



## Parabolik yoğunlaştırıcı toplayıcı-yansıtıcı yüzeyin matematiksel modellenmesi

**Samim DÜNDAR\***

Ege Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir

[samim.dundar@ege.edu.tr](mailto:samim.dundar@ege.edu.tr) ORCID: 0000-0002-0558-8478, Tel: (232) 311 51 26

Geliş: 20.02.2018, Kabul Tarihi: 15.03.2018

### Öz

Günümüzde pek çok alanda ihtiyaç duyulan enerjinin üretimi, tüketimi ve buna bağlı olarak değeri de giderek artmaktadır. Enerjinin üretim ve tüketimi, kalkınma ve gelişmişlik düzeylerini göstermesi bakımından da önemlidir. Dünyada halen enerji üretimi, büyük ölçüde fosil yakıt kaynaklı olması nedeniyle bu tür enerjiyi üretirken de, tüketirken de doğada önemli çevre tahribatına ve buna bağlı olarak iklim değişikliklerine sebep olduğu bilinmektedir. Bu nedenle küresel boyutta kirlilik yaratan klasik enerji üretim yöntemleri ve geleneksel üretim teknolojileri yerine; doğayı kirletmeyen, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilmesi için yeni teknolojiler geliştirmek tüm insanlık için zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmıştır. Bu tür enerji kaynaklarından bazıları rüzgâr tribünleri ve güneş enerjisidir. Ancak güneş enerjisi tükenmez bir enerji kaynağıdır. Çevre sorunu yaratmayan, kullanımı kolay ve potansiyeli yüksek olması nedeniyle güneş enerjisi kullanımı yaygınlaşabilecek durumdadır. Türkiye'nin dünya üzerindeki konumu, güneşlenme süresi bakımından güneş enerjisi potansiyeli yüksektir. Ancak ne yazık ki bu kaynaktan yeterince yararlanılmamaktadır. Güneş enerjisinden yararlanabilmek için güneş kolektörlerine ihtiyaç vardır. Güneş enerjisinden gelen enerjiyi toplayan kolektörler, düzlemsel ve parabolik olmak üzere iki tiptir. Parabolik kolektörler de, parabolik çanak veya parabolik oluk biçiminde olabilir. Kolektörün parabolik çanak ya da parabolik oluk biçiminde olması halinde kolektörün kesit eğrisi parabol eğrisidir. Bu çalışmada söz konusu parabol eğrisinin denklemi, dik koordinat sisteminde bilinmeyen bir eğri üzerine düşen güneş ışığının fiziksel özellikleri ve sistemin geometrisi kullanılarak elde edilen doğrusal olmayan bir diferansiyel denklemin çözümü yapılarak analitik olarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Parabolik güneş kolektörü; Güneş enerjisi; Doğrusal olmayan diferansiyel denklemler; Homojen diferansiyel denklemler.

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Türkiye’de sanayide kullanılan toplam enerji ihtiyacının %0,1 oranında güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. Ülkemizde güneş enerjisi kullanımı, sadece güneş kolektörleri vasıtasıyla sıcak su üretimi ile sınırlı değildir. Güneş enerjisi sıcak su üretimi dışında elektrik enerjisi üretilmesi için de kullanılmaktadır. Enerji Bakanlığı 2018 bütçe sunuş kitapçığındaki verilere göre; 2017 yılı üçüncü çeyrek sonu itibariyle 1753 MW kurulu güce sahip 2104 adet lisanssız güneş santrali devrededir. Yani ülkemizde düşüğe olsa güneş enerjisinden elektrik üretilmektedir. Bunların dışında sulama suyunun pompalanması, bitkisel üretimlerin soğutulması ve kurutulması, pişirilmesi, endüstriyel işlem ısısı üretilmesi, fotokimyasal ve foto sentetik çevrimlerin gerçekleştirilmesi vb. gibi alanlarda da kullanılabilen bir enerji türüdür. Temiz ve tükenmez olması, proses ısısının istenilen sıcaklıkta doğrudan elde edilmesi, işletme maliyetinin düşük olması güneş enerjisinin başlıca avantajları olup, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, enerjinin kesikli ve değişken bir biçimde gelmesi, geniş kurulum alanlarına ihtiyaç duyulması vb. dezavantajlarıdır (Kartal, 2007; Akkoç, 2012). Tarih öncesinde bazı kabileler Güneş’e tapmışlar ve her doğal fenomenin arkasındaki güç olarak görmüşlerdir. İlk çağlardan itibaren de insanlar güneş enerjisinden faydalanmayı düşünmüşlerdir (Kalogirau, 2004). Günümüzde güneş enerjisinden buhar üretimi (Gudekar vd., 2013) dışında, tropikal iklim koşullarında, bakteri içeren ve güneş ışığına maruz kalan içme suyunun arıtılması (Nalwanga vd., 2014), deniz suyunun tuzdan arındırılması (Garcia-Rodriguez vd., 2002) gibi değişik amaçlar için kullanılmaktadır.

