



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Doğrusal Fresnel Yansıtıcı Tasarımı ve Optik Analizi; Şanlıurfa Örneği

Linear Fresnel Reflector Design and Optical Analysis; The case of Şanlıurfa

Yazar(lar) (Author(s)): Erdal YILDIRIM¹, M. Azmi AKTACİR²

¹ ORCID ID: 0000-0002-9309-2420

² ORCID ID: 0000-0003-2345-7815

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yıldırım E., Aktacir M. A., “Doğrusal Fresnel Yansıtıcı Tasarımı ve Optik Analizi; Şanlıurfa Örneği”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(Özel sayı): 11-21, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Doğrusal Fresnel Yansıtıcı Tasarımı ve Optik Analizi; Şanlıurfa Örneği

Erdal YILDIRIM¹, * M. Azmi AKTACIR²

¹ Harran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Şanlıurfa, erdaly@harran.edu.tr

² Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, aktacir@harran.edu.tr

Öz

Bu çalışmada Mathur metodu kullanılarak değişken ayna aralıklarına sahip bir doğrusal Fresnel yansıtıcı tasarımı yapılmıştır. Belirlenen soğurucu yüksekliğinde ve üç farklı ayna genişliğindeki kuzey-güney doğrultusunda bir Doğrusal Fresnel Yansıtıcının optimum konfigürasyonu bulunmuştur. Her bir ayna genişliğine ait tasarımda aynı alana sahip düz ve silindirik soğurucuların etkisi incelenmiştir. Analizde kullanılan ışınım değerleri ASHRAE metodu kullanılarak Şanlıurfa için hesaplanmıştır. Analiz sonucunda, 42.44 yoğunlaştırma oranında, silindirik soğurucu tipli bir doğrusal Fresnel yansıtıcıyla yaz aylarında ortalama 5.2 kWh, ilkbaharda 3.2 kWh ve kış aylarında 1.2 kWh'lık enerji toplamının mümkün olduğu görülmüştür.

Makale Bilgisi

Başvuru: 07/12/2020
Yayın: 01/11/2021

Anahtar Kelimeler

Doğrusal Fresnel
yansıtıcı Engel faktörü
Şanlıurfa

Keywords

Linear Fresnel reflector
Intercept factor
Şanlıurfa

Linear Fresnel Reflector Design and Optical Analysis; The case of Şanlıurfa

Abstract

In this study, a Linear Fresnel Reflector design with variable mirror spacing is carried out with using Mathur method. The optimum configuration of a linear Fresnel reflector in the North-south direction of the specified absorber height and three different mirror widths was found. The effect of flat and cylindrical absorbers with same area for each mirror width design was examined. The radiation values used in the analysis were calculated for Şanlıurfa using the Ashrae method. As a result of the analysis, it was seen that it was possible to collect an average of 5.2 kWh in summer, 3.2 kWh in Spring and 1.2 kWh in Winter with a cylindrical absorber type Linear Fresnel Reflector at a concentration of 42.44.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde fosil yakıtlara dayalı olan enerji tüketiminin iklim değişikliği başta olmak üzere çevreye olumsuz etkileri olmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için fosil yakıt kullanımının sınırlandırılarak bunun yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının özendirilmesi gerekir. Dünyada son yıllarda enerji yatırımlarında fosil yakıtlara göre yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının giderek arttığı görülmektedir. Yatırımlar içinde en yüksek yatırım, rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklarına olmaktadır. Rüzgar enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üretimi yapılırken güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretiminin yanı sıra ısı uygulamalar için ısıtma/soğutma elde edilmektedir. Güneş enerjisi ısı uygulamalarında 100 °C'nin altındaki sıcaklıklar için düzlemsel ve vakum tüplü kolektörler kullanılarak sıcak akışkan üretilmektedir. Sıcak akışkan üretiminde yüksek sıcaklık uygulamalarında ise yoğunlaştırılmış tip güneş kolektörleri kullanılmaktadır. Parabolik çukur, parabolik oluk ve doğrusal Fresnel tipi kolektörlerde yüzeye düşen güneş enerjisinin soğurucu elemana yönlendirmesiyle yüksek sıcaklıklar elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bu kolektörler arasında basitliği ve maliyetindeki ucuzluk sebebiyle doğrusal Fresnel tipi kolektörler ön plana çıkmaktadır. Bu tip kolektörlerde alt yüzeyde çok sayıda doğrusal ve birbirine paralel olarak yerleştirilen aynalar kullanılarak güneş radyasyonu üst tarafta bulunan alıcıya gönderilir. Böylece yüksek güneş radyasyonuna maruz kalan soğurucu tüp içerisinde dolaştırılan ısı transfer akışkanına ısı aktarımı sağlanarak akışkan sıcaklığı yükseltilmiş olur.

*İletişim yazarı, e-mail: erdaly@harran.edu.tr

Bu çalışma, 05-06 Kasım 2020 tarihlerinde gerçekleştirilen GAPYENEV Uluslararası Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Kongresi'nde sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

