



# Parabolik Bir Güneş Kolektörünün Statik Analizi

Cuma ÇETİNER<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa.

Başvuru: 06/04/2015 Düzeltme:21/03/2016 Kabul: 10/05/2016

## ÖZ

Bu çalışmada 4.5 m uzunluğunda 3.35 m genişlikteki parabolik bir kolektörün konstrüksiyon hesaplamaları yapıldı. Yansıtıcı malzeme olarak ayna kullanılan bu kolektör, güneşi doğu-batı yönünde takip etmektedir. Kolektörün kendi ağırlığına ek olarak Şanlıurfa bölgesinin meteorolojik bilgilerine göre rüzgarın 10 m/sn hızda estiği ve kar kalınlığının 0.20 m olduğu kabul edildi. Kolektörün yatay ve dikey pozisyonda toplam yükün oluşturduğu bileşke kuvvetler bulundu. Mil ve millerin bağlı olduğu I profilinde bileşke kuvvetlerin oluşturduğu sehim, tork ve gerilmeleri hesaplandı. Yapılan hesaplama sonucunda seçilen çelik konstrüksiyonun TS 7046 ya göre emniyetli olduğu görüldü.

**Anahtar Kelimeler :** Güneş Enerjisi, Parabolik Kolektör, Kolektör Konstrüksiyonu.

## A PARABOLIC SOLAR COLLECTOR STURUCTURAL ANALYSIS

### ABSTRACT

In this study, the design and constructional computations of a parabolic collector of which length and width are 4.5 m and 3.35 m respectively are conducted. This collector at which mirror used as a reflective track the sun at east-west direction. It is assumed that the wind velocity is 10 m/sn and the thickness of snow is 0.20 m in addition to collector weight. The resultant forces occurred by total loads of the collector at horizontal and vertical position are found. The deflection, torque and stress created by the resultant forces on the shaft and I profile are calculated. At the result of calculation, it has been seen that the selected steel construction is safe.

**Key words:** Solar energy, Parabolic collector, Collector construction

## 1. GİRİŞ

Güneş enerjisinin fazla olduğu bölgelerde düz kolektörler ile birlikte endüstriyel amaçlarla parabolik kolektörlerin kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır(1,2). 200-400°C deki yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan bu sistemlerden elektrik elde edilebilmektedir (3). Direkt ışınla çalışan bu kolektörler güneş ışınlarını absorberde

toplayabilmek için tek eksenle güneşi takip eden veya yıl boyunca güneşin konumuna göre iki eksenle takip eden türleri vardır. Gelen ışınımı daha iyi odaklayabilmek için parabol yüzeyler tercih edilmektedir. Dış ortamda çalışan parabolik kolektörlerin kendi ağırlığı, rüzgar ve kar yüklerinden dolayı etki eden kuvvetler bu yapıları deformasyona uğratabilir. Parabolik kafesin şekli üzerinde çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır(4). M. Mier-Torrecilla, çeşitli pozisyonlarda kolektörlerin üzerine gelen aşırı rüzgar yüklerine karşı parabolün davranışlarını

\*Corresponding author, e-mail: [ccetiner@harran.edu.tr](mailto:ccetiner@harran.edu.tr)

incelemiştir(5). S. Bhadurl, parabolik çanak tip, heliostat, parabolik tekne tipi kollektörlerin üzerine dikey, yatay ve yanal yüzlere gelen rüzgar yükleri üzerinde çalışma yapmıştır(6). Fakat parabolik kollektörlerin konstrüksiyon hesaplamaları ile ilgili bir çalışma bulunmamıştır. Çelik yapılarda standart olmayan böyle bir konstrüksiyonda çelik yapılar için uygulanan hesaplamalar yapılmıştır. Parabol yüzeyli aynaya uygun kafes sisteminin imalatında gerekli mukavemet hesaplamaları yapılarak malzeme seçimi ve tahkiki yapılmıştır. Konstrüksiyonun üretim kolaylığı ile birlikte montajının da kolay olması gerekir. Bu sistemde; zemininde 1 mm et kalınlığında çelik saç, kare, L ve I profillerinden çelik kafes üzerine aynanın montajı yapılmıştır. Piyasada bu ölçülerde parabolik ayna bulunmamaktadır. Cam firmalarına da özel siparişle tedarik etmek pahalı olduğundan parçalı ayna kullanılmıştır. Güneş sabit olmadığından kollektörün yatay pozisyonda veya herhangi bir açıda sabitlenmesi halinde güneş ışınlarının absorberde odaklanması mümkün değildir. Sistemin güneşi takip etmesi gerektiğinden her iki taraftan yataklanmış mil üzerinde dönecek tarzda imal edilmiştir.