Güneş enerjisinden yararlanabilmek için gelen enerjiyi toplayan kolektörlere ihtiyaç vardır (Kartal, 2007; Akkoç, 2012; Eroşkun vd., 2013). Kendi içerisinde farklı tipleri olmasına rağmen başlıca iki tip kolektör kullanılmaktadır. Birincisi düzlemsel, ikincisi de parabolik kolektörlerdir. İkinci tip kolektörler parabolik silindir biçiminde olup, kesit parabol eğrisidir (O’Gallagher, 2008). Yine parabolik olduğu

halde involüt ve alıcıdan oluşan, silindirik alıcılı birleşik parabolik yoğunlaştırıcı kolektörlerin güneş takip sistemine ihtiyaç duymamaları nedeniyle diğerlerine göre daha avantajlıdır (Gürüz ve Atik, 2012).

Bu çalışmada yukarıda adı geçen parabol eğrisinin denklemini elde etmek amacıyla, dik koordinat sisteminde bilinmeyen bir eğri ile gelen güneş ışığının fiziksel özellikleri ve olayın geometrisi kullanılarak elde edilen doğrusal olmayan bir diferansiyel denklem ve denklemin çözümü yapılarak söz konusu parabolün analitik denklemi elde edilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

Dünyanın yaklaşık 109 katı büyüklüğünde ve yaşı  $4,57 \times 10^9$  yıl olan güneş ile ilgili bazı yapısal büyüklükler Tablo.1 de verilmiştir (DEK TMK, 2009; Duffie ve Beckman, 2013).

Güneşin dünyada ya da herhangi bir gezegende olduğu gibi belirli sınırları yoktur. Dış katmanlarında merkezinden uzaklaştıkça gaz yoğunluğu üstel olarak azalır. Güneş'in belirgin bir içyapısı bulunmaktadır. Güneş'in yarıçapı merkezinden ışık küresinin (fotosfer) kenarına kadar ölçülür. Bu hemen yukarısında gazların önemli miktarda ışık saçamayacak kadar çok soğuk ya da çok ince olduğu katmandır. Işık yuvarı çıplak gözle görülen yüzeydir. Güneş çekirdeği toplam hacminin yüzde 10'una ama toplam kütesinin yüzde 40'ına sahiptir. Işık küresinin (fotosfer) bileşimi de Tablo.2 de verilmiştir (DEK TMK, 2009; Duffie ve Beckman, 2013).

Tablo 1. Güneşin yapısal özellikleri

Çap	1391981km, (109 dünya çapı)
Yüzey alanı	$6,088 \times 10^{15}$ km <sup>2</sup> (11900 dünya)
Kütle	$1,9891 \times 10^{30}$ kg (322936 dünya)
Hacim	$1,4122 \times 10^{27}$ m <sup>3</sup> (1304000 dünya)
Merkez basıncı	$2,477 \times 10^{11}$ Bar
Sıcaklığı	$1,571 \times 10^7$ K
Ortalama Yoğunluk	$\sim 1,409 \times 10^3$ kg/m <sup>3</sup>
Yüzey sıcaklığı	5778 K
Çekirdek sıcaklığı	$\sim 15,7 \times 10^6$ K

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi biçimindeki füzyon sürecinden açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneşte saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Dönüşümdeki 4 milyon ton kütlede  $38 \times 10^{22}$  kJ enerji açığa çıkmaktadır. Termonükleer bir reaktör olan güneşten çeşitli dalga boylarında ( $62 \text{ MW/m}^2$ ) enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir.

