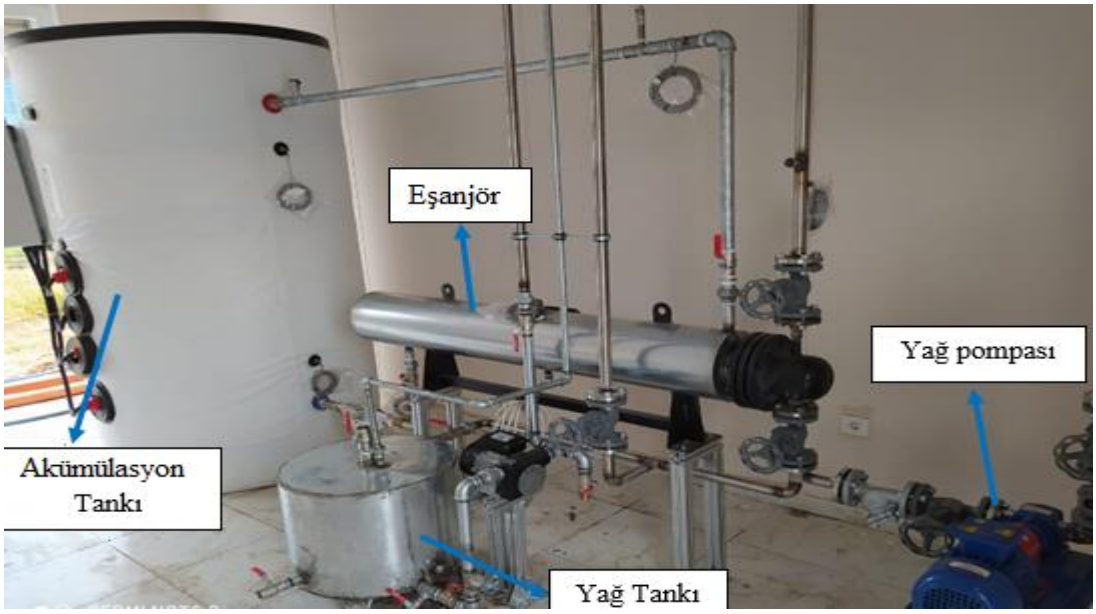
Güneş takip sistemi alt konstrüksiyon tasarım ve imalat süreçleri tamamlandıktan sonra saha kurulumu gerçekleştirilmiştir. Sistemin genel görünüşü Şekil 3.63.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.63. Fresnel güneş kollektör sistemi

3.2.5.5. Projede kullanılan makine ve ekipmanlar

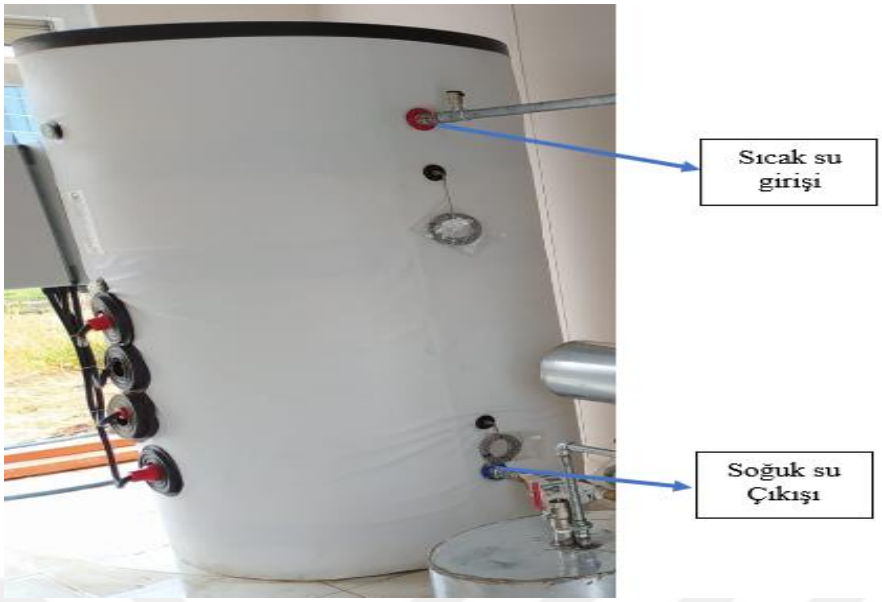
LFK sistemindebaşta yağ tankından yağ akışkanı sisteme gönderebilmek için yağ pompası kullanılmıştır. Yağın ısısını suya aktarılacak şekilde eşanjöre ihtiyac olacaktır. Eşanjör 250^{o}C'ye dayanıklı ve buna bağlı 2000 lt'ye sahip bir akümülasyon tank bulunur. Akışkana güneş enerjisinden gelen enerjinin aktarılması ile sıcaklığı yükselmekte ve yükselen sıcaklığa bağlı olarak genleşme görülecektir. Şekil 3.64.'de göstermektedir



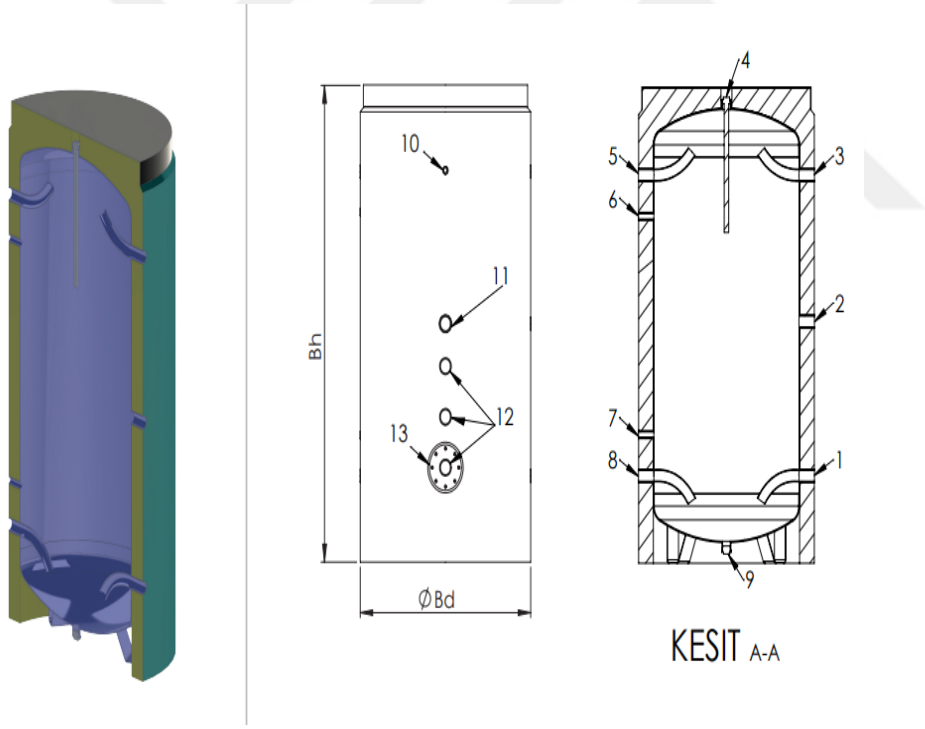
Şekil 3.64. Doğrusal fresnel kollektör prototipi makine dairesi görüntüleri

3.2.5.5.1. Akümülasyon tank

Sistemde suyun 75℃'de depolanmasını sağlamak için 2 m^{3}'lük (2000 litre) akümülasyon tankı kullanılmıştır. Şekil 3.65.'de ve Şekil 3.66.'da akümülasyon tankının teknik resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.65.Akümülasyon tankı soğuk su çıkışı ve sıcak su girişi



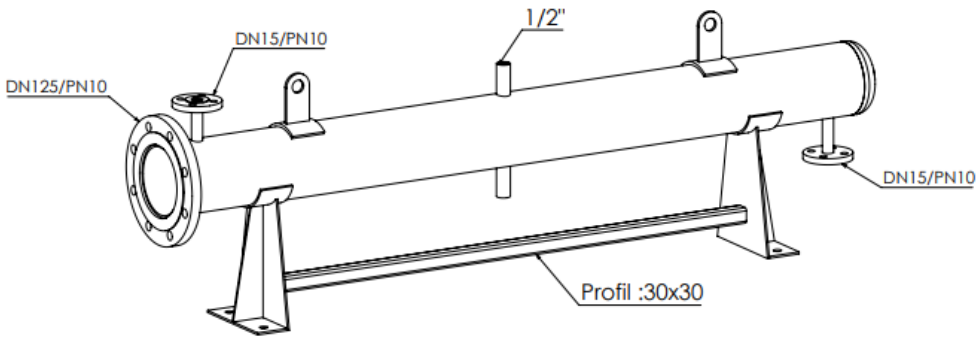
Şekil 3.66. Akümülayon tankı teknik resim

Çizelge 3.3.Akümülasyon tankın özellikleri.

PART NO	PARÇA İSMİ	ÖZELLİKLER
1	Soğuk Su Giriş	11/4" Manşon
2	Sirkülasyon	11/4" Manşon
3	Sıcak Su Çıkış	11/4" Manşon
4	Magnezyum Anot	11/4" Manşon
5	Sıcak Su Çıkış	11/4" Manşon
6	Üst Sensör	1/2" Manşon
7	Alt Sensör	1/2" Manşon
8	Soğuk Su Giriş	11/4" Manşon
9	Boşaltma	11/4" Manşon
10	Sensör	1/2" Manşon
11	Rezistans Giriş	2" Manşon
12	Sensör	2" Manşon
13	Temizleme Kapağı	DN125 Flanş
14	Çizimde kullanılan semboller	Ölçüler(mm)

3.2.5.5.2. Eşanjor

LFK sisteminde kullanılan ısı transfer akışkanı ile ısı depolama ünitesinde (akümülasyon tankında) kullanılan su arasında ısı transferinin sağlanması için tek sıralı gövde-borulu tip eşanjör tercih edilmiştir. Şekil 3.67.'de ısı eşanjörünün detay görüntüleri sunulmuştur. Çalışma koşullarına uygun olarak imal ettirilmiştir. Çizelge 3.4'de eşanjörün çapların özelliklerini göstermekedir.



Şekil 3.67. Eşanjör izometrik görünüşü

Çizelge 3.4. Sistemde kullanılan eşanjör özellikleri

PARÇA	SERVİS	ÖLÇÜ-TİP	ADET	STANDART
N1	Giriş	DN15/PN10	1	EN 1092-1
N2	Çıkış	DN15/PN10	1	EN 1092-1
N3	Giriş	DN15/PN10	1	EN 1092-1
N4	Çıkış	DN15/PN10	1	EN 1092-1
N5	Sensör	1/2" Manşon	1	DIN 2980
N6	Tahliye	1/2" Manşon	1	DIN 2980

3.2.5.5.3.Yağ pompası

LFK sisteminde kullanılan ısı transfer akışkanının (yağ) basınçlandırarak hareketini sağlamak için 300 °C dayanıklı ve debisi düşük bir dişli pompa seçilmiştir. Çizelge 3.5'de bu sistemde kullanılan dişli pompa özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Yağ pompasının özellikleri

TEKNİK DEĞERLER			
Pompa Modeli	EDP	1001 HELİS DİŞLİ POMPA	
İşletme Basıncı	20 MSS(2 BAR)		
Kapasite	1 m^3/saat		
Giriş ve Çıkış Ağzı	1" 1" dişli		
Elektrik Motoru:	AC, 3faz, 380V, 50Hz, IP-54		
Motor Gücü	0,75 Kw	Motor Devri	1000 d/dk
POMPADA KULLANILAN MALZEMELER			
Gövde	GG40 DÖKÜM		
Dişliler	8620 ÇELİK		
Mil	AISI 420 PASLANMAZ		
Sızdırmazlık	ÖZEL TİP MEKANİK SALMASTRA		

3.2.5.5.4.Yağ tankı

LFK sisteminde kullanılan yağın sisteme doldurulması ve tekrar boşaltılmasında kullanılmak üzere hacmi 90lt olan bir yağ tankı kullanılmıştır. Şekil 3.68.'de yağ tankı gösterilmiştir.



Şekil 3.68. Yağ tankı

3.2.5.5.5. Sirkülasyon pompası

Su devresi için sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Sistemde dolaşan suyun ilerlemesini sağlamak için kullanılmıştır. Sisteme göre uygun olarak tercih edilmiştir. Şekil 3.69.'da göstermektedir.

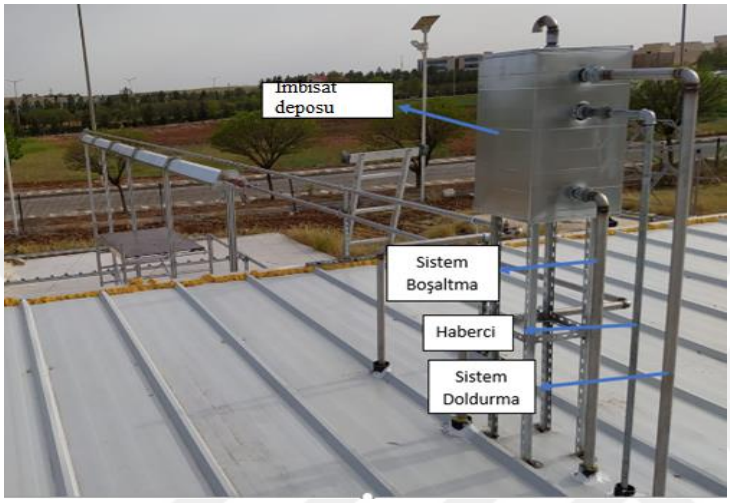


Şekil 3.69. Sirkülasyon pompası

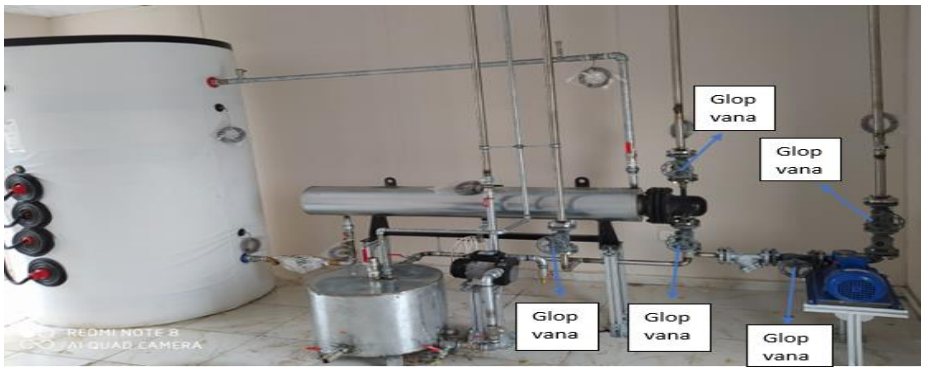
3.2.5.5.6. Kontrol ve ölçüm cihazları

Sistemde ısı aktarımı artıkça Isı transfer akışkanı genleşecektir. Çalışma koşullarına göre, yağ hacminde 20 litreye yakın bir hacim artması söz konusu olacaktır. Bunun için sistemin en üst noktasında 20 litre hacminde imbisat deposu ve yağın en sıcak olduğu absorber çıkışında kompansatör kullanılmıştır. Böylece

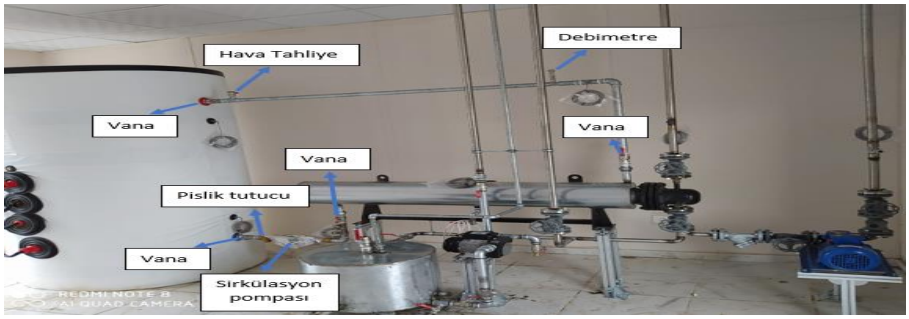
sistemde akışkanın genleşmesinden dolayı oluşabilecek hasarlar önlenerek güvenli çalışma koşulları sağlanmıştır. Şekil 3.70.'da sisteme yağ doldurma/boşaltmada kullanılan ekipmanlar gösterilmiştir. Şekil 3.71.'de ise birinci devreye monte edilen vanalar ve Şekil 3.72.'te ikinci devreye monte edilen vanlar gösterilmiştir.