Literatürde doğrusal Fresnel güneş sistemleri ile ilgili deneysel, sayısal ve simülasyon çalışmaları bulunmaktadır. LFR (doğrusal Fresnel yansıtıcılar) konusunda yapılmış deneysel çalışmalardan [1]'de düz plakalı soğuruculu doğrusal Fresnel güneş kolektörü deneysel olarak ve Solidworks Flow Simulation kullanılarak da sayısal olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın ana hedefi kolektörün ısı, optik ve ekserjetik performansının değişik çalışma koşullarında incelenmesidir. Geliştirilen model deneysel verilerle doğrulanmış ve bu aşamadan sonra güneş kolektör modeli değişik akışkan sıcaklık seviyeleri ve güneş ışınımı geliş açısına göre incelenmiştir. Termal yağ kullanılması durumunda kolektörün orta sıcaklık seviyelerindeki performansı simülasyon ile incelenmiştir. Deneyler akışkan olarak 100 °C'ye kadar düşük sıcaklıktaki su ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar güneş kolektörünün yazın 8,5 kWh, ilkbaharda 5,3 kWh ve kışın 2,9 kWh kullanılabilir ısı ürettiğini göstermiştir. Akışkan olarak yağ kullanılması durumunda ise sıcaklık 250 °C'ye ulaşmaktadır. [2]'de ise 70-110 °C sıcaklık aralığında, su ısıtmak ve buhar üretmek amacıyla bir modüler doğrusal Fresnel yansıtıcı güneş yoğunlaştırıcısı geliştirmek amaçlanmıştır. Basit matematiksel metot kullanılarak yansıtıcı elemanların birbirlerini gölgelemelerini engellemek amacıyla aralarındaki mesafe ve açılar bulunmuştur. Silindirik cusp-type reflektör kullanılmıştır ve bu güneş yoğunlaştırıcısının performansı değerlendirilmiştir. Optik verimi %54 olarak hesaplanmıştır. Yoğunlaştırıcının en yüksek ısı performansı ise %45 olarak bulunmuştur. [3]'de dört eşdeğer ikizkenar yamuk şeklinde boşluklu soğuruculu doğrusal Fresnel güneş yansıtıcı incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Soğurucular prototip Fresnel güneş yansıtıcı ile çalışmak üzere tasarlanmıştır. İkizkenar yamuk boşluğa dikdörtgen ve silindirik borular soğurucu olarak yerleştirilmiştir. Soğurucu borular ve siyah boya ve siyah nikel seçici yüzeyle kaplanmıştır. Bu Fresnel yansıtıcı yoğunlaştırıcı her bir durumdaki soğurucu tipi için değişik yoğunlaştırma oranlarında deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma, yoğunlaştırma oranının ve soğurucunun seçici yüzeyinin ısı verimi etkilediğini göstermiştir. Isıl verim Fresnel yansıtıcı yoğunlaştırıcıların yoğunlaştırma oranının artmasıyla birlikte azalmaktadır. Seçici yüzey kaplı soğurucunun ısı performansı ise siyah boya ile kaplı soğurucudan daha iyi sonuç vermiştir. Silindir şeklindeki soğurucuların dikdörtgen kesitli borulara göre güneş enerjisini emecek daha fazla yüzey alanı olduğu görülmüştür. Silindir borulu soğurucuların ısı performansları dikdörtgen kesitli soğuruculara göre %8 daha yüksektir. [4] 'te doğrusal Fresnel yansıtıcının güneş enerji dönüştürücü olarak su ısıtmadaki ısı performansı incelenmiştir. Cezayirde, 2015 yılı kışında gerçekleştirilen deneyde, musluk suyu ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanılmış ve aynı iklim şartları için yapılmış sayısal simülasyonun doğrulanması hedeflenmiştir. Isıl verim %29 olarak bulunmuştur. Deneysel ve sayısal sonuçlar büyük oranda uygunluk göstermiş ve su sıcaklığı 347 K 'a ulaşmıştır. [5]'te doğrusal Fresnel yansıtıcı deneysel olarak incelenmiştir. Güneş takip sistemi sayesinde maksimum güneş ışınımı elde etmek için aynaların konumu ayarlanabilmiştir. Çalışma akışkanı olarak su kullanılmıştır. 2012 Ağustos ayında Isparta'da gerçekleştirilen deneyde ısı verim %34,1 olarak bulunmuştur. [6]'da ise doğrusal Fresnel yansıtıcının geometrisinin verime etkisini incelemek amacıyla bir tasarım metodu sunulmuştur. Önerilen yaklaşım ışın takip ve Monte Carlo metodunun kombinasyonu olan optik bir modellemeye dayanmaktadır. Bu metot ile geometrik parametrelerin değişiminin alıcıda toplanan güneş enerjisi üzerindeki etkisi ve kayıp mekanizmalarının simülasyonu değerlendirilmiştir. Tipik Tunus meteorolojik şartlarında çalışılmıştır. Optimize edilen prototipin yoğunlaştırma oranı %37,5'tir. Optik verimler kış için %40 ve yaz için %70 bulunmuştur.

Yukarıda değinilen deneysel çalışmaların yanı sıra doğrusal Fresnel yansıtıcıların teorik ve simülasyona dayanan analizlerini içeren çalışmalar da mevcuttur. [7]'de ışın takip sistemi ve geometrik analiz kullanılarak kuzey-güney doğrultusundaki doğrusal Fresnel güneş yoğunlaştırıcıları için yeni bir tasarım metodu sunulmuştur. Bu metot sabit veya değişken ayna genişliklerine, değişik yüksekliklerdeki soğurucu için uygulanabilmektedir. Ayrıca ayna elemanlarının verimleri incelenmiş ve değişik açılarda verimleri hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda her iki taraftaki son aynanın merkezi ile merkez çizgi arasındaki mesafenin soğurucu yüksekliğine oranının 0,9 ile 1,2 arasında olması önerilmiştir. [8]'de küçük ölçekli doğrusal Fresnel yansıtıcının enine ve boyuna parametrelerinin performansa etkisi incelenmiştir. Bu çalışmanın temel amacı alıcı yüksekliği, ayna uzunluğu ve genişliği gibi tasarım parametrelerinin soğurucu tarafından emilen enerji üzerindeki etkisinin gösterilmesidir. Sayısal simülasyonlar alıcı yüksekliğinin, ayna uzunluk ve genişliğinin emilen enerji üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu göstermiştir. Ayna genişliğindeki %30'luk azalma emilen enerjide %59'luk maksimum bir azalmaya, alıcı yüksekliğindeki %30'luk artış emilen enerjide maksimum %8'lik bir artışa ve ayna uzunluğundaki %30'luk artış ise emilen enerjide maksimum %24'lük bir artışa sebep olmaktadır. [9]'da çatı üstü doğrusal Fresnel yansıtıcının tasarlanması hedeflenmiştir. Düzlemsel güneş kolektörü gibi üretimi ve kurulumu kolay orta seviye sıcaklık