Tablo 2. Fotosfer bileşimi

Element	Oran
Hidrojen	% 73,46
Helyum	% 24,85
Oksijen	% 0,77
Karbon	% 0,29
Demir	% 0,16
Kükürt	% 0,12
Neon	% 0,12
Nitrojen	% 0,09
Silikon	% 0,07
Magnezyum	% 0,05

Dünya'ya güneşten 150 milyon km kat ederek gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 15 bin katıdır. Güneş enerjisinin atmosfer dışındaki ışıma değeri yaklaşık  $1370 \text{ W/m}^2$  dir. Güneş enerjisinin yeryüzündeki dağılımı dünyanın şekli nedeniyle büyük farklılıklar göstermekte olup, dünyaya gelen ortalama güneş enerjisi  $0-1100 \text{ W/m}^2$  mertebesinde dir. Güneş radyasyonunun enerji olarak %46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, %45'i görünür ışık bölgesinde geri kalan yüzdesi de mor ötesinde bulunur. Güneş ışımasının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır. %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Güneşten gelen ışımasının %20'si ise atmosfer ve bulutlarda tutulur (DEK TMK, 2009; Kartal, 2007).

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar 1970'li yıllardan sonra hız kazanmıştır. Güneş enerjisi sistemleri teknolojik

olarak ilerlemiş, maliyetleri düşme göstermiş ve güneş enerjisi çevre bakımından temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmiştir (DEK TMK, 2009).

Dünyanın yörünge yarıçapı yaklaşık 150 milyon km. dir. Güneşten dünyamıza enerji bu uzun yolu 8 dakika içinde alır. Bu kadar uzun olmasına rağmen, dünya 40 dakika içerisinde, dünyada bir yılda tüketilen toplam enerjiye eşit miktardaki enerjiyi güneşten gelen ışımandan soğurur. Güneşin değişik yöntemler ile ölçülen sıcaklığı yaklaşık  $5,800^\circ\text{C}$ , yani bir saniyede yaydığı ışıma enerjisi yaklaşık  $4 \times 10^{23}$  kW tır. Bu 100 watt'lık 400 trilyon×bir trilyon ampul gücüne denktir. Bu olağanüstü bir miktar olup, bu enerjiden yararlanmanın yollarını araştırmak son derece doğru bir yoldur (DEK TMK, 2009; Kartal, 2007).

### Enerjisinin yoğunlaştırılması

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri güneşten gelen enerjiyi kullanarak önce yüksek sıcaklıkta ısı enerjisine, sonra da bilinen yöntemlerle elektrik enerjisine dönüştürür. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri hem konutlarda kullanılacak düşük güçler için 10 kW, hem de 100 MW 'a kadar enerji nakil sistemlerini besleyecek kadar büyük güçler için tasarlanabilir. Kolektöre gelen ışımanın büyük bir kısmından yararlanmak gerekir. Bu nedenle parabolik toplayıcılar, düz olanlara göre daha verimli ve daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Bir kolektörde ışımanın yutulduğu yüzeye alıcı yüzey denir. Burada bir ısı toplama elemanı bulunmalıdır (Kartal, 2007). España ve Rodriguez (1987), parabolik bir kolektörün emici tüpünün bir modelini ele almış, tüpün fiziksel davranışını incelemiş, formülasyonu ve analizini yapmıştır.