## 2. PARABOLİK KOLLEKTÖRÜN ÇALIŞMA PRENSİBİ

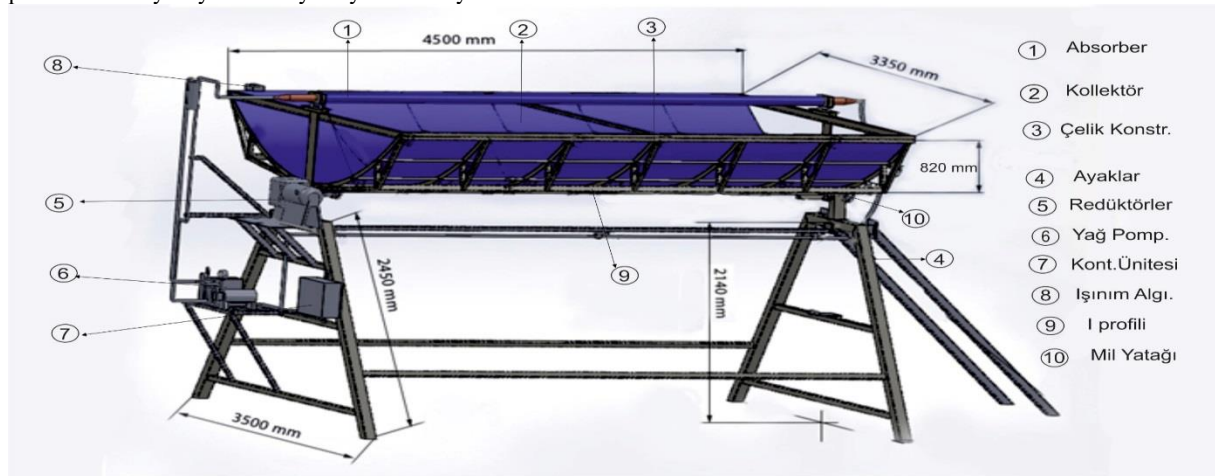
Bu parabolik kollektörden 4 kW ısıl güç elde edebilecek şekilde boyutların seçimi yapıldı. Parabol formülünden(1) parabolik kollektörün odak mesafesi  $f = 0.92$  m, yüksekliği  $L_p = 0.76$  m seçildiğinde parabolüün açıklığı  $w = 3.35$  m olur. Uzunluğu ise 4.5 m seçildi(Şekil 1). Parabolik kollektör şekil 1 de 9 no ile gösterildiği gibi solar sensörlü olup, doğu-batı yönünde güneşi takip etmektedir. Kontrol ünitesindeki şekil 2 de 7 no ile gösterildiği gibi elektronik kart ile otomatik olarak güneşi izlemektedir. Sistem güneş sensörüne gelen ışınımına göre hareket etmektedir. Gerekliğinde elle doğu veya batı tarafına kontrol edilerek dönderilebilmektedir. Gelen güneş ışınımı parabolik yüzeyden yansırarak yutucuda

toplanmaktadır. Sistemin çok yavaş dönmesi gerekmektedir. Bunun için 900 d/dak ve 1,5 kW gücündeki elektrik motoru seçilmiştir. Bu elektrik motoruna akuple edilmiş biri 1/50 diğeri 1/60 oranlarındaki iki adet redüktör (şekil 1) sistemin daha düşük hızda dönmelerini sağlamaktadır. Ayrıca hızı daha fazla düşürmek için kontrol ünitesinde 1 adet Powerflex marka hız düşürücü röle kullanılmıştır.

Parabolik kollektörün konstrüksiyon kendi kütlesi, kar ve rüzgar yüklerinden dolayı eğme ve burulmalara karşı mukavemetli olması için mil çapı büyük seçilmiş boydan boya I profili ve kafes sistemi ile donatılmıştır. Sistemin boylamasına hareketini engellemek için de yan tarafına iki destek verilmiştir. Ayaklar için çelik hasır beton dökülmüş, ayakların ankrajları bu betonun içine gömülmüştür. Kollektörün 180° den daha fazla dönmelerini engellemek için frenleme tertibatı doğu ve batı tarafına monte edilmiştir.