ortamı ihtiyacını karşılayacak çatı üstü doğrusal Fresnel yansıtıcı tasarımı incelenmiştir. Pro-E modelleme aygıtı kullanılarak 2D ve 3D görüntüleri oluşturulmuştur. [10]'da detaylı bir optik verim simülasyonu için proses ısı uygulamalarının performans değerlendirmesi ve model sadeleştirmeleri, tam ışın takip sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Optik kayıp faktörleri değerlendirilerek uç kayıpları (end-loss) için düzeltici bir fonksiyon önerilmiştir. [11]'de maksimum verimliliği elde etmek için tasarım optimizasyonu için kullanılacak sayısal bir model sunulmaktadır. Belirlenen bir tasarım için bir yıllık simülasyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Geliş Açısı Değiştiricisi (IAM) ve akışkan kütleli debisi ve giriş sıcaklığı gibi çalışma parametrelerinin doğrusal Fresnel yansıtıcının ısı performansını üzerindeki etkisini göstermektedir. Teorik bir model kullanılarak yapılan çalışma [12]'de dikey soğurucular açısından yansıtıcı genişliklerinin doğrusal Fresnel yansıtıcı performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak yoğunlaştırma oranı açısından eni değişken doğrusal Fresnel yansıtıcı daha iyi performans göstermişlerdir.

Bu çalışmada kuzey-güney doğrultusundaki bir doğrusal Fresnel yansıtıcı tasarımı hem silindirik hem de düzlemsel soğurucu tipi için incelenmiştir. Belirlenen odak yüksekliği için Mathur metodu kullanılarak üç farklı ayna genişliğinde her bir aynanın optimum pozisyonu belirlenerek optik analiz gerçekleştirilmiştir. Şanlıurfa meteorolojik koşullarında saatlik direkt ışınım değerleri ASHRAE metoduna göre hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra, soğurucuya ulaşan ışınım miktarını hesaplamak için açık kodlu bir program olan Tonatiuh programı kullanılmıştır. Bu işlemlerin sonunda, LFR'nin optik verimi ve yoğunlaştırma oranları bulunarak performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

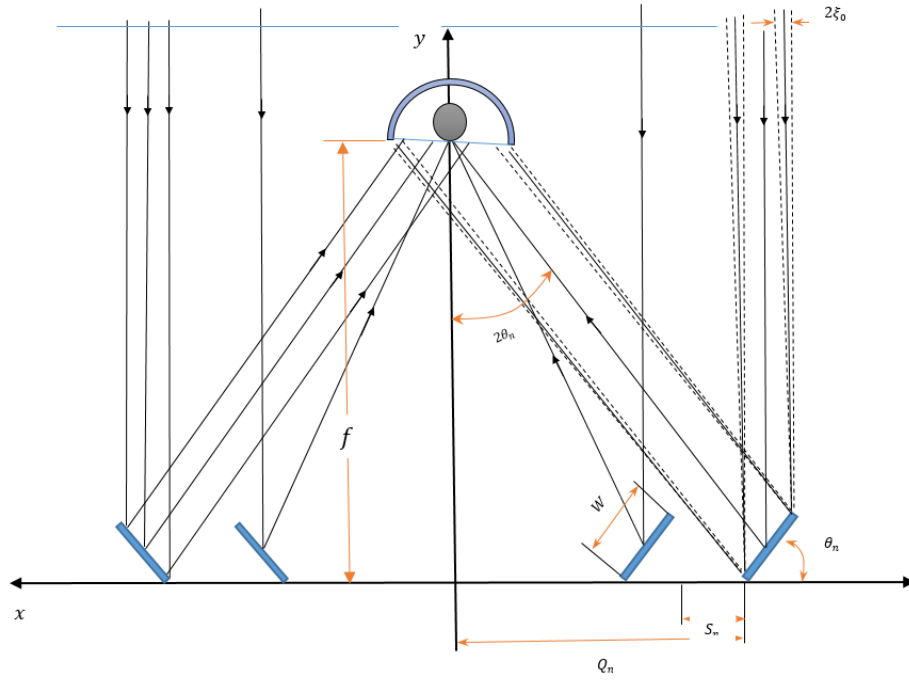
Şekil 1 'de bir doğrusal Fresnel yansıtıcı ve soğurucunun şematik olarak kesit alanı gösterilmektedir. Aynalar sabit genişliktelerdir (W). Soğurucunun yerden yüksekliği f ile gösterilmiştir. Her bir ayna üç parametre ile tanımlanmıştır; Q_n konumu, θ_n eğimi ve S_n ise bir önceki ayna ile arasındaki mesafedir. Bu parametrelerin hesaplanması için gerekli ifadeler aşağıdaki gibidir [3];

$$\theta_n = 1/2 \tan^{-1} \left[\frac{Q_n + (W/2) \cdot \cos \theta_{n-1}}{f - (W/2) \cdot \sin \theta_{n-1}} \right] \quad (1)$$

$$S_n = W \cdot \sin \theta_{n-1} \cdot \tan (2\theta_n + \xi_0) \quad (2)$$

$$Q_n = Q_{n-1} + W \cdot \cos \theta_{n-1} + S_n \quad (3)$$

$\xi_0 = 16'$, güneşin dünya üzerinde herhangi bir yerdeki açısal uzantısıdır. İterasyon için başlangıç değerleri; $\theta_0 = 0$, $S_1 = 0$, $Q_0 = -W/2$, $Q_1 = W/2$ 'dir ve $n=1,2,3, \dots, m$ her bir taraftaki ayna sayısıdır.