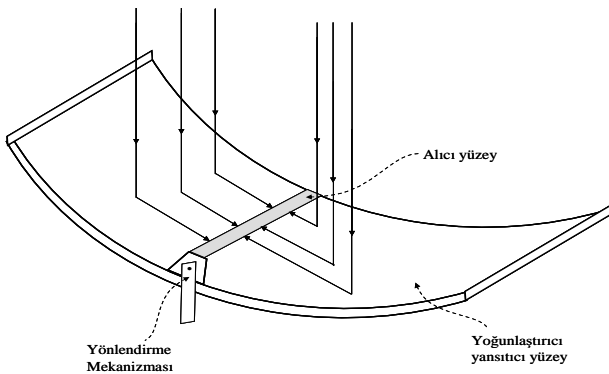
Enerjiyi toplama biçimine göre yapılmış üç farklı tipte yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemi vardır (DEK TMK, 2009). Bunlar:

- Parabolik oluk sistemi,
- Ayna/motor sistemi,
- Güneş kulesi sistemidir.

## Parabolik oluk sistemleri

Güneşten gelen enerji parabolik bir eğrisel yüzeye sahip oluk biçiminde bir yansıtıcı eleman yardımıyla yoğunlaştırılır. Yansıtıcı yüzey üzerinde eğri boyunca hareket eden ve ışınımı yutan bir boru vardır. Şekil 1'de bu sistem görülmektedir. Güneşten gelen ışınlar boru üzerine yoğunlaştırılarak boru içindeki sıvı ısıtılır. Bunun sonucu üretilen buhar bir türbin-jeneratör sisteminden geçirilerek elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu sistemler güneşin olmadığı zamanlarda da üretim yapılabilmesi için ayrıca bir termal enerji depolama sistemine de sahip olmalıdır. Parabolik oluk sistemlerinde yoğunlaştırma oranı 10 'dan 100 'e kadar çıkabilirken, sıcaklık da 400°C 'a kadar çıkabilir.

Bu biçimdeki bir kolektör sistemi kuzey-güney ekseninde, paralel bir biçimde sıralanmış birçok çanakdan oluşur. Bu düzenek güneş ışınlarının gün boyunca doğudan batıya doğru tek eksenle izlenmesine ve sürekli olarak yutucu boru üzerinde odaklanmasına olanak verir. Sharma ve arkadaşları (2013), parabolik oluk tipindeki bitişik kolektörlerin gölgelemeleri göz önüne alındığında kuzey-güney yönlü kolektör alanının enerji kullanılabilirliği bakımından daha iyi olduğu, belirli bir konum ve yönlendirme için gereken asgari aralığın seçilebileceğini göstermiştir.



Şekil 1. Parabolik oluk sistemi.

Parabolik oluk biçiminde tasarlanmış bir kolektör sistemi toplam kapasitesi 350 MW 'dan büyük sistemler kurulabilir. Bu tip sistemlerde ısı transfer akışkanı olarak termal yağ kullanılır. Güneşten gelen enerji ile ısıtılan yağ borular yardımıyla bir seri ısı eşanjörüne yönlendirilerek 390°C sıcaklığa kadar ısınan buhar elde edilebilir. Bu ısınmış buhar bir türbinden geçirilerek elektrik enerjisi üretilir. Düz kolektörde güneş takip sistemi yoktur. Oysaki parabolik oluk biçiminde tasarlanmış bir kolektör sisteminde isteğe bağlı ışın yoğunlaştırmalı, tek ya da çift boyutlu güneş takip sistemi entegre edilmelidir. Bu tip kolektörler çizgisel ya da noktasal odaklamalı olabilir (DEK TMK, 2009; Kartal, 2007; Akkoç, 2012).

Cheng ve çalışma arkadaşları (2014), güneş yoğunluk sistemlerinin kullanımı için, diferansiyel denklemlere dayanan içbükey ve dışbükey şekillerden oluşan görüntüsüz ikincil reflektörler önerilmiştir.