Şekil 3.70. İmbisat deposu



Şekil 3.71. Birinci devrede kullanılan glop vanalar

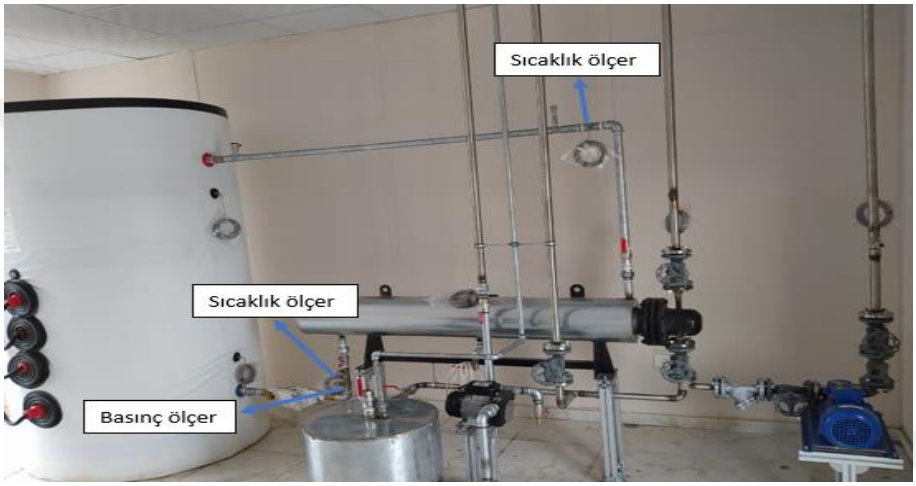


Şekil 3.72. İkinci devrede kullanılan glop vanalar

Prototipin performans parametrelerini hesaplamak amacı ile giriş suyu sıcaklığı, çıkış suyu sıcaklığı, giriş akışkan (yağ) sıcaklığı, çıkış akışkan (yağ) sıcaklığı, eşanjör giriş sıcaklığı, eşanjör çıkış sıcaklığı, dış hava sıcaklığı, dış hava nem oranı, güneşten gelen ışınım oranı, yağış miktarı parametreleri kayıt altına alınmaktadır. Hatlardaki sıcaklıkları ölçmek için J tip termokupl kullanılmıştır. Akışkan sıvı sıcaklık ölçümlerinde öngörülen maksimum sıcaklık 400 °C olarak belirlenmiştir. Birinci devreye monte edilen geçen sıvı miktarını ölçebilmek amacı ile sisteme 2 adet debimetre bağlanmıştır. Debimetreler 10 l/dk. ile 100 l/dk. arasındaki akış hızını %1 hassasiyet ile ölçebilmektedir. Bunun yanında hatlardaki basınçları ölçmek amacı ile 4 farklı noktaya basınç sensörleri Şekil 3.73.'te ve Şekil 3.74.'te gösterildiği gibi bağlanmıştır. Makine dairesinde basınç değerinin kolayca gözlemlenmesi amacı ile basınç sensörlerinden biri dijital göstergeli Şekil 3.75.'te gösterildiği gibi seçilmiştir. Basınç değerleri, 0-4 bar aralığında %0.2 hassasiyet ile kaydedilmektedir. Sensörler ile okunan tüm veriler veritabanında saklanmakta olup istenildiği zaman aralığı için rapor alınabilmektedir. Şekil 3.76.'de' ise devreye monte edilen kompansatör gösterilmiştir.



Şekil 3.73. .Birinci devrede kullanılan ölçüm ve tesisat malzemeleri



Şekil 3.74. İkince devrede kullanılan sıcaklık ölçer ve basınç ölçer



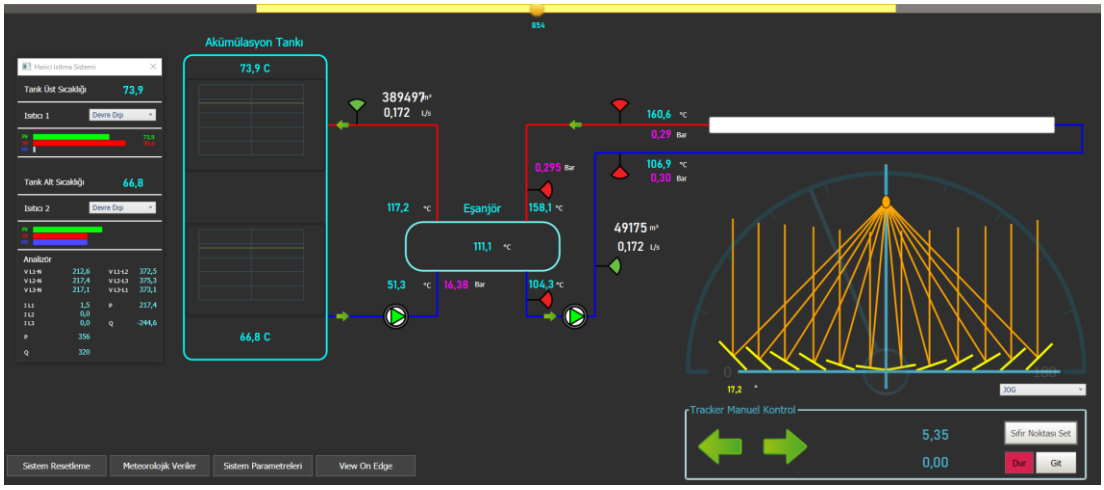
Şekil 3.75. .Birinci devrede hassas basınç ölçüm cihazı



Şekil 3.76. Devreye monte edilen kompansatör

3.2.5.6. Haberleşme sisteminin tasarlanması ve entegrasyonu

Sistemin temel kontrol yapısını oluşturan PLC ve SCADA sistemi ethernet ve seriportlar üzerinden MODBUS ve benzeri protokolleri kullanarak haberleşme yapabilmiştir. PLC sistemi lojik giriş-çıkış portları ve analog girişlerle sistemdeki sensörler üzerinden ölçüm yaparken röleler ve motor sürücü devreleri gibi ara ünitelerle sistemi kontrol edebilmektedir. PLC ile yapılan ölçüm değerleri Ethernet bağlantısı ile PC üzerinde bulunan SCADA yazılımına aktarılmaktadır. SCADA yazılımı toplanan verileri veritabanına kaydetmektedir. Sistemin kurulmasıyla tasarlanan adımlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.77.'de SCADA ana ekranı göstermektedir.



Şekil 3.77. SCADA ana ekran görüntüsü

LFK için gerekli olan iklim verilerinin alınması için prototip alanında meteorolojik istasyon kurulmuştur. Şekil 3.78.'de GAPYENEV merkezi sahasında kurulan Meteoroloji ölçüm istasyonu gösterilmiştir. Kurulumu gerçekleştirilen meteorolojik istasyonun sıcaklık, nem, basınç, güneş radyasyonu, rüzgâr hızı ve yönü, yağış miktarı için sensörleri bulunmaktadır. Meteorolojik istasyonun sensörlerine ait görüntüler şekil 3.79-3.82 'te verilmiştir.



Şekil 3.78. GAPYENEV merkezi sahasında kurulan Meteoroloji ölçüm istasyonu



Şekil 3.79. Rüzgar hız ölçer cihazı



Şekil 3.80 Nem-Sıcaklık ölçer cihazı



Şekil 3.81. Güneş ışınımı radyasyon ölçer cihazı



Şekil 3.82. Yağmur miktarı ölçüm sistemi

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

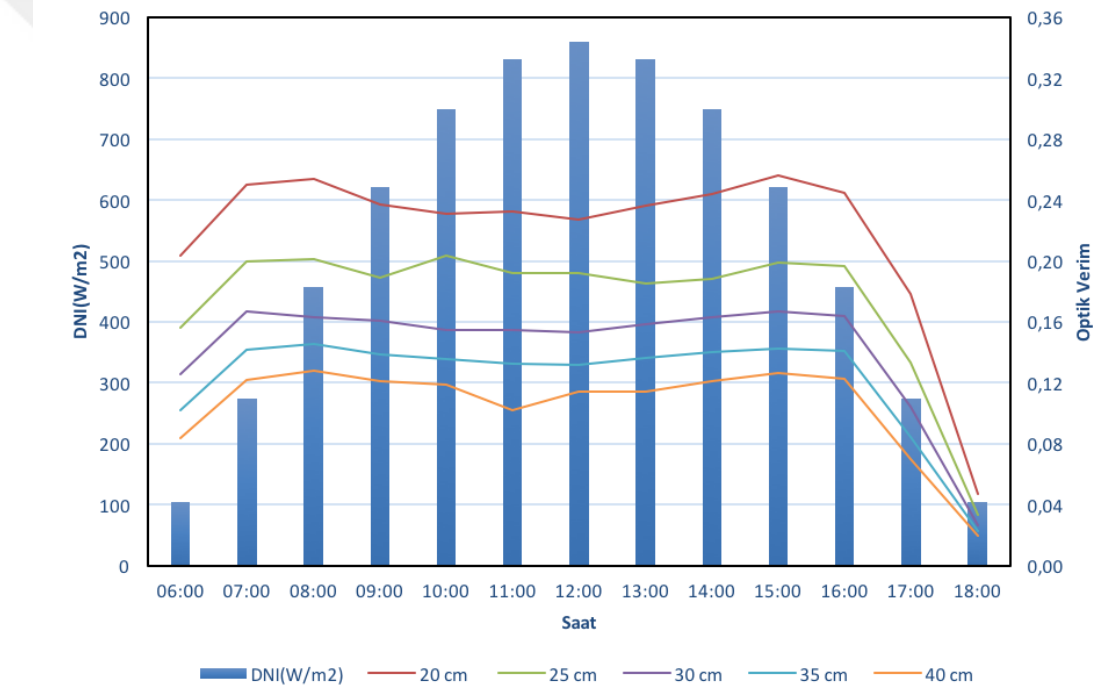
Bu çalışmada, Şanlıurfa meteorolojik koşullarına göre hesaplanan tipik gün değerlerine göre analiz gerçekleştirilmiştir. Şanlıurfa için kullanılan tipik gün değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Tipik gün değerlerine göre yapılan performans hesaplarında kullanılan saatlik direkt ışını (DNI) değerleri ASHREA yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Şanlıurfa için tipik gün değerleri

Ay	Tipik Gün	Aylar	Tipik Gün
Ocak	17.	**Temmuz**	17.
Şubat	16.	**Ağustos**	16.
Mart	16.	**Eylül**	15.
Nisan	15.	**Ekim**	15.
Mayıs	15.	**Kasım**	14.
Haziran	11.	**Aralık**	10.

4.1. Ayna Genişliğinin Belirlenmesi

Bu çalışmada optik analiz için alıcı yerden yüksekliği 4 m alınarak ayna genişliği sırasıyla 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm ve 40 cm alınarak sistemin optik verimi bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar 11 Haziran için yapılmış ve Şekil 4.1.'de verilmiştir. Analize sonuçlarına göre, incelenen aynalar arasında 20 cm ayna genişliğinde en yüksek optik verim elde edildiği için ayna genişliği 20 cm olarak seçilmiştir.