Şekil 1. Doğrusal Fresnel yansıtıcının şematik gösterimi

Fresnel yansıtıcının yerel yoğunlaştırma oranı (YYO) bulunurken bütün aynaların yoğunlaştırmaya katkısı toplanarak bulunur. Her bir aynanın soğurucu üzerindeki yerel yoğunlaştırma oranına katkısı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$YYO_n = 2 \sum_{n=1}^{n=m} W \cos \theta_n / (U_n + D_n + I_n) \quad (4)$$

Yansıtılan ışınların soğurucu üzerindeki genişlikleri ise aşağıda ki ifadeler kullanılarak hesaplanır,

$$U_n = [(f - W \cdot \sin \theta_n) \sec 2\theta_n \cdot \sin \xi_0] / [\cos (2\theta_n - \xi_0)] \quad (5)$$

$$D_n = [W \cdot \cos \theta_n \cdot \sec 2\theta_n] \quad (6)$$

$$I_n = [f \cdot \sec 2\theta_n \cdot \sin \xi_0] / [\cos (2\theta_n - \xi_0)] \quad (7)$$

2.1. SOĞURUCUDA EMİLEN GÜNEŞ ENERJİSİ (ABSORBED SOLAR ENERGY)

Doğrusal Fresnel yansıtıcının soğurucusunda emilen toplam güneş enerjisi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır [8];

$$Q = DNI \cdot \eta_{opt} \cdot A_r \cdot \eta_{uç} \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemde DNI direkt normal ışınım, η_{opt} optik verim, GAD geliş açısı düzenleyici, A doğrusal Fresnel yansıtıcının toplam alanı, $\eta_{uç}$ uç kaybı verimidir.

2.2. DİREKT NORMAL IŞINIMIN HESAPLANMASI (CALCULATION OF DIRECT NORMAL RADIATION)

Açık gökyüzünden geçen direkt normal ışınımın hesaplanması için [13]'de önerilen metot standart atmosfer ve dört iklim tipi için zenit açısı ve rakımı dikkate almaktadır. Direkt normal ışınım için atmosferik geçirgenlik aşağıdaki verilen formdadır,

$$\tau_b = a_0 + a_1 \cdot \exp(-k/\cos \theta_z) \quad (9)$$

a_0 , a_1 ve k katsayıları 2,5 km'den küçük rakımlar için a_0^* , a_1^* ve k^* değerleri kullanılarak bulunur,

$$a_0^* = 0,4237 - 0,00821 * (6 - A)^2 \quad (10)$$

$$a_1^* = 0,5055 + 0,00595 * (6,5 - A)^2 \quad (11)$$

$$k = 0,2711 + 0,01858 * (2,5 - A)^2 \quad (12)$$

Yukarıdaki denklemlerdeki A rakımdır ve birimi km 'dir. Eşitlik (10-11)'e iklim tipine göre değişen doğrulama faktörleri uygulanmaktadır, $r_0 = a_0/a_0^*$, $r_1 = a_1/a_1^*$, $r_k = a_0/a_1^*$. Eşitlik (9)'daki θ_z zenit açısıdır,

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta \quad (13)$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Eşitlik (13)'de kullanılan ϕ , yerleşim yerinin enlemini ifade eder. Ekvatorun kuzeyinin ve güneyinin açılal yeridir. Kuzey için pozitif değer alır ve $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ aralığında değişir. Şanlıurfa için bu değer $37,1^\circ N$ 'dir. ω ise saat açısıdır. Dünyanın kendi etrafında saatte 15° lik açıyla dönmesinden dolayı güneşin yerel meridyenin batısı ve doğusuna göre yer değişimidir. Sabah eksi, öğleden sonra artı değeri alır. δ ise deklinasyon açısıdır. Matematiksel olarak;

$$\delta = 23,45 \sin[360((284 + n)/365)] \quad (14)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. n gün numarasıdır, örneğin yılın ilk ($n=1$ Ocak Ayının 1.) günüdür. Bir saatlik periyot için direkt normal ışınım,

$$DNI = I_o \cdot \tau_b \cdot \cos \theta_z \quad (15)$$

şeklindedir. I_o dünya dışı ışınımıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$I_o = (1367) * \left(1 + 0,033 * \cos\left(360 * n/365\right)\right) \quad (16)$$

2.3. OPTİK VERİM (OPTICAL EFFICIENCY)

Optik verim soğurucu yüzeye gelen güneş ışınımı miktarının kolektör açıklık alanına düşen güneş ışınım miktarına oranıdır. Kolektör açıklık alanı ise toplam ayna alanının yatay yüzeye olan izdüşümüdür. Optik verim aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\eta_{opt} = \gamma_0 \cdot \rho \cdot \tau_0 \cdot \alpha_0 \cdot K \quad (17)$$

Eşitlik (17)'deki γ_0 engel faktörüdür ve yansıtılan güneş ışınının soğurucu yüzeye çarpma oranını tanımlar. τ_0 ve α_0 sırasıyla soğurucu korumasının geçirgenliği ve soğurucunun emiciliğini ifade eder. ρ ise aynaların yansıtıcılığıdır.