## Türevine göre çözülebilen diferansiyel denklemler

Birinci mertebeden,

$$f\left(x, y, \frac{dy}{dx}\right) = 0 \quad (1)$$

diferansiyel denklemini ele alalım. Bu denklemde,  $dy/dx=p$  ile gösterilirse (1)'nolu denklem,

$$f(x, y, p) = 0 \quad (2)$$

biçiminde yazılır. (2) denklemini birinci dereceden ise buradan  $p$  çözüldüğünde,

$$p = g(x, y) \quad (3)$$

bulunur. (3) denkleminin integrali (1) denkleminin çözümünü verir. Eğer (2) denklemini birinci dereceden değilse ki bu durumda diferansiyel denklemin doğrusal olmadığı sonucu ortaya çıkar,  $p$  her biri  $x$  ve  $y$  'nin fonksiyonu olan  $n$  tane köke sahipse, diferansiyel denklem çarpanlarına ayrılarak,

$$(p - g_1(x, y))(p - g_2(x, y)) \cdots (p - g_n(x, y)) = 0 \quad (4)$$

$n$  adet birinci dereceden ve birinci mertebeden denklem diferansiyel elde edilir. (3) 'deki bu denklemler birer birer çözülürse bulunan çözümlerin çarpımları,

$$(\phi_1(x, y, c))(\phi_2(x, y, c)) \cdots (\phi_n(x, y, c)) = 0 \quad (5)$$

çözümdür. Bazen (5)'deki çözümlerden bazıları diferansiyel denklemin çözümleri olmayabilir. Bu yüzden her defasında bunların denklemi sağlayıp, sağlamadığını araştırmak gerekir (Nagle vd., 2012; Edwards ve Penney, 2004).

### Homojen diferansiyel denklemler

$$\frac{dy}{dx} = F(x, y) \quad (6)$$

diferansiyel denkleminde,  $F(x,y)$  fonksiyonu, sıfırcı dereceden homojen bir fonksiyon ise diferansiyel denkleme "homojen diferansiyel denklem" denir.  $F(x,y)$  sıfırcı dereceden homojen bir fonksiyon olduğuna göre  $\lambda \neq 0$  olmak üzere,

$$F(\lambda x, \lambda y) = F(x, y)$$

eşitliği sağlanmaktadır.  $\lambda$  keyfi olduğundan  $\lambda = 1/x$  alınırsa,

$$F(x, y) = F(1, y/x)$$

elde edilir ki,  $F(x,y)$  fonksiyonu  $y/x$ 'in fonksiyonu haline gelir. (6)'daki diferansiyel denklemde,

$$\frac{y}{x} = u, \quad \frac{dy}{dx} = x \frac{du}{dx} + u \quad (7)$$

dönüşümü yapılırsa,

$$x \frac{du}{dx} = G(u) - u \quad (8)$$

elde edilir. Son denklem değişkenlerine ayrılabilen bir diferansiyel denklemdir, kolaylıkla çözülür (Nagle, vd., 2012; Edwards ve Penny, 2004).

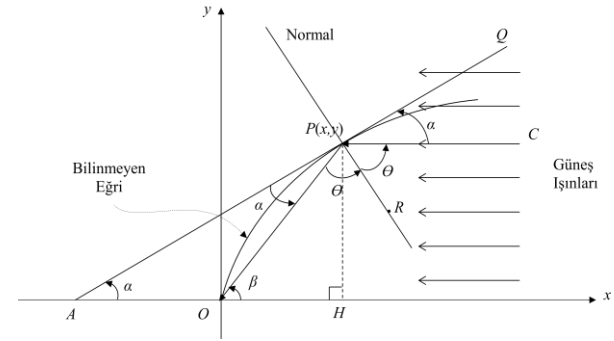
### Kolektörü oluşturan eğri

Şekil 2'de gelen ışının yatay ile yaptığı açı, yani  $\widehat{QPC}$  açısı  $\alpha$  ve  $P$  noktasından yansıyan ışın  $PO$  olsun. Yansıma kanununa göre  $\widehat{CPR} = \widehat{RPO} = \theta$  ve dolayısıyla,  $\widehat{QPC} = \widehat{OPA} = \alpha$  olmalıdır (Duffie ve Beckman, 2013).