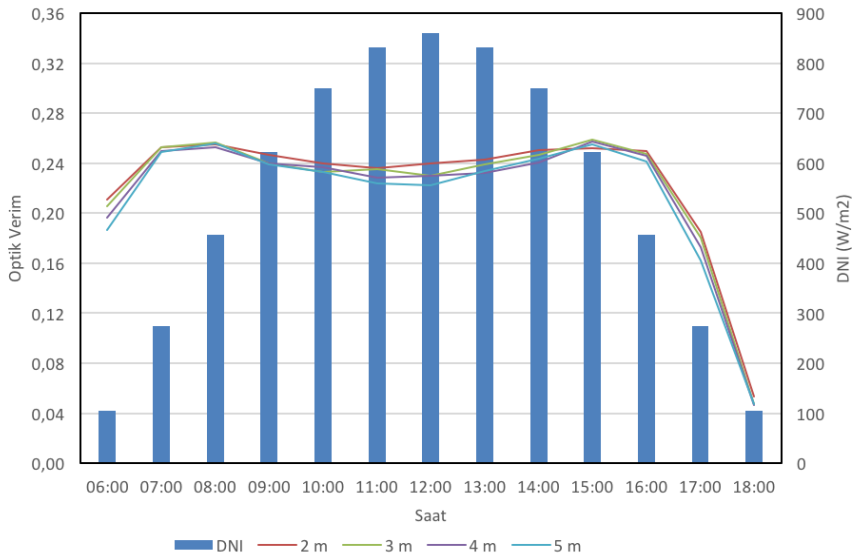


Şekil 4.1. Farklı ayna genişlikleri için optik verimi

4.2. Alıcı Yüksekliğinin Tespiti

Çalışmanın bu aşamasında, 20 cm ayna genişliği sabit tutularak alıcı yüksekliği tespit edilmiştir. Bunun için alıcı yüksekliği sırasıyla 2 m, 3 m, 4 m ve 5 m olarak alınarak incelenen modelin optik verimi hesaplanmıştır. 11 Haziran'a göre Şekil 4.2.'de analiz sonuçları verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 3 m ve 4 m alıcı

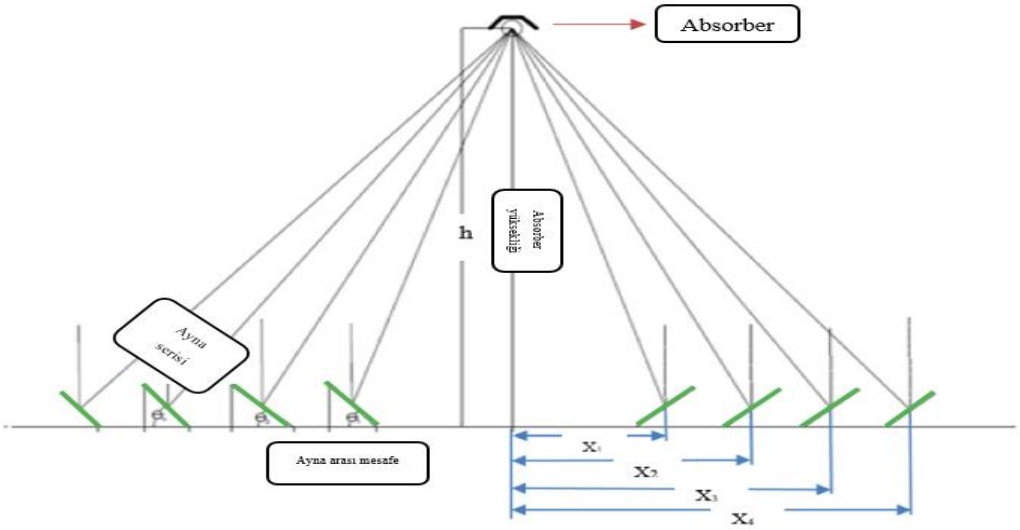
yüksekliğinde optimum optik verimine ulaştığını tespit edilmiştir. Bu analiz sonuçları ve prototipin üretim kolaylığı düşünerek alıcı yüksekliğini 3 m olarak seçilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı alıcı yüksekliğine göre optik verimler

4.3. Ayna Serileri Arasındaki Mesafenin Tespiti

Prototipte doğrusal fresnel kollektörde düz ayna kullanılmıştır. Şekil 4.3.'te düz ayna kullanılarak oluşturulan fresnel kollektörün şematik çizimi gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Doğrusal fresnel kollektörü şematik çizimi

Tasarımda kullanılan eşitlikler (Momeni ve ark., 2019) aşağıda sunulmuştur.

Birincil reflektörün açıklık alanı:

$$Aa = N.W.L \quad (4.1)$$

Doğrusal fresnel kollektörün genişliği:

$$Wg = (N.W) + (N - 1).G \quad (4.2)$$

Doğrusal fresnel kollektörün alanı:

$$Afk = Wg .L \quad (4.3)$$

Doğrusal fresnel kollektörün kapladığı yer:

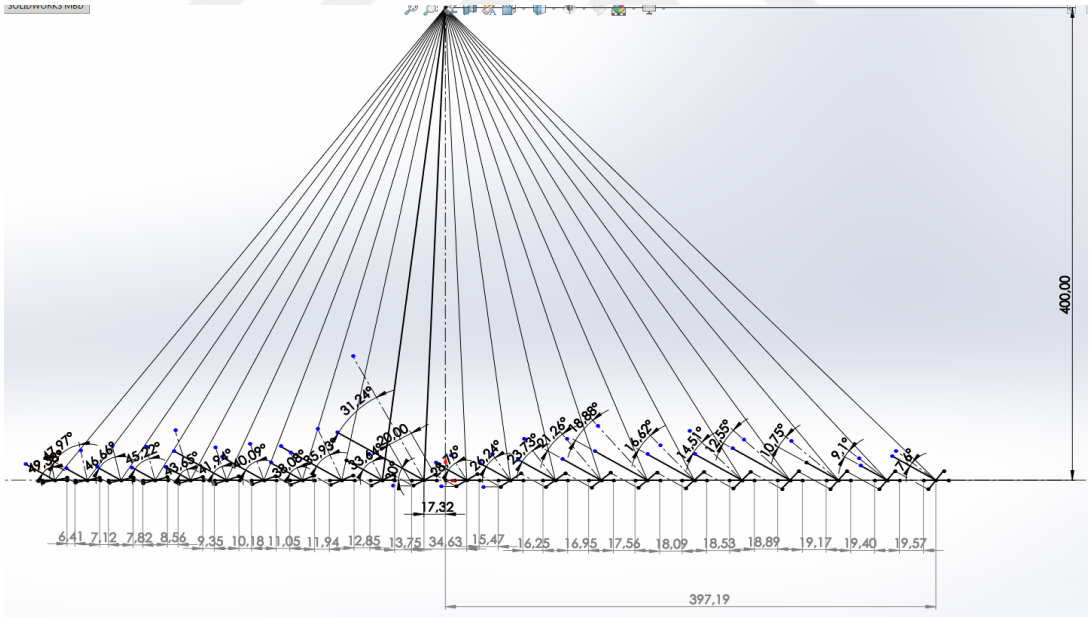
$$KY: Abr / Afk \quad (4.4)$$

Bu çalışmada kullanılan tasarım kriterleri aşağıda sunulmuştur.

1. $0.9 \leq Xn/h \leq 1.14$ arasında seçilmiştir. Genel olarak tasarımlarda bu oranın 1 olmasına dikkat edilmiştir (He ve ark 2012).

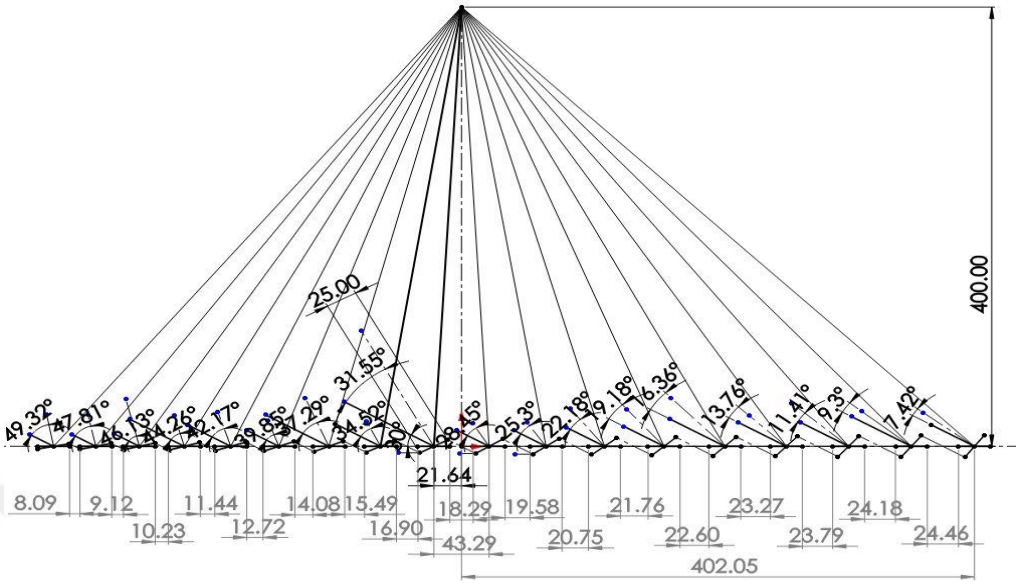
2. Aynalar arası mesafelerin bulunmasında aynaların bloklama ve gölgeleme etkilerinin güneş geliş açısı 30° için Solid Works programı kullanılarak yapılmıştır.

LFK'nin boyutlandırılmasında Xn ilk ve son ayna serileri arasındaki mesafenin yarısını ve h absorberin ayna düzleminden yüksekliğini göstermek üzere Xn/h oranı 0.9-1.14 arasında seçilerek absorber yüksekliğine göre ayna serilerinin sayıları belirlenmiştir. Bu değerler arasında optik verim, yüksek değerlere ulaşmakta ve sistemin maliyeti düşük olmaktadır. LFK'nin boyutlandırılmasında aynalar arası mesafenin belirlenmesinde ise aynaların birbirlerini bloklaması ve gölgeleme etkileri dikkate alınarak optimum mesafe belirlenmiştir.Ayna genişliği 20 cm ve absorberin aynalardan olan yüksekliği 4 m olmak üzere güneş geliş açısı 30°'de aynalar arasında bloklama ve gölgeleme olmaması için aynalar arası mesafe tespit edilmiştir. Şekil 4.4.'te Solid Works çizimi görülmektedir. Buna göre, X mesafesi 397.19 cm olup 22 ayna serisi bulunmaktadır. 1.nolu ve 2.nolu ayna serileri arasındaki mesafe 6.41 cm'dir. Genel olarak, ayna serileri arasındaki mesafe 6.41 cm ile 19.57 cm arasında değişiklik göstermektedir.



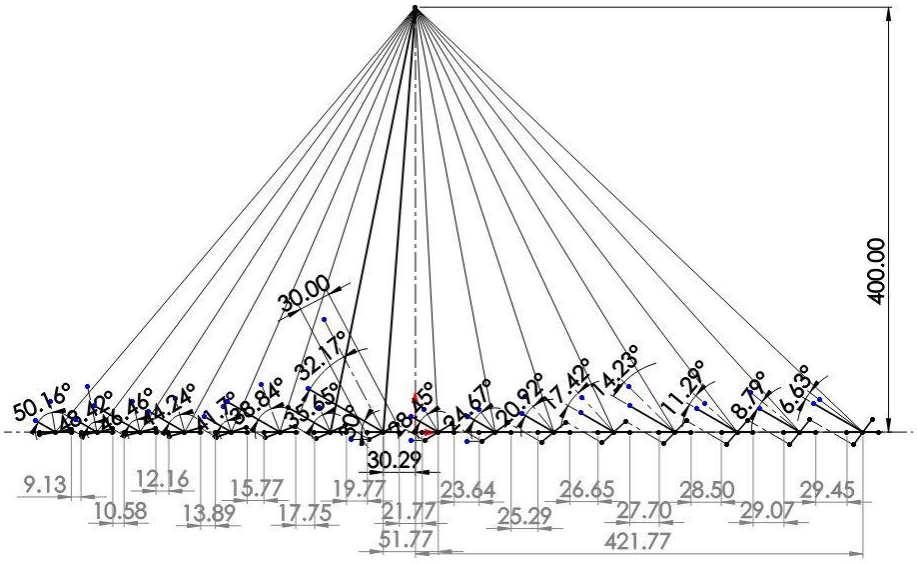
Şekil 4.4. Ayna 20 cm ve absorber 4 m olması durumunda aynalar arası mesafeler.

Şekil 4.5.'te Ayna genişliği 25 cm ve absorberin aynalardan olan yüksekliği 4 m olması durumunda, aynalar arası mesafe tespit edilmiştir. Buna göre, X mesafesi 402.05 cm ve ayna sayısı 18 olarak bulunmuştur.



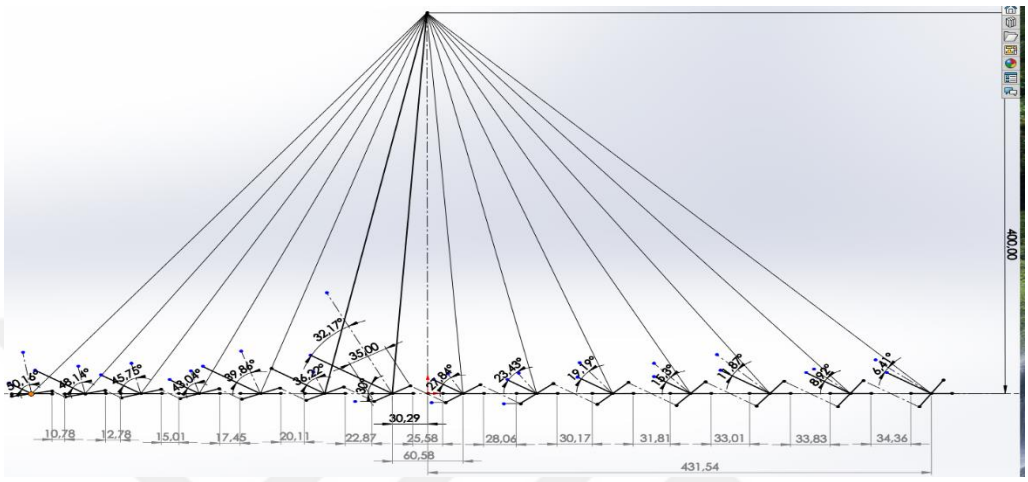
Şekil 4.5. Ayna genişliği 25 cm ve absorber yüksekliği 4 m için aynalar arası mesafeler

Şekil 4.6.'da ayna genişliği 30 cm ve absorberin aynalardan olan yüksekliği 4 m olması durumunda, aynalar arası mesafe tespit edilmiştir. Buna göre, X mesafesi 421.77 cm ve ayna sayısı 16 olarak bulunmuştur.