K geliş açısı düzelticisidir ve güneş ışınlarının geliş açılarındaki değişimden dolayı optik performansındaki değişimi gösterir. K 'nın hesaplanması için [8]'de önerilen hesaplama metodu kullanılmıştır. Güneşin doğrusal Fresnel yansıtıcıya göre hareketini tanımlayan parametreleri belirlemek istediğimizde öncelikle güneşin yükseklik açısını gösteren α_s bulmamız gerekir. Yükseklik açısı (α_s), deklinasyon (δ), enlem (φ) ve saat açısının (ω) bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$\alpha_s = \arcsin(\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega) \quad (18)$$

Kuzey yarım küre için güneşin azimut açısı (γ_s),

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \cdot \arccos\left[\frac{\sin \alpha_s \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha_s \cdot \cos \phi}\right] \quad (19)$$

eşitliği ile hesaplanır. $\text{sign}(\omega)$ için öğleden önce $\omega < 0$ ve öğleden sonra $\omega > 0$ 'dır.

LFR kuzey-güney doğrultusunda olması durumunda güneş ışınımı geliş açısını iki düzlemde hesaplanırsa; θ_t enine geliş açısıdır ve θ_l boyuna geliş açısıdır. θ_t dikey ile güneş ışınının doğu-batı düzlemindeki izdüşümü arasındaki açıdır. θ_l dikey ile güneş ışınının kuzey-güney düzlemindeki izdüşümü arasındaki açıdır. θ_l ve θ_t açıları aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır,

$$\theta_l = \arctan\left(\frac{\sin \gamma_s}{\tan \alpha_s}\right) \quad (20)$$

$$\theta_t = \arctan\left(\frac{\cos \gamma_s}{\tan \alpha_s}\right) \quad (21)$$

θ_i güneş ışını geliş açısı ile ayna normali arasındaki açıdır. θ_i ile takip açısı (ψ) arasındaki ilişki,

$$\theta_i = \psi + \theta_t \quad (22)$$

şeklindedir. Soğurucunun her bir tarafında n tane ayna olması durumunda, her bir aynanın geliş açısı düzelticisi aşağıdaki formülle hesaplanır,

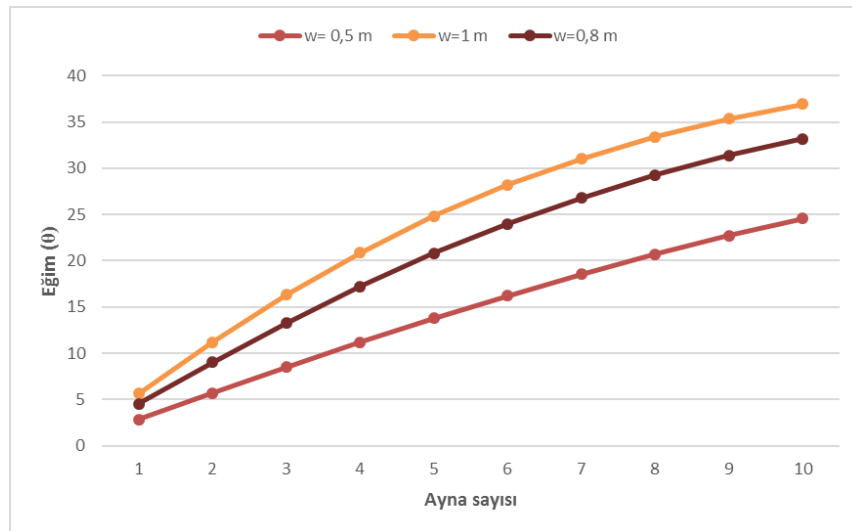
$$K_i = \cos \theta_i \quad ; 1 \leq i \leq 2n \quad (23)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Tasarıma başlama değerleri, 0,06 m çapında ve 5 m boyunda silindirik soğurucu seçilmiş, odak yüksekliği 5 m ve toplam ayna alanı 40 m² olacak şekilde kabul edilmiştir. Tablo 1’de tasarım parametreleri gösterilmektedir. 0,5 m, 0,8 m ve 1 m genişliğindeki üç farklı ayna için analizler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Tasarım Parametreleri

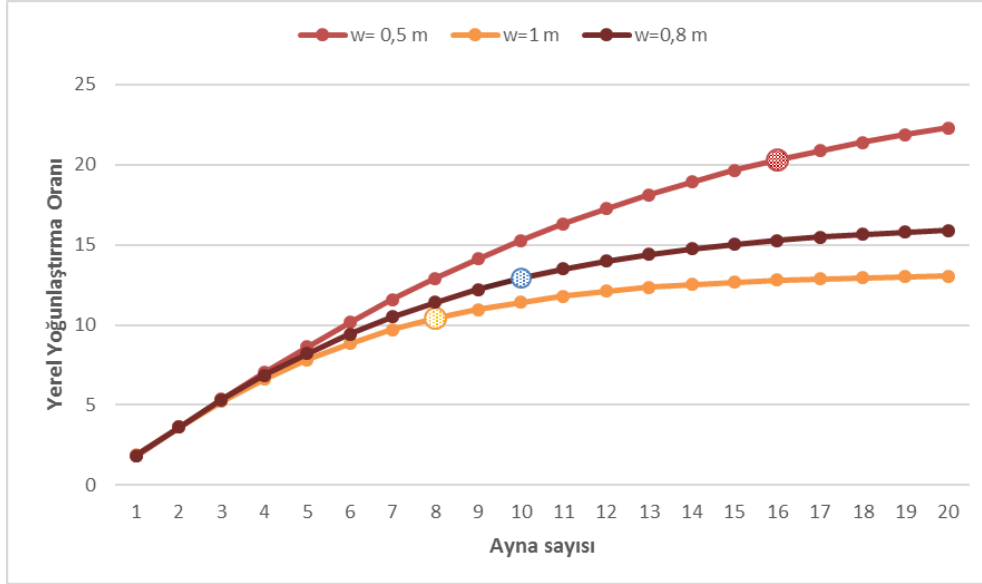
Silindir tipi yoğunlaştırıcı çapı	0,06 m
Odak yüksekliği (f)	5 m
Soğurucu uzunluğu	5 m
Yoğunlaştırma oranı	42,44
Ayna netlik faktörü (CI)	0,96
Ayna reflektansı (ρ)	0,94
Soğurucu emiciliği (α)	0,9