Sistemde dolaştırılan akışkan 325° C ye kadar dayanabilen ısı transfer yağı olup bir yağ pompasıyla dolaştırılmaktadır. Giriş ve çıkıştaki sıcaklıkları dijital olarak görmek mümkündür. Yağın giriş ve çıkış sıcaklığını, cam borunun dış yüzey sıcaklığı ve ortam sıcaklığını bir data logger ile ölçümleri kayıt altına alınmaktadır. Güneş ışınım değerleri ve absorbedeki ısıl kayıpları hesaplamak için rüzgar ölçümleri de alınmaktadır.

Kollektörün odağındaki yutucunun boyu kollektörün boyundan bir miktar fazladır. 76 mm çapındaki bakır borunun et kalınlığı 2 mm dir. Giriş ve çıkış uçları ½ inç çapındaki bağlantı hortumlarına geçişi sağlamak için koniklendirilmiştir. Yutucu bakır boru 100 mm dış çapında ve 2 mm kalınlığındaki cam borunun içine yerleştirilmiştir. Cam borunun baş kısımları özel imal edilen metal konstrüksiyonla sisteme bağlantı elemanlarıyla bağlanmış, orta kısmı da sarsıntılardan korumak için desteklenmiştir.



Şekil 1. Parabolik kollektörün konstrüksiyon boyutları

## 3. KOLLEKTÖR KONSİRÜKSİYONU İÇİN HESAPLAMALAR

Parabolik kollektör konstrüksiyonunun dizaynında sistemin kendi ağırlığından dolayı oluşturduğu kuvvet, rüzgar

etkisiyle oluşan kuvvet ve kar yükü nedeniyle sistem de oluşan kuvvetlerin hesap edilmesi gerekir. Aşağıdaki parabol (1) eşitliğinden parabolik kollektörün boyutları tespit edilmiştir. Parabolik kollektörün karakteristik  $f = 0.92$  m ve yükseklik  $x = 0.76$  m alınmıştır.(Şekil 1,2).

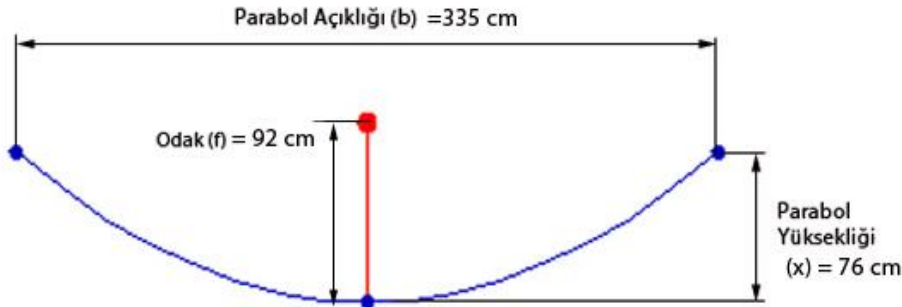
ölçüleri tablo 1 de verilmiştir.

$$y = \sqrt{16 f x} \quad (1)$$

Burada, parabol açıklığı  $y = 3.35$  m, odak mesafesi

Tablo 1. Parabolik Kollektörün Karakteristikleri

Paraboliğin açıklığı $w$	3350 mm
Paraboliğin Uzunluğu $L$	4500 mm
Paraboliğin Açıklık Alanı $A_a$	15m <sup>2</sup>
Paraboliğin derinliği $L_p$	760 mm
Paraboliğin odağı $f$	920 mm
Yoğunlaştırma Oranı $C$	14
Rim Açısı $R_{rim}$	92°
Cam Borunun Dış Çapı $D_c$	100 mm
Bakır Borunun Dış Çapı $D_b$	76mm



Şekil 2. Parabolik kollektörün, açıklığı, yükseklik ve odak mesafesi

### 3.1. Parabolik Kolektör Yatay Pozisyonda Profile Gelen Kuvvet Hesabı

Parabolik kolektör yatay pozisyonunda iken ağırlığından dolayı iki tarafta bulunan yatak üzerinde dikey ekseninde  $F_{küttele}$  kuvveti meydana gelir. Sistem anlık hareketlerinden dolayı dinamikdir. Fakat yapılan hesaplamalar dinamik yönünden değil statik kabul edilerek yapılmıştır. Parabolik kollektörün ayaklar hariç kütlesi  $m = 900$  Kg, yer çekim ivmesi  $g = 9.807$  m/s<sup>2</sup> alındığında milin yataklarına gelen kuvvet

$$F_K = mxg \quad (2)$$

$$F_K = 900 \times 9.807 = 8826 \text{ N}$$

bulunur.Yapıların kar yükü bulunurken genellikle olasılık hesaplamalarından elde edilmiş ampirik

bağıntılarından yararlanır. Parabolik kolektör yatay konumunda iken üzerinde toplanan kardan dolayı ( $F_K$ ) yükü oluşur. ( $F_K$ ) yükü millere dikey ekseninde etki eder. Kolektör yüzeyine düşen kar kalınlığı Şanlıurfa için  $t = 0.20$  m olarak kabul edilip kar yoğunluğu ( $\rho_k$ ) TS 7046'ya göre aşağıdaki ifade ile belirlenebilir (6,7).