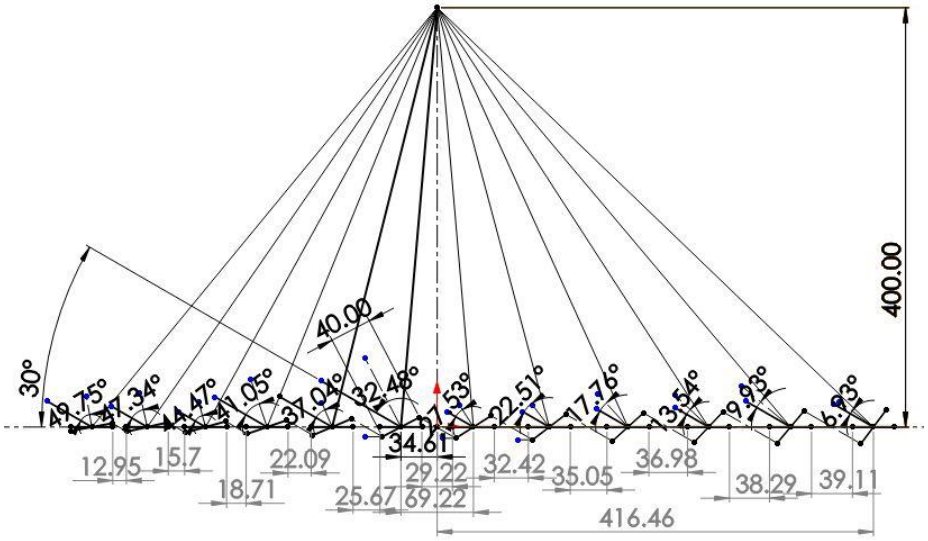
Şekil 4.6. Ayna genişliği 30 cm ve absorber yüksekliği 4 m durumunda aynalar arası mesafeler

Şekil 4.7.'de ayna genişliği 35 cm ve absorberin aynalardan olan yüksekliği 4 m olması durumunda, aynalar arası mesafe tespit edilmiştir. Buna göre, X mesafesi 431.54 cm ve ayna sayısı 14 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.7. Ayna genişliği 35 cm ve absorber yüksekliği 4 m

Şekil 4.8.'de ayna genişliği 40 cm ve absorberin aynalardan olan yüksekliği 4 m olması durumunda, aynalar arası mesafe tespit edilmiştir. Buna göre, X mesafesi 416.46 cm ve ayna serisi sayısı 12 olarak bulunmuştur.



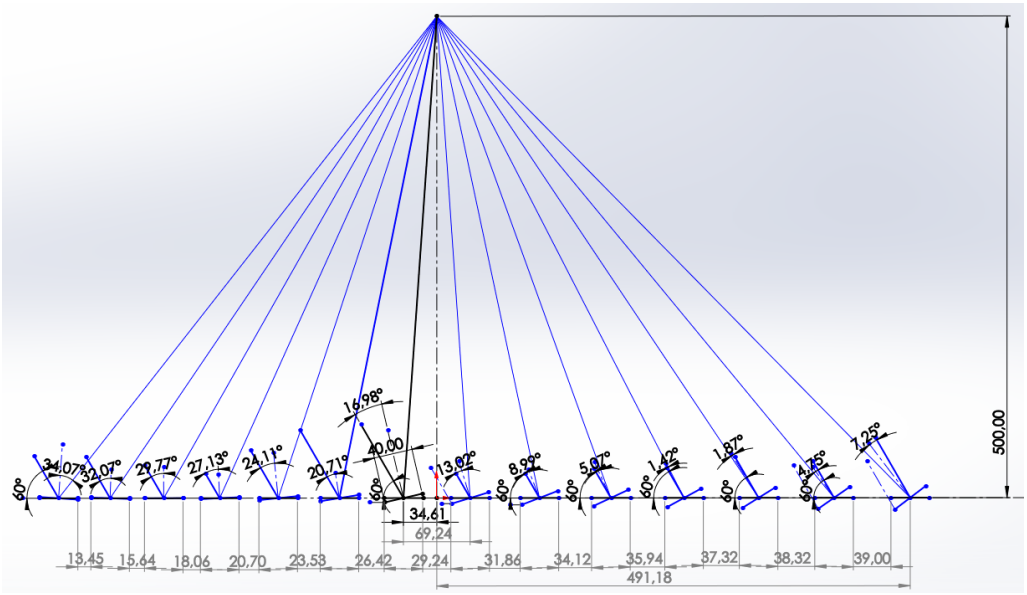
Şekil 4.8. Ayna genişliği 40 cm ve absorber yüksekliği 4 m

Absorber yüksekliğinin 5 m ve 4m olması durumunda aynı analiz yapılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sabit absorber yüksekliğinde farklı ayna genişliğinde ayna sayısının değişimi.

Absorber yüksekliği (m)	Ayna Genişliği (cm)	Ayna Serisi Sayısı	X/h
4	40	12	1.04
	35	14	1.07
	30	16	1.05
	25	18	1.02
	20	20	0.99
5	40	14	0.98
	35	16	0.99
	30	18	0.97
	25	22	0.99
	20	26	0.95

Sonuç olarak, ayna genişliği arttıkça, gölgeleme ve bloklama olmayacak şekilde aynaları konumlandırıldığında aynalar arasındaki boşluk artmakta ve ayna serisi sayısı azalmaktadır. 30 derecelik güneş geliş açısına göre belirlenen aynalar arasındaki boşluk değerleri sabit tutarak 60 derecelik güneş geliş açısına göre incelendiğinde ptototipte herhangi bir gölgeleme ve bloklama olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.9.'da bu incelemenin görseli görülmektedir.

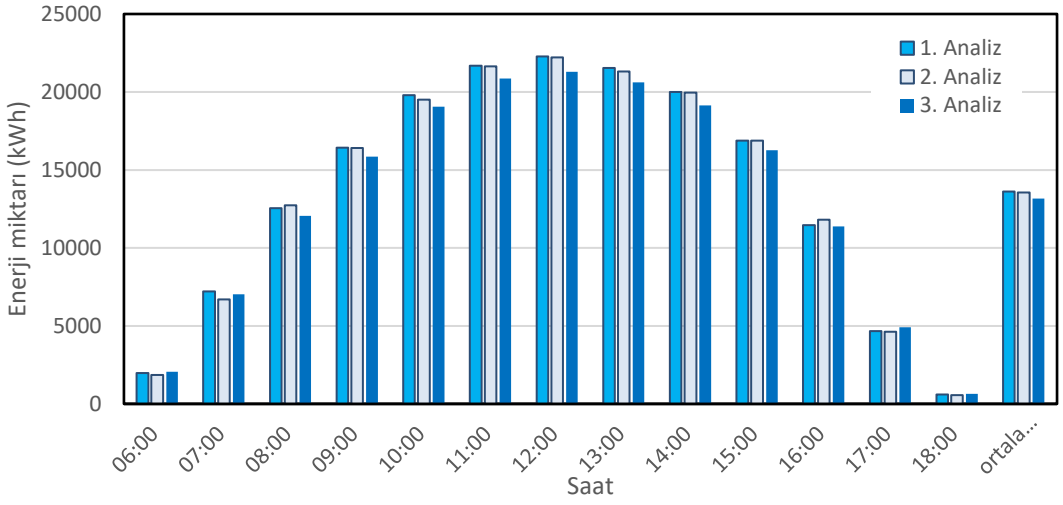


Şekil 4.9. Güneş geliş açısı 60 derece bloklama ve gölgeleme kontrolü (Ölçüler cm'dir)

Ayna serileri arasındaki mesafelerinin tespitinde bloklama ve gölgeleme etkisinin olmaması için solid Works programında geometrik analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan LFK tasarımının optik veriminin bulunması için Tonatiuh programı ile simülasyon yapılmıştır. Burada yapılan analizde 3 farklı durum incelenmiştir.

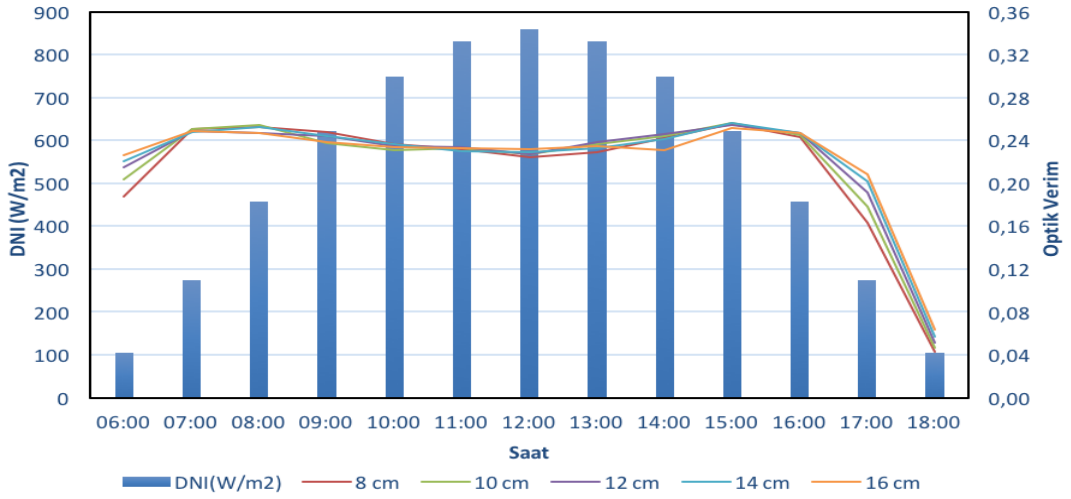
1. Analiz: (Eşit aralıklı) 30 derecelik geliş açısına göre Solid Works'ta bulunan aynalar arasındaki boşluk değerlerinin toplamının ortalaması alınarak, ayna serileri arasında eşit aralıklar bırakılarak analiz yapılmıştır.
2. Analiz: (Artan aralıklı) 30 derecelik geliş açısına göre Solid Works'ta bulunan aynalar arasındaki boşluk değiştirilmeden aynı değerler alınarak analiz yapılmıştır.
3. Analiz: (Farklı aralıklı) 30 derecelik geliş açısına göre Solid Works'ta bulunan aynalar arasındaki boşluk, sistemin Sağ taraftaki gibi yüksek boşlukları değerleri sol tarafta aynı değerler kabul edilerek, ayna serileri arasında farklı aralıklar bırakılarak analiz yapılmıştır.

Şanlıurfa meteorolojik koşullarında 11.06.2020 tarihi için yapılan simülasyon sonuçları Şekil 4.10.'da verilmiştir. Totaniuh programında yapılan analiz sonuçlarına göre, aynalar arası mesafenin ortalama değere göre belirlenmesi durumunda performans olarak en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 4.10. Tonatiuh analiz sonuçları

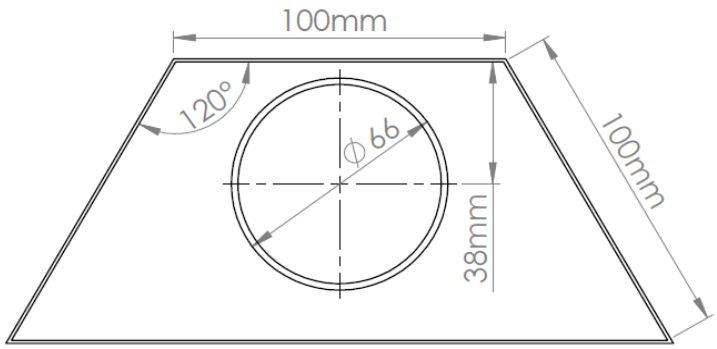
Çalışmanın bu bölümünde, iki bitişik ayna serisi arasındaki mesafeyi optimize etmek için, ayna genişliği 20 cm ve alıcı yüksekliği 3 m sabit alınarak aynalar arası boşluk sırasıyla 8 cm, 10 cm, 12 cm, 14 cm ve 16 cm alınarak hesaplama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.11'te gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, incelen tüm ayna serileri arasındaki boşluk değerlerine karşılık gelen optik verim eğrileri üst üste geldiğinden neredeyse aynı optik verime sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sabah saatlerinde 10 cm ve 14 cm aynalar arası boşluk ve öğleden sonra 10 cm ve 16 cm maksimum değere ulaşılmıştır. Aynalar arasındaki mesafe büyüdükçe kollektörün kaplayacağı alan büyüyeceği göz önüne alınarak 10 cm aynalar arası boşluk Şekil 4.11.'de gösterildiği gibi optimum değer olarak seçilmiştir.



Şekil 4.11. Ayna serileri arası farklı mesafelerin optik verimin değişimine etkisi.

4.4. Absorber (Alıcı) Boyutu Tespiti

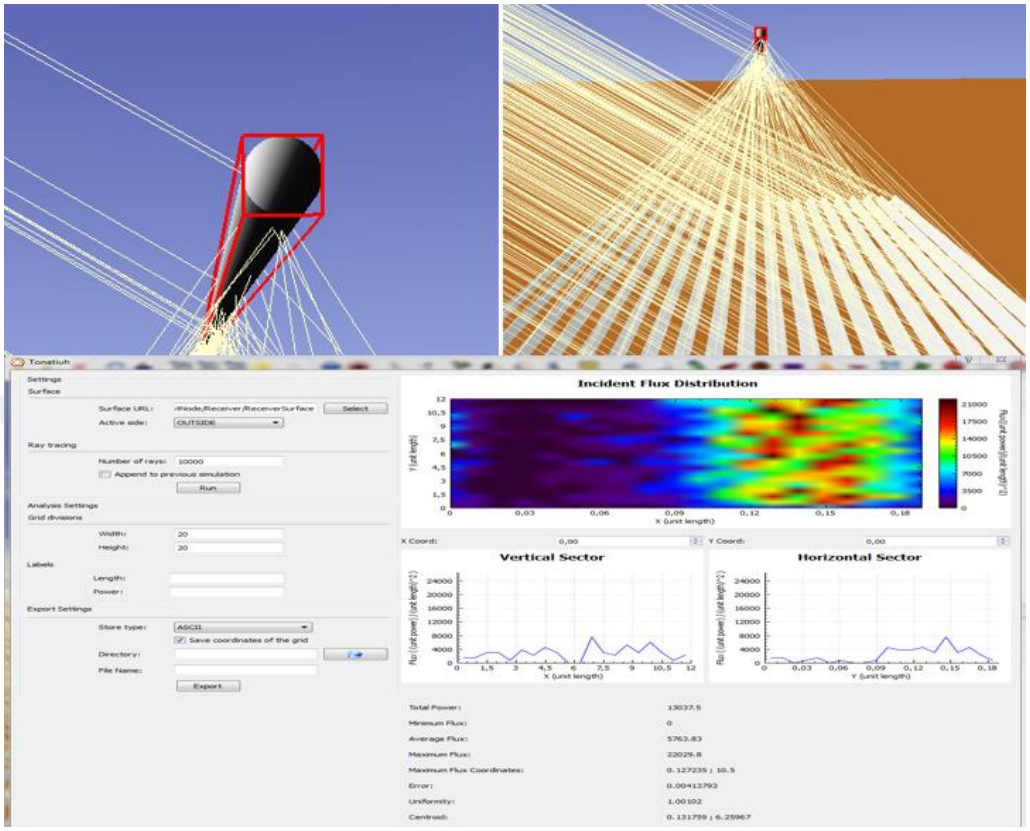
Absorber olarak dış çap ölçüsü 66 mm olan bakır boru tercih edilmiştir. Absorber boru üzerinde ikinci reflektör kullanılmıştır. Şekil 4.12.'de ikinci reflektör boyutları görülmektedir.