Şekil 2. Farklı ayna genişliklerinde ayna sayısına göre eğimin değişimi

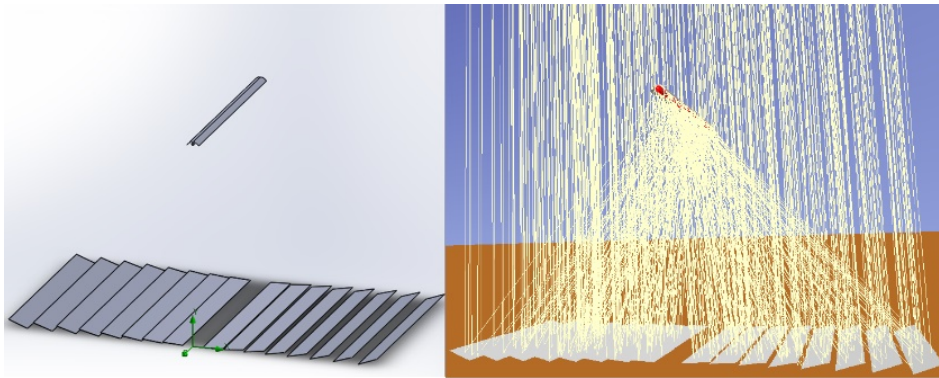
Şekil 2’de seçilen üç farklı ayna genişliğinde ayna sayısı ile birlikte değişen ayna açıları görülmektedir. Seçilen her bir ayna genişliği için aynaların konumu, eğimi ve ise bir önceki ayna ile arasındaki mesafe Denklem (1) (2) ve (3) kullanılarak hesaplanmıştır.

Her üç ayna genişliği için de ayna sayısının artmasıyla birlikte eğim de artmaktadır. Ayna eninin artmasıyla belirli ayna için eğim de artmaktadır, örneğin 10. ayna için 0,5 m genişliğindeki aynanın eğimi $24,56^\circ$ ve soğurucuya göre konumu 5,43 m iken 1 m genişliğindeki aynanın eğimi $36,94^\circ$ ve konumu 15,89 m'dir. Ayna eğiminin artması yansıtıcı yüzeyin ($w \cdot \cos \theta$) azalmasına neden olmaktadır.

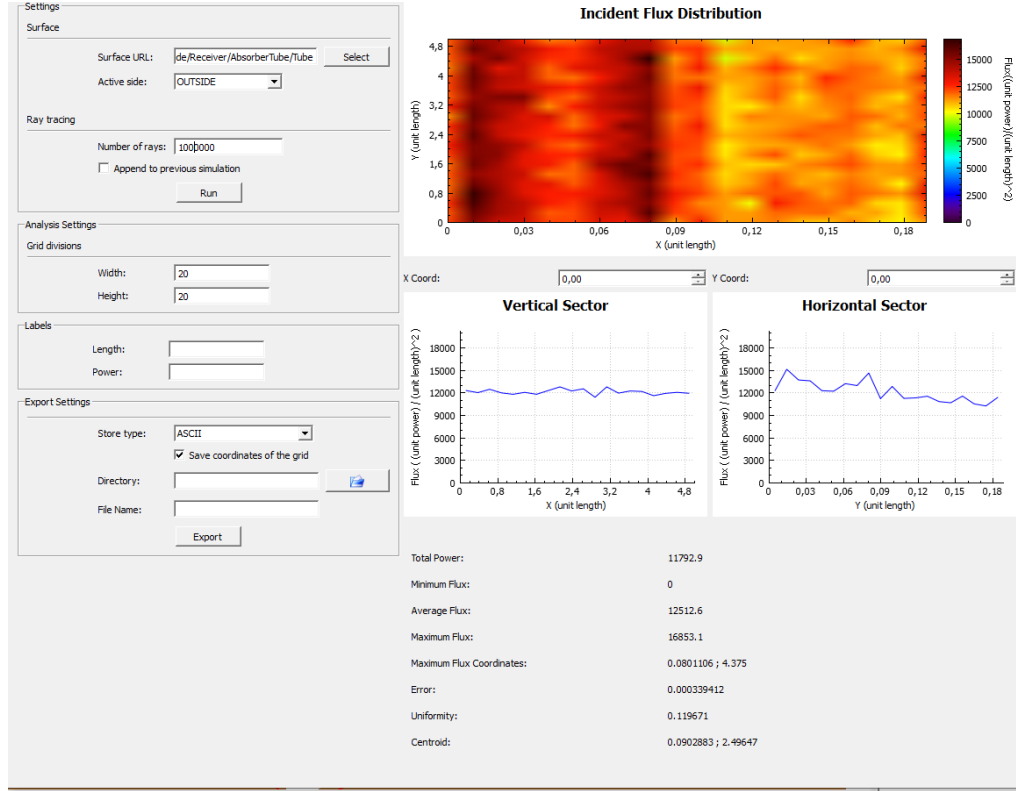


Şekil 3. Farklı ayna genişliklerinde ayna sayısıyla birlikte değişen yerel yoğunlaştırma oranı