Yöndeş olmaları nedeniyle  $\widehat{QPC}$  açısı ile  $\widehat{PAH}$  açıları eşittir (Nagle vd., 2012).  $AOP$  üçgeninde de iki iç açının toplamı dış açıyı vermesi gerektiği için  $\beta = 2\alpha$  yani  $\tan\beta = \tan 2\alpha$  dolayısıyla,

$$\tan \beta = \frac{2 \tan \alpha}{1 - \tan^2 \alpha} \quad (9)$$

olur.



Şekil 2. Parabolik kolektör sisteminin düzlemsel kesiti

$$\tan \alpha = dy/dx \quad (10)$$

$$\tan \beta = y/x \quad (11)$$

olup, (9), (10) ve (11) 'den yararlanılırsa,

$$\frac{y}{x} = \frac{2(dy/dx)}{1 - (dy/dx)^2}$$

buradan da,

$$y \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 + 2x \left( \frac{dy}{dx} \right) - y = 0 \quad (12)$$

diferansiyel denklemi elde edilir. (12) denklemi doğrusal olmayan bir diferansiyel denklemdir. Bu denklem türevine göre çözülebilir. Bu amaçla  $dy/dx=p$  yazılıp,

$$yp^2 + 2xp - y = 0$$

ve buradan  $p$  çözümlerse,

$$p = \frac{-x \pm \sqrt{x^2 + y^2}}{y}$$

ya da,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-x \pm \sqrt{x^2 + y^2}}{y} \quad (13)$$

elde edilir. (13) denklemindeki türev, aynı zamanda Şekil 2'deki  $AQ$  teğetinin eğimini verir. Fakat  $\alpha$  açısı dar açı olduğu için tanjantı

yani  $AQ$  teğetinin eğimi dolayısıyla türev pozitif olmalıdır. Bu yüzden bilinmeyen eğri

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-x + \sqrt{x^2 + y^2}}{y} \quad (14)$$

homojen diferansiyel denkleminin çözümüdür. Bu denklemi çözmek amacıyla (7) 'de önerilen dönüşüm yapılırsa,

$$x \frac{du}{dx} = \frac{-(1+u^2) \pm \sqrt{1+u^2}}{u} \quad (15)$$

elde edilir. Son denklem birinci mertebeden değişkenlerine ayrılabilen diferansiyel denklem olup,

$$\frac{u}{-(1+u^2) + \sqrt{1+u^2}} du = \frac{dx}{x} \quad (16)$$

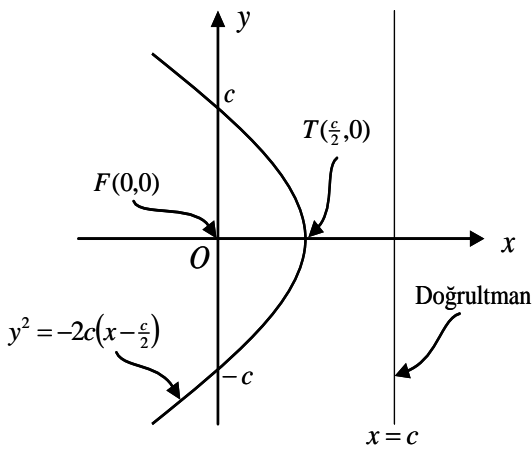
biçiminde yazılır ve integral alınır çözümü,

$$y^2 = c^2 - 2cx \quad (17)$$

bulunur. (17) 'de  $c$ : integral sabiti olup, eğri bir parabol gösterir. Bu eğri Şekil 2'deki bilinmeyen eğrinin denklemidir. (17)'deki parabol,

$$y^2 = -2c \left( x - \frac{c}{2} \right) \quad (18)$$

biçiminde düzenlenirse, tepe noktasını koordinatları,  $T(c/2,0)$ , odağı orijin, doğrultmanı,  $x=c$  doğrusudur. Şekil 3' de (18)'deki parabolün grafiği çizilmiştir.



Şekil 3. Parabolün grafiği.