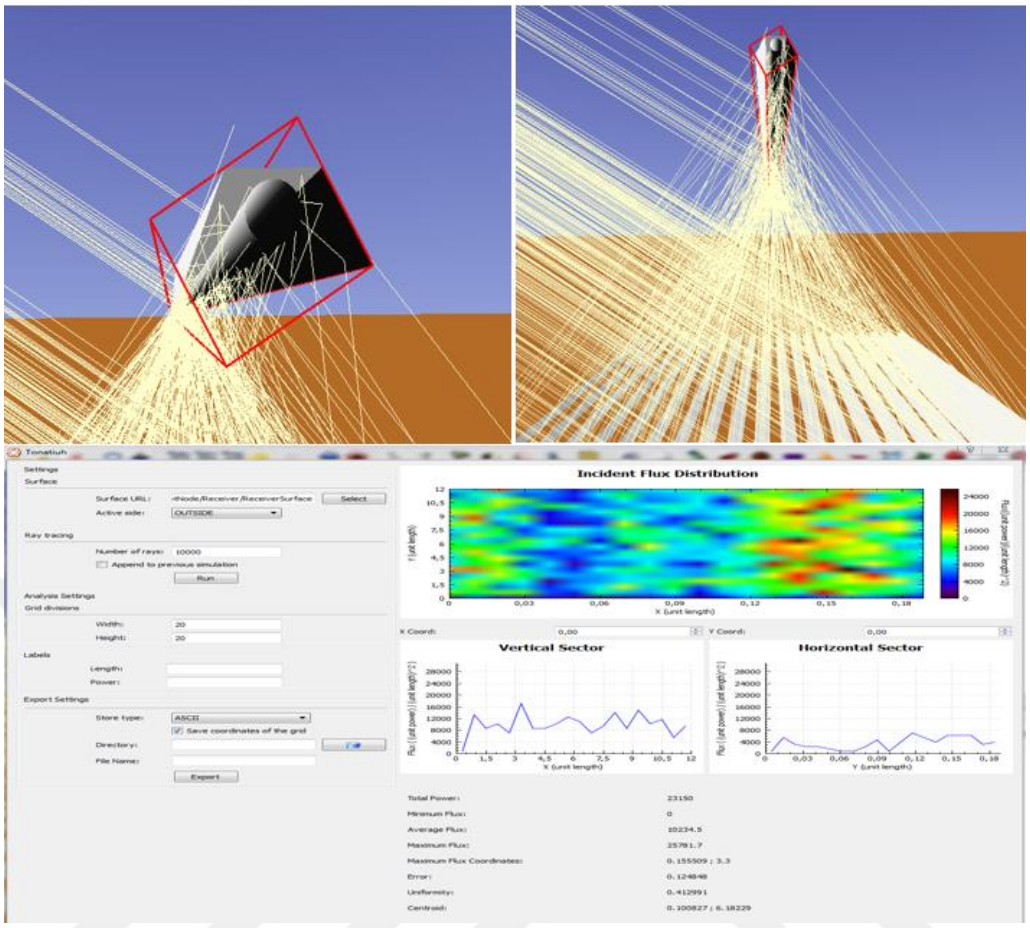
Şekil 4.12. Trapez ikinci reflektör

Bu tez çalışmasında absorbeden elde edilen ısıl akış gücü ikinci reflektör kullanılmadığında 13 kW olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.13.'de, Tonatiuh programından elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. ikinci reflektör kullanıldığında

sistemin ısıl performansı artarak 23 kW yükselmektedir. Şekil 4.14.'te Tonatiuh programından elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

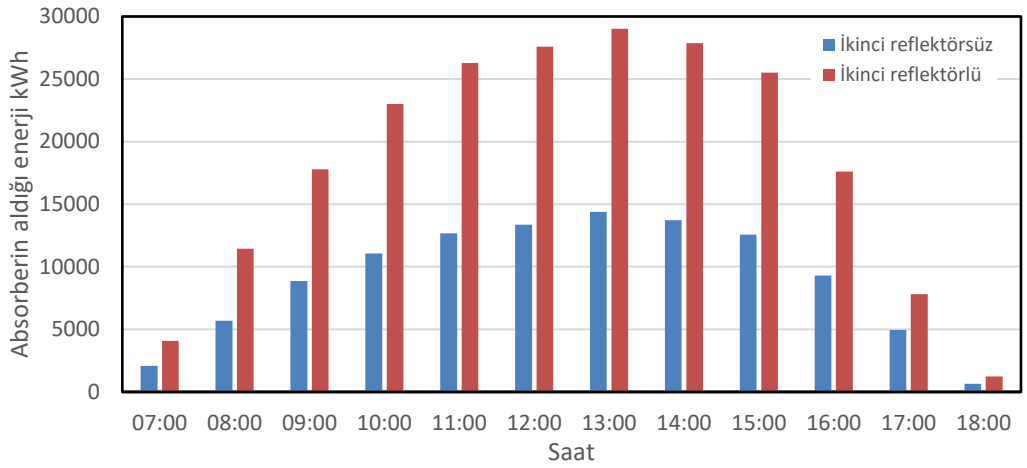


Şekil 4.13. Tonatiuh programıyla ikinci reflektörsüz doğrusal fresnel prototipinin ısıl analizi



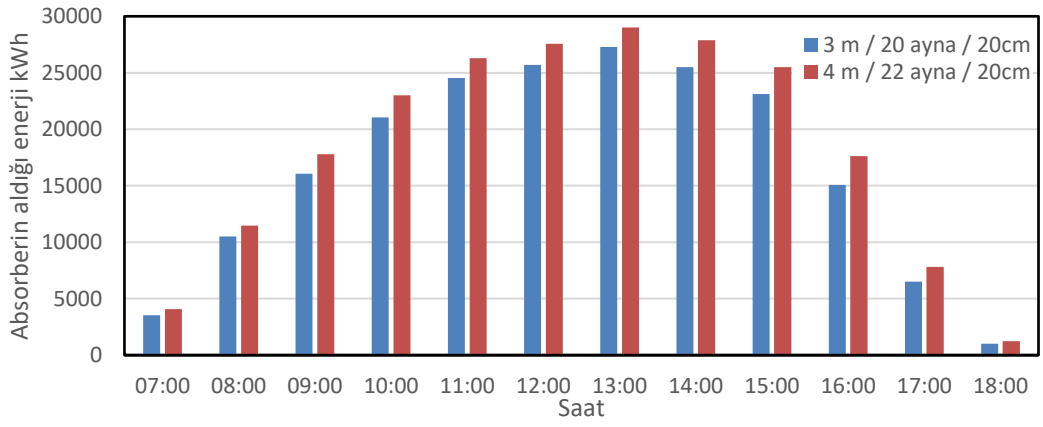
Şekil 4.14. Tonatiuh programıyla ikinci reflektörlü doğrusal fresnel prototipinin ısıl analizi

İkinci reflektörlü ve ikinci reflektörsüz LFR için 20 cm ayna genişliği ve 4 m absorber yüksekliği olması durumunda Tonatiuh programında simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simulasyon sonuçları Şekil 4.15'te verilmiştir. Buna göre; IC değeri 0.27 den 0.54'e optik verim %24'ten %49'a yükselmiştir.



Şekil 4.15. İkinci reflektörlü 20 cm ayna genişliği ve 4 m absorber yüksekliği analiz sonuçları.

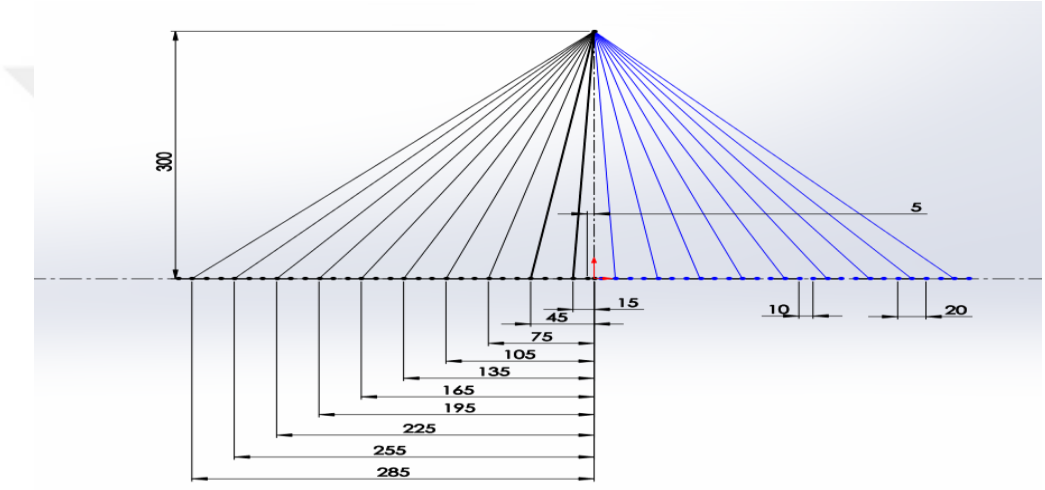
İkinci reflektörlü LFK için 3 m ve 4 m olmak üzere iki farklı absorber yüksekliğinde inceleme yapılmıştır. Şekil 4.16.'da gösterildiği gibi LFK'nin ayna genişliği 20 cm ve 4 m absorber yüksekliği 22 ayna serisi 3 m için 20 ayna serisi bulunmaktadır. Analiz sonuçları Şekil 4.16'da verilmiştir. Buna göre; 4 m absorber yüksekliğine sahip LFR için IC değeri 0.54 ve optik verim %49 iken 3 m absorber yüksekliğine olması durumunda IC değeri 0.57 ve optik verim %51'e yükselmiştir.



Şekil 4.16. İkinci reflektörlü, 20 cm ayna genişliğinde absorber yüksekliği 3 m ve 4 m sonuçları

4.5. 20 Kw Isıl Gücünde Lineer Fresnel Kollektör Sistemi Boyutlandırılması

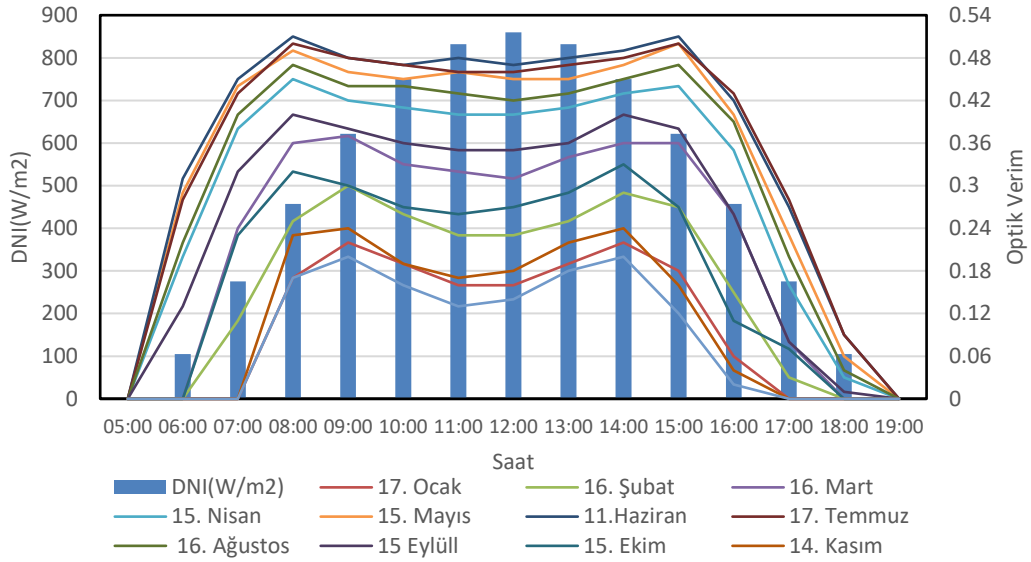
Önceki adımlarda tespit edilen boyutlar, absorber yüksekliği 3 m, aynalar arası mesafe 10 cm, ayna genişliği 20 cm ve ayna seri sayısı 20'dir. Boyutlandırılan LFK sistemi Tonatiuh programında analizi yapılarak, maksimum 20 kW ısıl gücü verecek şekilde ayna uzunluğu 12 m olarak belirlenmiştir. Şekil 4.17'de LFK sisteminin tüm boyutları ve aynaların konumları verilmiştir.



Şekil 4.17. LFK boyutları ve ayna serilerinin konumları

4.6. Doğrusal Fresnel Kollektörün Yıllık Analizi

Bu çalışmada Şanlıurfa ilinin tipik gün değerlerine göre tasarımı yapılan doğrusal fresnel kollektör modelinin yıllık performans analizi Tonatiuh programında yapılmıştır. Şekil 4.18.'de analizden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Buna göre optik verimin maksimum değeri Haziran ayında %51'e ulaşmaktadır. En kötü performans aralık ayında gözlenmiştir.