Farklı ayna genişliklerinde ayna sayısının değişimiyle birlikte yerel yoğunlaştırma oranının değişimi Şekilde 3'de gösterilmiştir. Denklem (4)-(7) kullanılarak her bir aynanın yoğunlaştırmaya katkısı hesaplanmış ve toplamları bulunmuştur. 4. aynaya kadar bu üç farklı genişlikteki aynaların yerel yoğunlaştırma oranları hemen hemen aynı iken eni en az olan aynanın ($w=0,5$ m) yerel yoğunlaştırma oranının ayna sayısının artmasıyla birlikte daha fazla arttığı görülmektedir. 20 ayna için eni 0,5 olan aynanın yerel yoğunlaştırma oranı 22,3 iken, enleri 0,8 m ve 1m olan aynaların yerel yoğunlaştırma oranları sırasıyla 15,9 ve 13,1'dir. Bunun temel nedeni Şekil 2'de görüldüğü üzere geniş aynanın daha büyük eğimlere sahip olması ve bu sebeple yansıtıcı yüzeyin ($w \cdot \cos \theta$) daha az olmasıdır. Bu üç farklı genişlikteki aynaları karşılaştırabilmek için tasarım kriterimiz olan 40 m^2 'lik alanda sınırlı tutarak ayna sayısını belirlemek gereklidir. Tasarımımızda, bu sabit alan için toplam 8 adet 1 m eninde ayna veya 10 adet 0,8 m eninde ayna veya 16 adet 0,5 m eninde ayna kullanılabilir. Şekil 3'de açıkça göstermektedir ki en verimli konfigürasyon 0,5 m eninde 16 adet aynanın kullanılmasıdır. Bu durumda 20,3 yerel yoğunlaştırma oranına ulaşılmaktadır.



Şekil 4. Tasarlanan model ve 0° 'lik geliş açısı için soğurucuya düşen ışınlar.

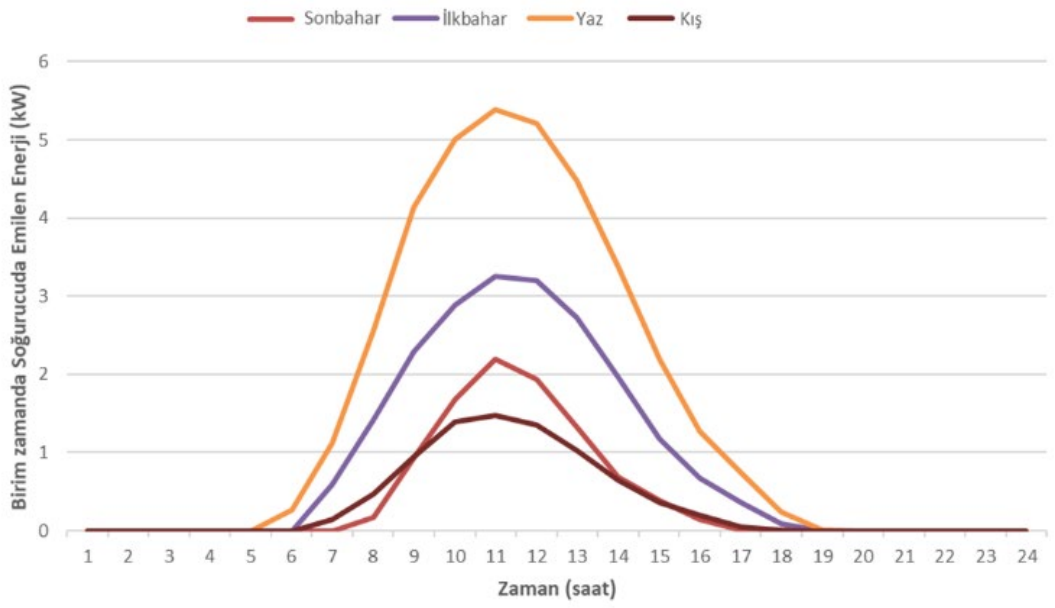


Şekil 5. Tonatiuh programında 0° 'lik geliş açısı için soğurucu üzerindeki akı dağılımı analizi

Şekil 4'de her bir ayna eni 0,5 m olan ve toplam 18 aynadan oluşan sistemin tasarımı ve 0° 'lik geliş açısı için soğurucuya düşen ışınlar görülmektedir. Denklem 9-14 kullanılarak saatlik ortalama direk normal ışınım değerleri bulunmuştur. Hesaplamalar sonucunda, Şanlıurfa için maksimum ışınım 162. Gün saat 12'de 860 W/m^2 olarak bulunmuştur. Bu değer Tonatiuh'da güneş ışınım değeri olarak girilmiş ve geliş açısı 0° olarak kabul edilmiştir. Ayna netlik faktörü, ayna netlik faktörü ve soğurucu emiciliği için Tablo1'de verilen değerler kabul edilmiştir. Bu aşamada her bir ayna genişliği için hem silindirik soğurucu hem de aynı soğurucu yüzey alanına sahip düz soğurucu için Tonatiuh'da analiz yapılmıştır. Şekil 5'te Tonatiuh programında 0° 'lik geliş açısı için soğurucu üzerindeki akı dağılımı analizi gösterilmektedir.