## Bulgular ve Tartışma

Duffie ve Beckman (2013), parabolün denklemini,

$$y^2 = 4f x$$

olarak ifade etmiştir. Burada  $f$ , odak noktasından tepe noktasına, aynı zamanda tepe noktasından doğrultmana olan mesafedir. Bu parabolün tepe noktası orijindedir. (18)'deki parabolde,

$$x = r + c/2, y = s$$

dönüşümü yapılırsa ki bu dönüşüm ile dik koordinat sistemini  $Ors$  koordinat sistemine ötelemiş oluruz. Yeni koordinat sisteminde denklem,

$$s^2 = -2c r \quad (19)$$

olur. Burada  $f = 2c$  dir. Yani odak noktası ile tepe noktası arasındaki mesafe değişmemiştir. Ancak  $Ors$  koordinat sisteminde merkezli denkleme dönüşmüştür. Şimdi de (19) denklemindeki parabolde,

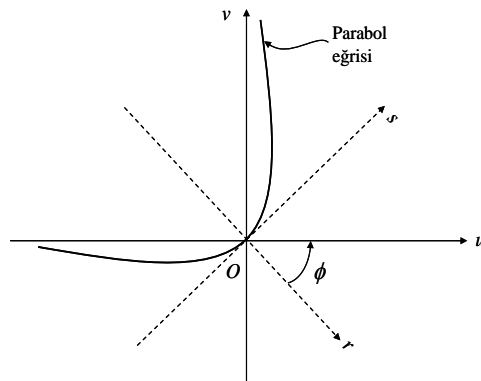
$$r = u \cos \phi - v \sin \phi \quad (20)$$

$$s = u \sin \phi + v \cos \phi$$

(O'Gallagher, 2008) dönüşümü yapılırsa,  $Ors$  koordinat sistemini  $\phi$  açısı kadar döndürmüş olacağız. Bu durumda denklem,

$$u^2 \sin^2 \phi + v^2 \cos^2 \phi + uv \sin 2\phi + 2cu \cos \phi - 2cv \sin \phi = 0 \quad (21)$$

halini alır ve son durumda grafik Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Koordinat eksenlerinin  $\phi$  açısı kadar döndürülmesi sonucu oluşan grafik.

Şekil.2’ deki parabol eğrisinin konumu sabit değildir. Güneşi takip etmesi gerekir. Böylece kurulacak bir takip sistemi ile Şekil 4’teki  $\emptyset$  açısı kadar döndürme olanağına sahip oluruz.

## Kaynaklar

- Akkoç, S., (2012). Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörleri ile Su Isıtma Sisteminin Matematiksel Modeli, Simülasyonu ve Performans Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Cheng, Q., ChaI, J., Zhou, Z., JinIn Song, J., Su, Y., (2014). Tailored non-imaging secondary reflectors designed for solar concentration Systems, *Solar Energy*, 110, 160–167.
- DEK TMK - Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, (2009). *Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi*, EKC Form Ofset, DEK-TMK Yayın No: 0011.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A., (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*, pp:351-371, Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons Inc.
- Edwards, C.H., Penney, D.E., (2004). *Differential Equations and Boundary Value Problems*, pp:60-76. Pearson Education Inc.N.J.
- Ercoskun, G.T., Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D., (2013). Çift Oluklu Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörünün Tasarımı, İmalatı ve performansının İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4), 855-863.
- España, M.D., Rodriguez, V. L., (1987). Approximate steady-state modeling of solar trough collectors, *Solar Energy*, 38(6), 447-454.
- Garcia-Rodriguez, L., Palmero-Marrero, A.I., Gomez-Camacho, C. (2002). Comparison of Solar Thermal Technologies For Applications In Seawater Desalination, *Desalination*, 142(2), 135-142.
- Gudekar, A.S., Jadhav, A.S., Panse, S.V., Joshi, J.B, Pandit, A.B., (2013). Cost Effective Design Of Compound Collector For Parabolic Steam Generation, *Solar Energy*, 90, 43–50.
- Gürüz, K. , Atik, K., (2012). Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı Kolektörlerde Farklı Yarım Kabul Açısı ve Farklı Kesim Değerlerinin Yoğunlaştırma Oranına Etkisi, *Teknolojik Araştırmalar Elektronik Dergisi*, 9(4), 1-9.
- Kalogirou, S.A., (2004). Solar Thermal Collectors And Applications, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(3), 231–295.
- Kartal, Y., (2007). Parabolik Yansıtıcı Yüzeyle Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörü Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Nalwanga, R., Quilty, B., Muyanja, C, Fernandez-Ibañez, P., McGuigan, K.G., (2014). Evaluation of solar disinfection of E. coli under Sub-Saharan field conditions using a 25L borosilicate glass batch reactor fitted with a compound parabolic collector, *Solar Energy*, 100,195–202.
- Nagle, R.K., Saff, E.B., Snider, A.D., (2012). *Fundamentals of Differential Equations and Boundary Value Problems*, pp:1-88, Boston, Pearson Education, Inc.
- O’Gallagher, J.J., (2008). *Nonimaging Optics in Solar Energy*, pp:7-37, Morgan & Claypool Publishing Series.
- Sharma, V.M. Nayak, J.K. Kedare, S.B., (2013). Shading and Available Energy In A Parabolic Trough Concentrator Field, *Solar Energy*, 90, 144–153.