Şekil 4.18. Şanlıurfa iklim koşulları altında LFK'nin aylık ortalama optik verimi

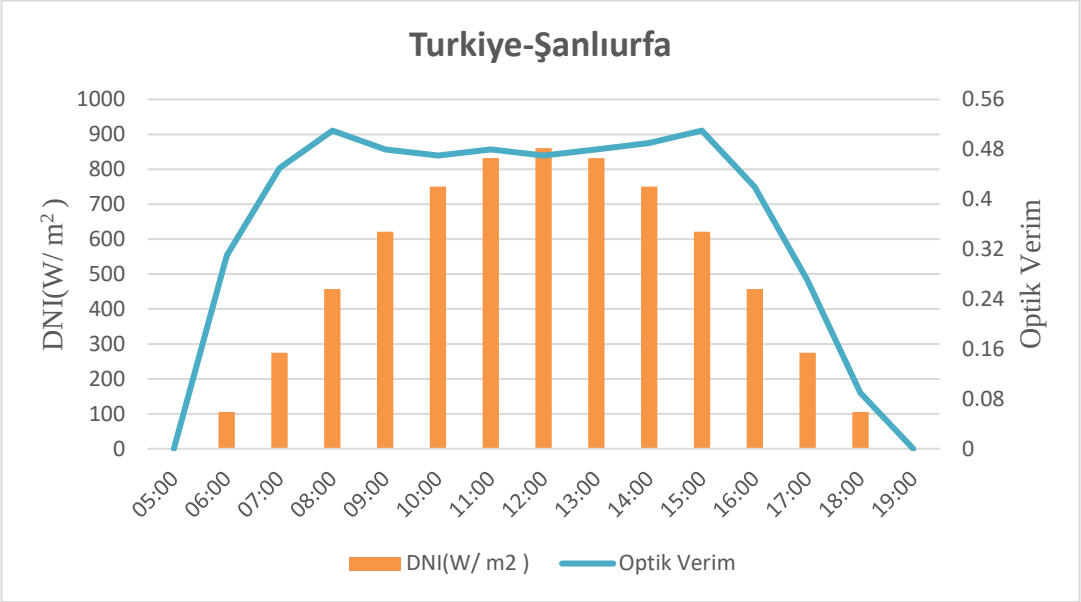
Bu çalışmada tasarımı gerçekleştirilen fresnel kollektörün boyutları ve Haziran ayında Şanlıurfa meteorolojik koşullarında performans değerleri Çizelge 4.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Şanlıurfa meteorolojik koşullarında Haziran ayı için LFK performans değerleri

Tasarım kapasitesi	20.0 kW
Absorber yüksekliği	3 m
Absorber uzunluğu	12,4 m
Absorber çapı	66 mm
Ayna Seri Sayısı	20
Ayna genişliği	20 cm
Aynalar arası boşluk	10 cm
Absorberde toplanan maksimum güç	22.9 kW
Maksimum optik verim	% 51
Absorberde toplanan günlük güç	181 kW/gün
Absorberde toplanan maksimum güç ($1000W/m^2$ ve ayna yüzeyine dik)	26.7 kW

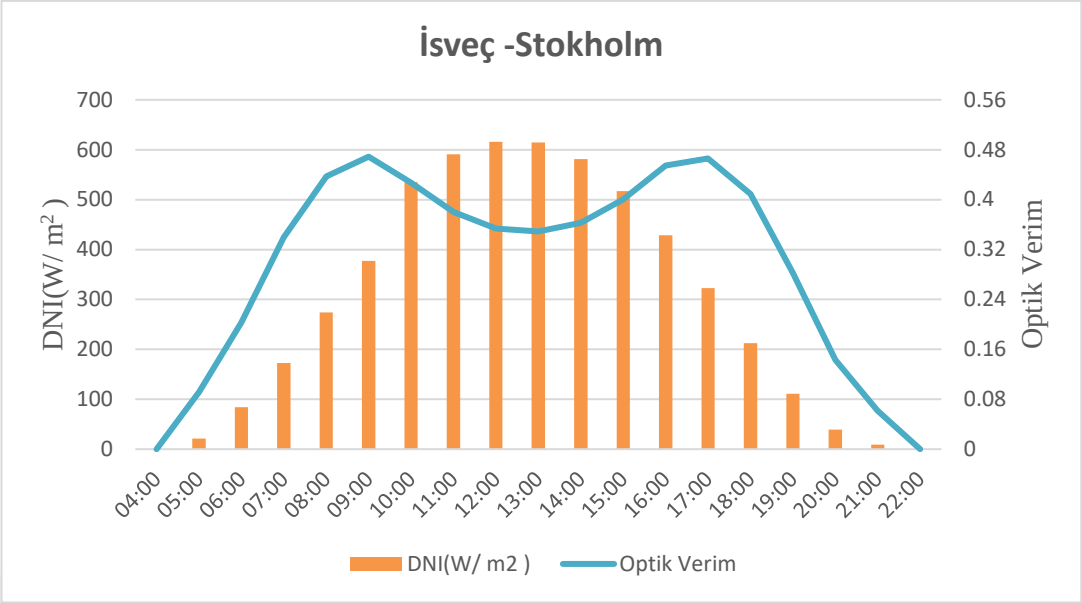
4.7. Tasarım Parametrelerin Farklı Yerleşim Yerlerine Göre Değişimi

20kWçıkış gücü için tasarlanan sistemin Türkiye, İsveçve Etiyopya gibi farklı iklim koşullarında 11 Haziran tipik günün için doğrusal fresnel kollektörün optik analizleri yapılmıştır. Şanlıurfa için elde edilen değerler Şekil4.19.'da sunulmuştur. Şekilden görüldüğü gibi, Şanlıurfa'nın DNI değerleri gün içinde değişken olup saat 12:00'de 800 W/m^2'nin üzerine çıkarak maksimum değerine ulaşmış ve saat 8:00 ile 16:00 saatleri arasında optik verim %50 civarında bulunmuştur. Şanlıurfa için, öğlen saat 12:00'de alıcı yüzeyine toplanan maksimum güç 22904 W ve maksimum optik verim %51 değerine ulaşmıştır.



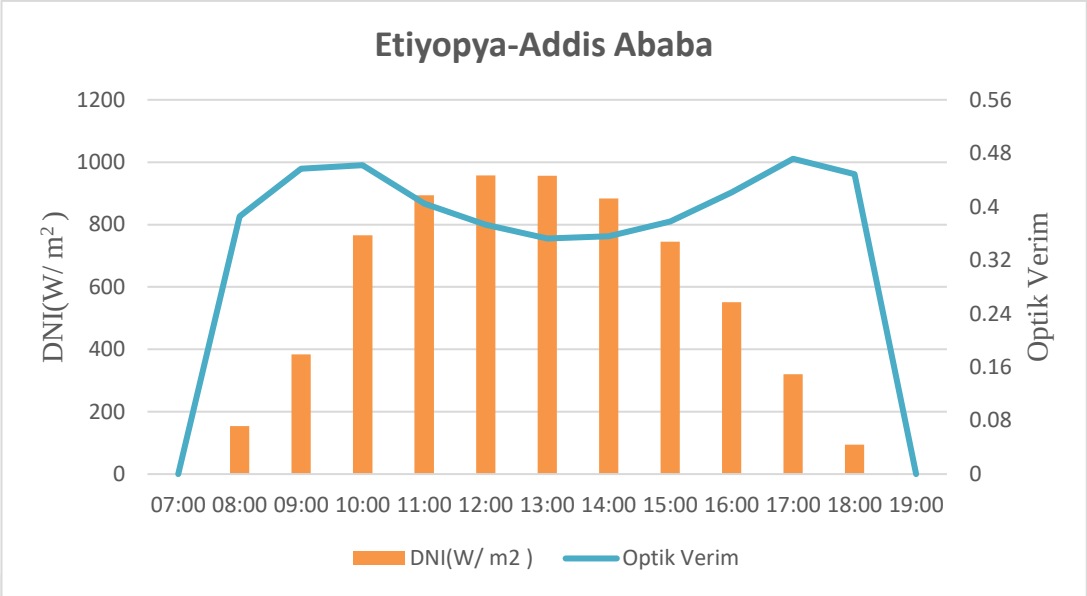
Şekil 4.19. Şanlıurfa koşulları altında optik verimin değişimi

Şekil 4.20.'de İsveç-Stokholm için elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Şekilden görüldüğü gibi, Stokholm için güneşlenme süresi 4:00 ile 22:00 saatleri arasında toplam 18 saattir ve maksimum DNI saat12:00-13:00 arasında 600 W/m^2 olarak bulunmuştur. Gün içinde 8:00-9:00 ile 16:00-17:00 saatleri arasında optik verim %47'ye ulaşmıştır. Stokholm için, alıcı yüzeyine toplanan maksimum güç 12416 W ve maksimum optik verim %47'dir. Günlük toplam kapasite 116644 W olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.20. Isveç- Stokholm için sistemin optik verim değişimi

Şekil 4.21.'de Haziran tipik günü için Etiyopya- Addis Ababa için DNI'e göre fresnel kollektörün optik verim değerleri gösterilmiştir. DNI değerleri 12:00-13:00 saatleri arasında 1000 W/m^2 civarındadır. Etiyopya- Addis Ababa için alıcı yüzeyine toplanan maksimum güç 19653 W ve maksimum optik verim % 47 değerine ulaşmıştır. Bu çalışmada incelenen ülkeler için doğrusal fresnel kollektörün performans değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre en iyi performans Şanlıurfa için elde edilmiştir. Bundan sonraki en iyi performans AddisAbaba/Etiyopya ve en düşük performans Stokholm/İsveç elde edilmiştir. Performanslarda en etkili parametre DNI değerleri olduğu görülmektedir. Stokholm/İsveç'in Haziran ayında güneşlenme süresi 18 saati bulmasına rağmen DNI değerinin düşük olması nedeniyle toplam performansı en kötü olmuştur.



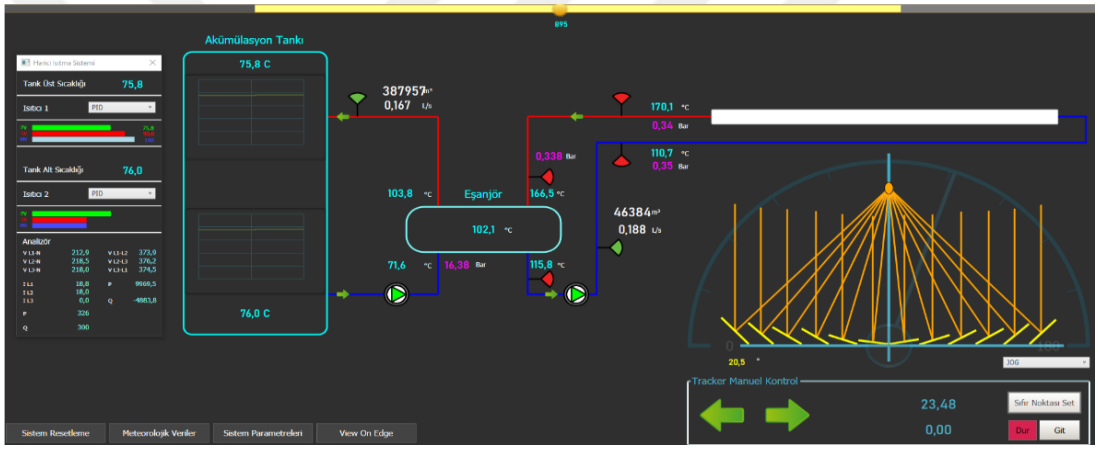
Şekil 4.21. Etiyopya- Addis Ababa için doğrusal fresnel kollektörün optik veriminin değişimi

Çizelge 4.5. Haziran ayına için lineer fresnel kollektörün farklı iklimlerdeki performans değerleri

	Şanlıurfa/ Türkiye	Stokholm/ İsveç	Addis Ababa/ Etiyopya
Tasarım kapasitesi (kW)	20.0		
Alıcıda toplanan maksimum güç (kW)	22.9	12.1	19.7
Maksimum optik verim	%51	%47	%47
Alıcıda toplanan günlük güç (kW/gün)	181	117	145
Alıcıda toplanan maksimum güç (kW) (1000W/m^2 ve ayna yüzeyine dik)	26.7	19.9	23.4

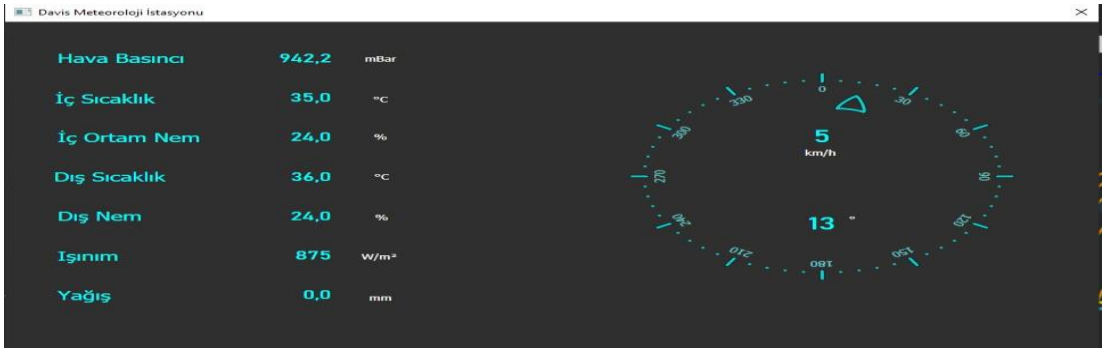
4.8. LFK Sisteminin Performans Analizi

Prototipin performans parametrelerini hesaplamak amacı ile prototipin giriş suyu sıcaklığı, prototipin çıkış suyu sıcaklığı, eşanjör giriş sıcaklığı, eşanjör çıkış sıcaklığı, dış hava sıcaklığı, dış hava nem oranı, güneşten gelen ışınım oranı, yağış miktarı parametrelerikayıt altına alınmaktadır. Hatlardaki sıcaklıkları ölçmek için J tip termokupl kullanılmıştır. Akışkan sıvı sıcaklık ölçümlerinde öngörülen maksimum sıcaklık 400 °C olarak belirlenmiştir. Şekil 4.24.'ta doğrusal fresnel kollektörünün veri ekranı göstermektedir.