Tablo 2. Düz ve silindirik soğurucu tasarımlarına göre engel faktörleri

Soğurucu Tipi	Ayna Genişliği	Soğurucu birim alanında emilen ortalama Güneş Işını (W/m^2)	Engel faktörü
Düz	0,5 m	9847,69	0,34
Silindir		9119,03	0,28
Düz	0,8 m	6200,96	0,22
Silindir		5835,15	0,17
Düz	1 m	4980,42	0,17
Silindir		4250,61	0,13



Şekil 6. Soğurucu yüzeyinde mevsimlere göre birim zamanda emilen güneş ışınımı

Şekil 6’te LFR silindirik soğurucu tarafından emilen güneş ışınımının mevsimlik ortalamaları verilmiştir. En yüksek ışınım 162. Gün saat 12’de gerçekleşmiş ve 6,09 kW ışınım soğurucuya ulaşmıştır. Aynı soğurucu yüzey alanına sahip ama düz soğurucu kullanıldığında birim alana ulaşan ışınım 9847,69 kW/m² yükselmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Kuzey-güney doğrultusunda bir LFR tasarımı için literatürde mevcut olan Mathur’s metodu kullanılarak belirli soğurucu yüksekliğinde ve ayna genişliğindeki optimum konfigürasyon belirlenmiştir. Bununla birlikte odakta elde edilecek maksimum ışınımın hesaplanması için Tonatiuh programı simülasyonundan yararlanılmıştır. LFR tasarımında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Şanlıurfa iklim şartlarında 40 m²’lik ayna alanı, 0,5 m ayna genişliği, 5 m odak yüksekliği ve 42,44 yoğunlaştırma oranında yaz ayları için ortalama 5,2 kWh, ilkbahar 3,2 kWh ve kış aylarında 1.2 kWh’lık enerji toplamak mümkündür.
- Seçilen odak yüksekliğinde ayna genişliği arttıkça soğurucuda ulaşılacak yerel yoğunlaştırma oranı azalmaktadır.
- Yansıtılan güneş ışınımının soğurucu yüzeye çarpma oranını belirleyen engel faktörü tasarımlar için önem taşımaktadır ve literatürde mevcut değer bulunmadığından bilgisayar simülasyonu ile hesaplanabilmiştir.
- Soğurucu formu silindirik veya düz olmasına bağlı olarak ulaşabilecek maksimum sıcaklık değişimi olasıdır. Silindirik soğurucuda maksimum sıcaklık yüksek iken yüzeye ulaşan ışınım düz soğurucuya nazaran daha az olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK 118M143 nolu, “Yenilikçi Yerli Endüstriyel Ölçekte Fresnel Kolektör Geliştirilmesi ve Prototip Üretimi” adlı projenin dolaylı olarak sağladığı destekle tamamlanmış olup yazarlar TÜBİTAK’a teşekkürü bir borç bilirler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] E. Bellos, E. Mathioulakis, C.Tzivanidis, V. Belessiotis, K. A. Antonopoulos, Experimental and numerical investigation of a linear Fresnel solar collector with flat plate receiver. *Energy Conversion and Management*,130, 2016, Pages 44-59, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.10.041>.
- [2] O. A. Jaramillo, J. O. Aguilar, R. Castrejón-García, and N. Velázquez, A Modular Linear Fresnel Reflecting Solar Concentrator for Low-Enthalpy. Processes, in *Renewable Energy in the Service of Mankind Vol II*, Springer, Cham, pp. 949–960, 2016
- [3] L. S. Panna, R.M. Sarviya, J.L. Bhagoria, Thermal performance of linear Fresnel reflecting solar concentrator with trapezoidal cavity absorbers. *Applied Energy*, Volume 87, Issue 2, 2010, Pages 541-550
- [4] G. Mokhtar, B. Boussad, S. Noureddine, A linear Fresnel reflector as a solar system for heating water: Theoretical and experimental study. *Case Studies in Thermal Engineering*, Volume 8, 2016, Pages 176-186, ISSN 2214-157X, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2016.06.006>.
- [5] İ. Dostucok, R. Selbas, A. Sahin, Experimental investigation of a linear Fresnel collector system. *J. Therm. Sci. Technol.* 34, 2014, 77-83.
- [6] F. Eddhibi, M. Ben Amara, M. Balghouthi, L. Qoaidar, A.A., Guizani, Analytic optical design of a Linear Fresnel solar collector with variable parameters, *Journal of Materials and Environmental Sciences*. 2017 Volume 8, Issue 11, Page 4068-4084
- [7] J. He, Z. Qiu, Q. Li, Y. Zhang, Optical Design of Linear Fresnel Reflector Solar Concentrators. *Energy Procedia*, Volume 14, 2012, Pages 1960-1966, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.1194>.
- [8] A. Barbón, N. Barbón, L. Bayón, J.A. Sánchez-Rodríguez, Parametric study of the small scale linear Fresnel reflector. *Renewable Energy*, Volume 116, Part A, 2018, Pages 64-74, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.066>.
- [9] K. Gouthamraj, K. Jamuna Rani, G. Satyanarayana , Design and Analysis of Rooftop Linear Fresnel Reflector Solar Concentrator. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, Volume 2, Issue 11, May 2013
- [10] A. Heimsath, G. Bern, D. van Rooyen, P. Nitz, Quantifying Optical Loss Factors of Small Linear Concentrating Collectors for Process Heat Application. *Energy Procedia*, Volume 48, 2014, Pages 77-86, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.010>.
- [11] A. Mohamed, M. A. Amin, Thermal Analysis of the Performance of Linear Fresnel Solar Concentrator. *Journal of Clean Energy Technologies*. 4. 316-320, 2015, 10.18178/JOCET.2016.4.5.304.
- [12] M. Babu, A. Arasu , Performance analysis of linear Fresnel reflector concentrating solar system with varying reflector width using analytical and ray trace techniques. *Progress in Industrial Ecology, An International Journal*. 9. 121, 2015, 10.1504/PIE.2015.073092.
- [13] J.A. Duffie, W.A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*. 2nd Edition, Madison, New York; John Wiley & Sons, Hoboken, 2013,. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>