## Mathematical modelling of parabolic condensing collector-reflector Surface

### Extended abstract

Today, the production, consumption and value of the energy required in many areas are increasing. The production and consumption of energy is also important because it shows the level of development. Energy production and consumption, which are mainly based on fossil fuels, unfortunately cause considerable environmental pollution and climate changes.

Therefore, instead of classical energy production methods and traditional production technologies that create pollution at global scale, the development of new technologies that can use sustainable and renewable energy sources that do not pollute nature has become compulsory for all humanity. For this reason, renewable energy sources have gained importance. Some of these energy sources are wind and solar energy. However, solar energy is an inexhaustible source of energy. The use of solar energy is likely to be widespread as it is environmentally friendly, easy to use and has a high potential.

Due to its location in the World, which determines sunshine duration, solar energy potential of Turkey is high. Unfortunately, this resource is not utilized enough. Solar collectors are needed to make use of solar energy. Collectors that collect energy from the sun are two types, planar and parabolic. The parabolic collectors may be in the form of a parabolic dish or a parabolic groove. The energy from the sun is condensed by means of a reflective element in the form of a groove with a parabolic curvilinear surface. The rays of the sun are condensed on a pipe and the liquid in the pipe is heated. The resulting steam is passed through a turbine-generator system and converted into electricity. These systems should also have a thermal energy storage system so that they can be produced in the absence of sun. If the collector is in the form of a parabolic dish or a parabolic groove, the cross-section of the collector is a parabolic curve. In this study, the equation of the parabola curve is analytically obtained by solving a nonlinear differential equation obtained by using the system's geometry and the physical properties of the sunbeam falling on an unknown curve in the orthogonal coordinate system. It is found as a differential

equation which can be solved according to the derivative of the nonlinear differential equation.

In the first order nonlinear differential equations of type:

$$f\left(x, y, \frac{dy}{dx}\right) = 0$$

the differential equation is transformed into an algebraic equation by performing  $dy / dx = p$ . When  $p$  is solved,  $n$  first-order differential equations are obtained if  $p$  is the grade  $n$ . But all of the solutions of these  $n$  first-order differential equations cannot provide the initial differential equation. Therefore, it is necessary to check whether all of these solutions provide the equation. Those which provide are taken as solutions and those which do not provide are dismissed. During the solution of these  $n$  first-order differential equations, we can encounter different types of differential equations. In this study, one,

$$\frac{dy}{dx} = F(x, y)$$

homogeneous differential equation was found. Finally, by performing this homogeneous differential equation  $y / x = u$  transformation, a differential equation of the first order can be separated into its variables, and a solution is obtained. The solution of the anticipated solution as a parabola curve is first obtained by the standard equation and then the equation rotated by  $\emptyset$ .

**Keywords:** Parabolic solar collector, Solar energy, Nonlinear differential equations, Homogeneous differential equations.