Şekil 4.24. Sistemin performans parametrelein ekranı

Şekil 4.24.'de prototipe bağlanmış olan sensörlerden okunan verilerin görsel olarak sunulduğu ana ekran görüntüsü verilmiştir. Bu ekranda prototipin genel akış şeması üzerinde anlık çalışma performansı gözlemlenebilmektedir. Ayrıca frekans çevirici ile hızları kontrol edilen pompaların ayarları bu ekrandan yapılabilmektedir. Şekil 4.25.'te ise meteorolojik verilerin SCADA ekranındaki gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.25. SCADA meteorolojik istasyonu görüntüsü

Meteorolojik istasyonundan alınan veriler SCADA yazılımınında da gösterilmektedir. Meteorolojik istasyonundan alınan veriler ve diğer tüm sensörlerden alınan veriler SCADA yazılımında bir değişken olarak saklanmakta olup bu değer üzerinde her türlü hesaplama işlemi yapılabilmektedir. LFK sisteminde gerçekleştirilen ön deneylerden elde edilen veriler Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.6. LFK sistemi ön deneylerden elde edilen veriler

12.07.2021-(Açık sistem)											
	Absorber		Eşanjör			Akümülasyon		Yağ Debisi l/s	Su Debisi l/s	Işınım W/m²	Referans Ayna Açısı
Saat	T giriş °C	T çıkış °C	T giriş °C	T Gövde °C	T çıkış °C	T giriş °C	T çıkış °C				
12.00	99	128	128	72,8	101	78,2	69,7	0,20	0,142	789	6,4
13.00	111	137	136	73	113	80,2	69,9	0,20	0,135	895	13,8
14.00	135	180	170	75,7	125	83	70	0,20	0,163	906	18,4
14.07.2021-(Açık sistem)											
10.00	90	110	108	70	80	72	69	0,15	0,15	754	6,4
11.00	107	130	127	77	109	84	71,1	0,167	0,151	856	13,8
12.00	110	135	130	79	112	85	71	0,156	0,15	902	18,6
13.00	117	142	140	79	119	87	71,5	0,179	0,168	900	26,3
14.00	125	149	146	80	125	89	71,5	0,18	0,158	842	33
15.00	122	145	144	78	123	87	71,3	0,191	0,16	717	40
16.00	119	143	142	79	121	87,3	71,5	0,192	0,137	432	42
27.07.2021-(Açık sistem)											
10.00	67	91	87,5	78,8	72,5	52,1	40	0,205	0,145	740	6,4
11.00	94	118	117	78,8	95,1	76,7	43,5	0,174	0,167	842	13,8
12.00	99	126	124	58	100	64,5	51,9	0,168	0,142	893	18,6
13.00	109	140	140	65	110	71,9	58,8	0,167	0,187	904	26,3
14.00	109	141	140	67	110	73,3	60,2	0,158	0,193	847	33
15.00	108	139	138	66,5	109	73,4	60,8	0,159	0,163	560	40
16.00	128	130	125	65,7	113	71,9	60,9	0,17	0,176	436	42
17.00	97	128	127	66	101	72,7	60,9	0,174	0,196	302	43,6
28.07.2021-(Açık-kapalı sistem)											
09.00	45	52	49	59,3	48,9	58,8	62,5	0,217	0,178	601	5,3
10.00	78	92	90	63,5	80,1	68,8	62	0,205	0,177	754	6,4
11.00	97,6	116	115	68,1	99	74,4	61,9	0,23	0,168	856	13,8
12.00	100	120	118	68,3	102	74,9	61,7	0,216	0,146	902	18,6
13.00	104	126	124	70,1	106	77	61,8	0,207	0,167	900	26,3
14.00	104	135	134	68,4	107	75,6	61,8	0,175	0,206	842	33
15.00	114	144	143	67,9	116	75,7	61,8	0,166	0,196	717	40
16.00	115	147	146	68,3	117	77,2	62	0,171	0,196	432	42
17.00	114	140	140	68,3	114	75,9	62,5	0,184	0,172	272	43,4

4.9. Kirlilik Etkisinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deney Çalışma

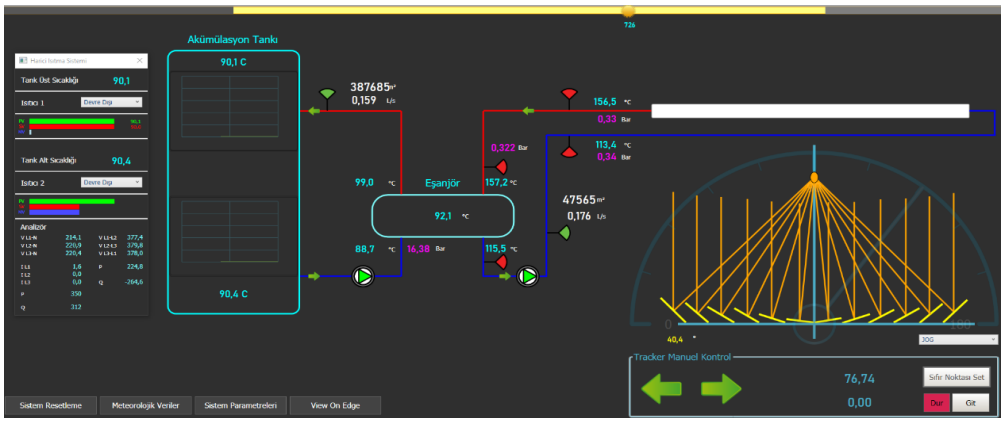
Şanlıurfa meteorolojik koşullarında kurulumu gerçekleştiren LFK sisteminde ayna yüzeyleri zamanla toz tutarak kirlenmektedir. Ayna yüzeylerinde olan kirliliğin etkisinin belirlenmesi için deney yapılmıştır. Çizelge 4.7'de aynaların kirli ve temiz iki durumu için elde edilen veriler görülmektedir.

Çizelge 4.7. LFK sistemi ayan kirli-temiz durumundan elde edilen veriler

10.08.2021-(Ayna kirli) Açık Sistem											
	Absorber		Eşanjör			Akümülasyon		Yağ Debisi l/s	Su Debisi l/s	Işınım W/m²	Referans Ayna Açısı
Saat	T giriş °C	T çıkış °C	T giriş °C	T Gövde °C	T çıkış °C	T giriş °C	T çıkış °C				
09.00	45	63	51	42	47	49	33	0,2	0,17	610	0
10.00	691	80	80	61	71	41	41	0,23	0,18	698	4,4
11.00	94	111	110	88	97	49	33	0,18	0,17	802	10,6
12.00	101	133	133	91	105	86	47	0,2	0,17	853	18
13.00	107	135	134	98	109	104	52	0,2	0,067	853	25,8
14.00	110	147	146	101	113	107	52	0,2	0,14	798	33,4
15.00	117	153	151	101	121	107	51	0,21	0,032	689	40,7
16.00	117	148	147	100	119	107	51	0,2	0,016	510	46,8
12.08.2021-(Ayna temiz) Açık Sistem											
10.00	54	66	65,5	46	56	46	31	0,19	0,14	715	4,4
11.00	95	115	114	79	97	46	30	0,2	0,16	831	11
12.00	115	148	147	99	117	102	50	0,18	0,044	877	18,1
13.00	128	177	174	96	133	105	50	0,2	0,15	881	26
14.00	130	178	178	98	137	107	51	0,19	0,016	798	34,6
15.00	127	184	181	101	137	109	51	0,12	0,017	682	41.4
16.00	136	191	184	106	140	111	52	0,12	0,045	497	47.7
17.00	125	164	161	106	133	111	50	0,12	0,042	280	53.5

4.10. Deney Verilerinin Analizi

Optik verimin hesaplanması için SCADA çıkış verileri kullanılmıştır. 30.07.2021 tarihinde alınan deney verileri Şekil 4.26.'da gösterildiği gibi absorber giriş sıcaklığı $T_{giriş}$ 113.4°C ve $T_{çıkış}$ 156.6°C , yağın debisi Ms = 0.176 l/s = 633.4 kg/sa, yağın özgül ısısı Cp = 2.639 kJ/kg.k , sistemdeki dolaşan yağın basıncı P= 0.33 bar'dır.



Şekil 4.26. 30.07.2021 saat 15:00 SCADA verileri

Optik verimin hesaplaması için öncelikle debi ve sıcaklık farkı kullanılarak alıcı emilen ışınım miktarı hesaplanmıştır.Alıcı tarafından emilen toplam enerji $\dot{Q}_a$,

$\dot{Q}_a = \dot{m}_s * C_p * \Delta T$

$\dot{Q}_a = 633.4 * 2.639 * 43.2$

$\dot{Q}_a = 72211$ kJ/sa

$\dot{Q}_a$ = 72211*0.2777

20 kW olarak hesaplanmıştır. Absorber yüzeyinde emilen ışınım, aynaların, absorberin ve ikinci reflektör muhafaza camının optik parametreleri ile birlikte intercept faktör kullanılarak optik verim, η, aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$\eta = \alpha * \rho * \tau * IC$

$$IC = \frac{20053}{0.2 * 12 * 20 * 726}$$

IC = 0.57

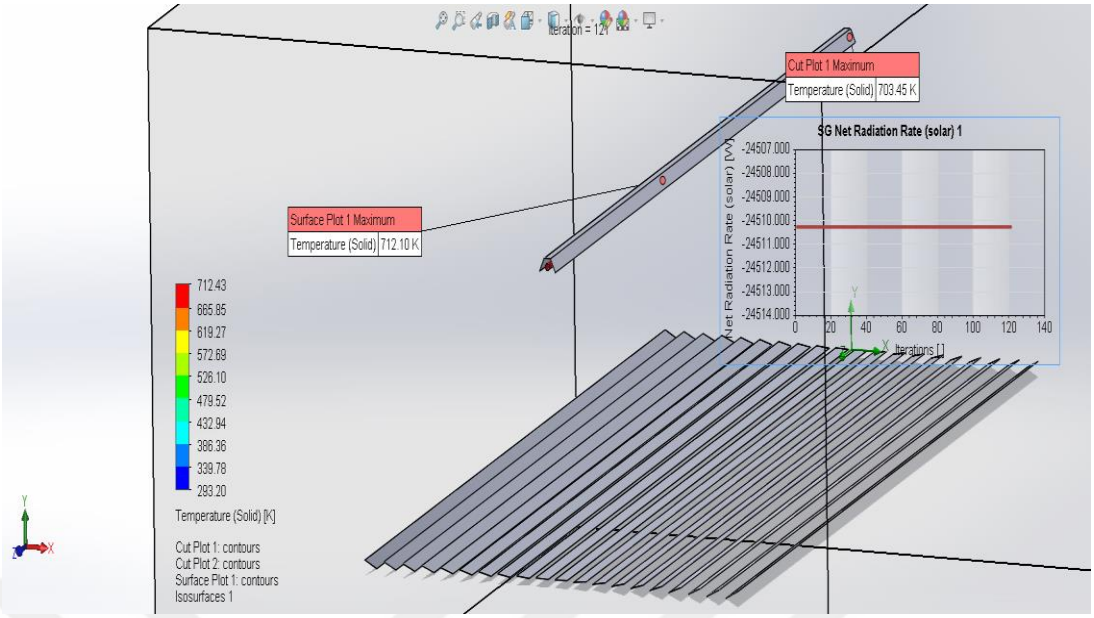
η= 0.94*0.92*0.98*0.57

***η*= 0.487 = %49**

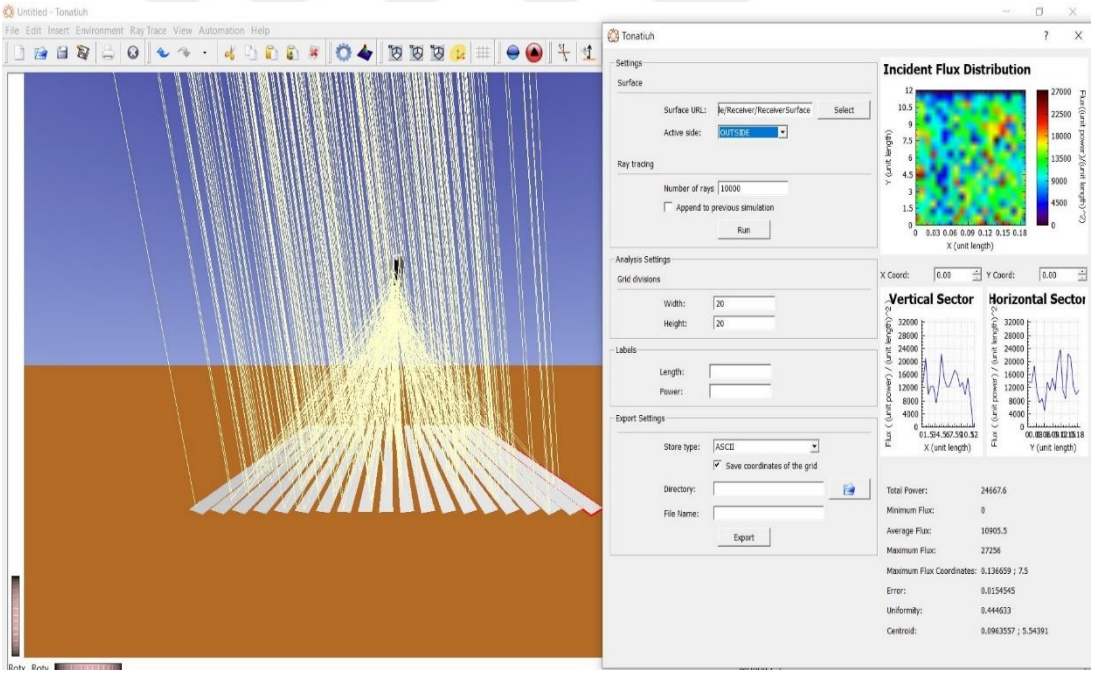
Tonatiuh analizi sonucunda Temmuz ayı için ortalama optik verim Şekil 4.18.'de yıllık analız sonucunda da görüldüğü gibi yaklaşık olarak %48 bulunmuştur. Bu sonuç deneysel sonuçlarıyla tam uyum göstermektedir.

4.11. Tonatiuh ve Solid Works Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tonatihu yazılımını doğrulamak 11 Haziran tipik günün için Solidworks programı ile bir karşılaştırma yapılmıştır. Ayna sistemin parametreleri kullanılarak güneş dik pozisyonundayiken analiz yapılmıştır. Şekil 4.28.'de ve Şekil 4.29.'da iki programın analiz sonuçları göstermektedir.



Şekil 4.28. Solidworks programında elde edilen optik analiz sonuçları



Şekil 4.29. Tonatiuh yazılımında elde edilen optik analiz sonuçları

Solidworks programında alıcıya gelen toplam güç 24510 W'dır . Tonatiuh programı ise alıcıya gelen toplam güç 24667 W'dır. Sonuç olarak hesaplanan optik analiz yaklaşık % 0.006 'lık bir fark olduğu tespit edilmiştir. Böylece Tonatiuh yazılımının güvenilir sonuçlar verdiğinden bu araştırma için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Şanlıurfa (Enlem 37.1019° - Boylam 39.016° - Rakım 510 m) meteorolojik koşullarında 20 kW ısıl gücüne sahip endüstriyel ölçekte doğrusal fresnel kollektör prototip uygulaması için sistemin optik modellemesi gerçekleştirilmiştir. Analizde, alıcı yüksekliği, ayna genişliği ve ayna sıraları arasındaki boşluk gibi kollektör parametreleri incelenmiştir.

Doğrusal fresnel kollektör sistemi analizinde kullanılan Tonatiuh programı sonuçların doğruluğunun belirlenmesinde Solid Works programı kullanılarak, her iki programdan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen optik analiz sonuçları arasında %0.006'lık bir fark olduğu tespit edilerek, kullanılan Tonatiuh yazılımının güvenilir sonuçlar verdiğinden bu araştırma için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada doğrusal fresnel kollektör sistemi için alıcının doğusunda ve batısında 10'ar adet yer almak üzere toplam 20 adet ayna serisi kullanılmıştır. 48m^2 açıklık alanına sahip düz reflektör kullanılarak, haziran ayı için maksimum optik verim %51 değerine ulaşmıştır. Absorber dairesel kesitli olup çapı 66mm ve boyu 12.4 m olarak alınmıştır. İncelenen modelde absorber yüzeyinden olan optik ve ısıl kayıpları sınırlandırmak için Trapez kesitli ikinci reflektör kullanılmıştır. Şanlıurfa için yıl içinde en iyi performans Haziran ayında bulunmuştur. Bu sistemin optik verimi %51 değerine ulaşmıştır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen prototip ön deneylerinde elde edilen sonuçlarda bu sistemin 200°C üzerinde bir sıcaklığa ulaşılacağı görülmüştür. Yıllık analiz sonuçlarında ise Kış dönemi haricinde ciddi bir potansiyel taşıdığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında, doğrusal fresnel güneş kollektörlerinin endüstride ki çeşitli uygulamalarda ihtiyaç duyulan ısıl enerjinin karşılanmasında başarılı kullanılacağına dair önemli bulgular elde edilmiştir. Bu tür sistemlerin ilk yatırım bedeli dışında işletme giderlerinin çok düşük olması sistemin en önemli avantajlarından biri olmuştur. Bu sistemlerin yaygınlaştırılarak kullanılması ile çevreye duyarlı bir yaklaşım sergilenebilecektir.

KAYNAKLAR

ABBAS, R. MARTÍNEZ-VAL, J. M. (2017). A comprehensive optical characterization of linear Fresnel collectors by means of an analytic study.Applied Energy,185, 1136-1151.https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.065

ABBAS, R., MARTÍNEZ-VAL, J. M. (2015). Analytic optical design of linear Fresnel collectors with variable widths and shifts of mirrors. Renewable Energy, 75, 81-92. https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.09.029s

ANADOLU AJANSI. (2021). Erişim 11. 09. 2021 Anadolu Ajansı https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/harran-universitesinde-yogunlastirilmis-gunes-kolektoru-gelistirildi/2361852

BARALE, G. HEİMSATH, A. NİTZ, P. TORO, A. (2010, September). Optical design of a linear Fresnel collector for Sicily. SolarPACES International Symposium Perpignan, France.https://www.researchgate.net/publication/266872853.

BARBON, A., BARBON, N., BAYON, L., AND OTERO, J. A. (2016). Optimization of the length and position of the absorber tube in small-scale Linear Fresnel Concentrators. Renewable Energy, 99, 986-995. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.070

BARBON, A., BARBÓN, N., BAYÓN, L., and SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, J. A. (2018). Parametric study of the small scale linear Fresnel reflector. Renewable Energy, 116, 64-74. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.066.

BELLOS, E. (2019). Progress in the design and the applications of linear Fresnel reflectors–A critical review. Thermal Science and Engineering Progress, 10, 112-137. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2019.01.014

BELLOS, E., TZİVANİDİS, C., PAPADOPOULOS, A. (2018). Secondary concentrator optimization of a linear Fresnel reflector using Bezier polynomial parametrization. Solar Energy, 171, 716-727. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.07.025

BELLOS, E., TZİVANİDİS, C., PAPADOPOULOS, A. (2018). Secondary concentrator optimization of a linear Fresnel reflector using Bezier polynomial parametrization. Solar Energy, 171: 716-727. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.07.025

BELTAGY, H., SEMMAR, D., & SAİD, N. (2015). Performance of medium-power Fresnel Concentrator solar plant in Algerian sites. Energy Procedia, 74, 942-951. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.725.

BELTAGY, H., SEMMAR, D., LEHAUT, C., & SAİD, N. (2017). Theoretical and experimental performance analysis of a Fresnel type solar concentrator. Renewable Energy, 101, 782-793. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.038.

BURBİDGE, D., MİLLS, D. R., MORRİSON, G. L. (2000). Stanwell solar thermal power project. In Proceedings of the 10th SolarPACES International Symposium of Solar Thermal Concentrating Technologies, Solar Thermal. 8-10. https://www.academia.edu/download/43977883/stanwell_clfr.pdf

BUSCEMİ, A., PANNO, D., CİULLA, G., BECCALİ, M., BRANO, V. L. (2018). Concrete thermal energy storage for linear Fresnel collectors: Exploiting the South Mediterranean's solar potential for agri-food processes. Energy

Conversion and Management, 166, 719-734. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.04.075

DABWAN, Y. N., & MOKHEİMER, E. M. (2017). Optimal integration of linear Fresnel reflector with gas turbine cogeneration power plant. Energy Conversion and Management, 148, 830-843. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.06.057

DE SA, A. B., PİGOZZO FİLHO, V. C., TADRİST, L., PASSOS, J. C. (2021). Experimental study of a linear Fresnel concentrator: A new procedure for optical and heat losses characterization.Energy, 121019. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121019

DE SOUZA, L. F. L., FRAİDENRAİCH, N., TİBA, C., and GORDON, J. M. (2021). Linear aplanatic Fresnel reflector for practical high-performance solar concentration. Solar Energy, 222, 259-268. https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.002

EDDHİBİ, F., AMARA, M. B., BALGHOUTHİ, M., QOAİDER, L., & GUİZANİ, A. A. (2017). Analytic optical design of a Linear Fresnel solar collector with variable parameters. Journal of Materials and Environmental Sciences, 4068-4084. http://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol11/vol11_N11/429-JMES-%203479-Eddhibi.pdf

EL FADAR, A., MİMET, A., AZZABAKH, A., PÉREZ-GARCÍA, M., AND CASTAİNG, J. (2009). Study of a new solar adsorption refrigerator powered by a parabolic trough collector. Applied Thermal Engineering, 29(5-6), 1267-1270. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.06.012

FACAO, J., and OLİVEİRA, A. C. (2011). Numerical simulation of a trapezoidal cavity receiver for a linear Fresnel solar collector concentrator. Renewable Energy, 36(1), 90-96. https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.06.003

FAMİGLİETTİ, A., LECUONA, A. (2021). Small-scale linear Fresnel collector using air as heat transfer fluid: Experimental characterization. Renewable Energy, 176, 459-474. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.048

FELDHOFF, J. F. (2012). Linear Fresnel Collectors. línea], Disponible en: http://sfera. sollab. eu/downloads/Schools/Fabian_Feldhoff_Linear_Fresnel. pdf.[Accedido: 11-mar-2019].

GALLEGO, A. J., SANCHEZ, A. J., BERENGUEL, M., CAMACHO, E. F. (2020). Adaptive UKF-based model predictive control of a Fresnel collector field. Journal of Process Control, 85, 76-90. https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2019.09.003

HACK, M., ZHU, G., & WENDELİN, T. (2017). Evaluation and comparison of an adaptive method technique for improved performance of linear Fresnel secondary designs. Applied Energy, 208, 1441-1451. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.009

HE, J., QİU, Z., Lİ, Q., ZHANG, Y. (2012). Optical design of linear Fresnel reflector solar concentrators. Energy Procedia, 14, 1960-1966. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.1194

INCROPERA, F. P., DEWİTT, D. P., BERGMAN, T. L., LAVİNE, A. S. (1996). Fundamentals of heat and mass transfer. 6. New York: Wiley. http://course.sdu.edu.cn/Download/174fae3e-0ab9-41ab-a152-81670a5a909e.pdf

INCROPERA, P., DEWİTT D.P.(2013), Fundamentals of Heat Transfer, Wiley, 1999.F.J. Pino et al. / Applied Thermal Engineering 50 1463e14711471 http://theory.uwinnipeg.ca/mod_tech/node75.html.

KALAGİROU, S. A., (2009). "Solar Energy Engineering Processes and Systems", 1st edition, Massachusetts: Elsevier.

KESKİN H., AKTACIR A.M., BEŞLI N., YILDIRIM E., IŞIKER Y., ŞAFAK M., Effect of using curved reflector in linear Fresnel collector design on system performance under meteorological conditions of ŞANLIURFA, Turkey, INESEG, 6th International Engineering, Science and Education Conferences November 04-05, 2021, Diyarbakır, Turkey.

KILIÇ, F. Ç. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. Mühendis ve Makina, 56(671), 28-40.

LAİ, Y., SONG, G., LU, M., DONG, Z., CHE, S., & MA, C. (2011, May). Thermal performance analysis of linear fresnel reflector concentrator with a compound parabolic cavity absorber. In 2011 International Conference on Materials for Renewable Energy & Environment (Vol. 1, pp. 168-172). IEEE.

MATHUR, S. S., KANDPAL, T. C., AND NEGİ, B. S. (1991). Optical design and concentration characteristics of linear Fresnel reflector solar concentrators—II. Mirror elements of equal width. Energy Conversion and Management, 31(3), 221-232. https://doi.org/10.1016/0196-8904(91)90076-U

MİLLS, D. R., LE LİEVRE, P., MORRİSON, G. L. (2004). First results from compact linear Fresnel reflector installation. Proceedings of ANZSES Solar2004. https://www.researchgate.net/publication/242170632

MİNAEİAN, A., ALEMRAJABİ, A., CHAVOSHİ, M., MOSTAFAEİPOUR, A., and SEİFİ, Z. (2020). Effect of secondary reflector on solar flux intensity and uniformity of a Fresnel concentrator. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 12(3), 033703. https://doi.org/10.1063/5.0007604

MOMENİ, S., MENBARİ, A., ALEMRAJABİ, A. A., AND MOHAMMADİ, P. (2019). Theoretical performance analysis of new class of Fresnel concentrated solar thermal collector based on parabolic reflectors. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 31, 25-33. https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.11.004

MONTENON, A. C., FYLAKTOS, N., MONTAGNİNO, F., PAREDES, F., and PAPANİCOLAS, C. N. (2017, June). Concentrated solar power in the built environment. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1850, No. 1, p. 040006). AIP Publishing LLC. https://doi.org/10.1063/1.4984402

MONTES, M. J., RUBBİA, C., ABBAS, R., and MARTÍNEZ-VAL, J. M. (2014). A comparative analysis of configurations of linear Fresnel collectors for concentrating solar power. Energy, 73, 192-203. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.010

MORİN, G., DERSCH, J., PLATZER, W., ECK, M., & HÄBERLE, A. (2012). Comparison of linear Fresnel and parabolic trough collector power plants. Solar Energy, 86(1), 1-12.https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.06.020

PAULETTA, S. (2016). A solar Fresnel collector based on an evacuated flat receiver. Energy Procedia, 101, 480-487. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.061

PİNO, F. J., CARO, R., ROSA, F., and GUERRA, J. (2013). Experimental validation of an optical and thermal model of a linear Fresnel collector system. Applied

Thermal Engineering, 50(2), 1463-1471.https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.12.020

PİNO, F. J., CARO, R., ROSA, F., and GUERRA, J. (2013). Experimental validation of an optical and thermal model of a linear Fresnel collector system. Applied Thermal Engineering, 50 (2): 1463-1471. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.12.020

PRASAD, G. C., REDDY, K. S., SUNDARARAJAN, T. (2017). Optimization of solar linear Fresnel reflector system with secondary concentrator for uniform flux distribution over absorber tube. Solar Energy,150, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.04.026

PUROHİT, I. PUROHİT, P. (2017). Technical and economic potential of concentrating solar thermal power generation in India. Renewable and sustainable energy reviews, 78: 648-667. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.059

SALLABERRY, F., PUJOL-NADAL, R., MARTÍNEZ-MOLL, V., & TORRES, J. L. (2014). Optical and thermal characterization procedure for a variable geometry concentrator: A standard approach. Renewable energy, 68, 842-852. https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.02.040

SELİG, M., & MERTİNS, M. (2010, September). From saturated to superheated direct solar steam generation—technical challenges and economical benefits. In SolarPACES 2010 Conference.

SEN, P. K., ASHUTOSH, K., BHUWANESH, K., ENGİNEER, Z., HEGDE, S., SEN, P. V., & DAVİES, P. (2013). Linear Fresnel mirror solar concentrator with tracking. Procedia Engineering, 56, 613-618.https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.167

SHARMA, V. (2014). Hourly and monthly variation in shading and blocking of aperture area in a linear Fresnel reflector field. Energy Procedia, 48, 233-241. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.028

SONG, J., MA, J., ZHAN, Z., & DAİ, Y. (2015, September). Optical analysis and optimization of the linear Fresnel collector's mirror field. In International Forum on Energy, Environment Science and Materials (IFEESM 2015)(Shenzhen, China, 2015). https://doi.org/10.2991/ifeesm-15.2015.90

ŞAFAK M., AKTACİR A.M., BEŞLİ N., YILDIRIM E., IŞIKER Y., KESKİN H., Determination of effective parameters in the design of a linear Fresnel collector for different locations, INESEG, 6th International Engineering, Science and Education Conferences November 04-05, 2021, Diyarbakır, Turkey

TÜRKYILMAZ, O., and ÖZGİRESUN, C. (2012). Türkiye'nin enerji görünümü. Enlarged 2nd edition. TMMOB-MMO (The Union of Chambers of Turkish Engineers and Architects-Chamber of Mechanical Engineers): MMO/588,, Ankara.

VELÁZQUEZ, N., GARCÍA-VALLADARES, O., SAUCEDA, D., BELTRÁN, R. (2010). Numerical simulation of a Linear Fresnel Reflector Concentrator used as direct generator in a Solar-GAX cycle. Energy Conversion and Management,51(3): 434-445. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.10.005

VOUROS, A., MATHİOULAKİS, E., PAPANİCOLAOU, E., & BELESSİOTİS, V. (2020). Performance evaluation of a linear Fresnel collector with catoptric subsets. Renewable Energy, 156, 68-83. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.062

YAKUT, M. Z., KARABUĞA, A., KABUL, A., and SELBAŞ, R. (2018). Design, energy and exergy analyses of linear fresnel reflector. In Exergetic, energetic and environmental dimensions. Academic Press 523-532. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813734-5.00029-9

YEŞİLATA, B. BULUT, H. 2011. Termal güneş enerjisi teknolojileri ve gap bölgesine yönelik fırsatlar. Mühendislik ve makine, 52:622 47-56.

ZAMBOLİN E., DELCOL D., (2010). Experimental Analysis of Thermal Performance of Flat Plate And Evacuated Tube Solar Collectors in Stationary Standard And Daily Conditions. Solar Energy Magazine, 84: 1382-1396. https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.04.020

Zambolin, E., & Del Col, D. (2010). Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions. Solar Energy, 84(8), 1382-1396. https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.04.020

ZHU, G., WENDELİN, T., WAGNER, M. J., and KUTSCHER, C. (2014). History, current state, and future of linear Fresnel concentrating solar collectors. Solar Energy, 103, 639-652. https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.05.021

ZHU, J., & CHEN, Z. (2018). Optical design of compact linear fresnel reflector systems. Solar Energy Materials and Solar Cells, 176, 239-250.https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.12.016

ZHU, Y., SHİ, J., Lİ, Y., WANG, L., HUANG, Q., and XU, G. (2017). Design and thermal performances of a scalable linear Fresnel reflector solar system. Energy Conversion and Management, 146, 174-181. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.05.031