$$\rho_k = 300 - 200 e^{-1.5 x t} \quad (3)$$

$$\rho_k = 300 - 200 e^{-1.5 \times 0.2} = 152 \text{ kg/m}^3$$

bulunur. Parabolik kolektörün uzunluğu ( $L$ ) 4500 mm, lineer uzunluğu  $L_p = 3770$  mm üzerinde  $t = 200$  mm kar kalınlığı için karın miktarı için hacmi  $V_K$  hesaplanırsa

$$V_K = t \times L \times L_p = 0.2 \times 4.5 \times 3.77 = 3.39 \text{ m}^3 \text{ bulunur.}$$

Kollektöre yatayda kardan dolayı etki eden kuvvet

( $F_{KY}$ ),

$$F_{KY} = gxVx\rho_k = 9.807 \times 3.39 \times 152 = 5053 \text{ N}$$

Bulunur. Parabolik kolektör yatay pozisyonunda iken yatay yön boyunca yüzeyine rüzgâr etki ettiğinden ( $F_{RY}$ ) kuvveti meydana gelir.  $F_{RY}$  kuvveti millere yatay yönde tork oluşturur.

Paraboliğin yan tarafına etki eden rüzgar kuvveti hesaplamak için

$$F_{RY} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_R^2 \quad (4)$$

Eşitliği kullanılır. 15 °C ve 1 atmosfer basıncındaki hava yoğunluğu  $\rho_{\text{hava}} = 1.225 \text{ kg/m}^3$ , bölgede esebilecek rüzgar hızı  $V_R = 10 \text{ m/s}$ , kolektörün yatay konumdaki yüksekliği  $h = 0.82 \text{ m}$  kolektörün uzunluğu  $L = 4.5 \text{ m}$  alındığında paraboliğin yan tarafına etki eden rüzgar kuvveti (4) eşitliğinde yerine konursa  $F_{RY} 226 \text{ N}$  bulunur.

Sistem yatayda iken toplam yükten dolayı meydana gelen kuvvetlerin bileşkesi  $F_{TY}$

$$F_{TY} = F_K + F_{KY} + F_{RY}$$

$$F_{TY} = 8826 + 226 + 5049 = 14101 \text{ N} \text{ bulunur.}$$

### 3.2.1. Parabolik Kolektör Dikey Durumunda İken Mile Gelen Kuvvet Hesabı

Parabolik kolektör dikey konumda iken kütesinden dolayı oluşan kuvvet yatay pozisyonundaki gibidir. Dikey konumda karın fazla tutmayacağı düşünülerek hesaba katılmamıştır. Fakat dikeyde pozisyonda yataydan daha fazla rüzgar kuvvetine maruz kalmaktadır. Daha önceki hesaplamalarda kabul edilen rüzgar hızı ve yoğunluk aynıdır. Parabolik doğuya veya batıya tam döndüğündeki genişliği  $w = 3.35 \text{ m}$  idi. Değerler yerine konulduğunda tablo 2 deki  $F_K$ ,  $F_{RD}$ ,  $F_{TD}$  değerleri bulunur.

Tablo2 . Paraboliğin kütlesi ile rüzgar ve kar etkisiyle oluşan kuvvetler

	Kütleden dolayı oluşan kuvvet, N	Kardan dolayı oluşan kuvvet, N	Rüzgardan dolayı oluşan kuvvet, N	Toplam yükten dolayı kuvvetlerin bileşkesi, N
Yatayda	$F_K = 8826$	$F_{KY} = 5053$	$F_{RY} = 226$	$F_{TY} = 14105$
Dikeyde	$F_K = 8826$	-	$F_{RD} = 923$	$F_{TD} = 9749$

### 3.3. Parabolik Kolektörün Yatay Durumunda H Kesitine Gelen Kuvvetlerden Dolayı Mekanik Olarak İncelenmesi

Parabolik kolektör yatay durumunda iken; H profiline yatay boyunca yayılı yükten dolayı dikey ekseninde kuvvet etki eder. Parabolik kolektörün iki miline kaynaklı 120x100x6x4500 mm uzunluğunda H profili seçilmiştir. Çelik profil için elastite modülü  $E = 190 \text{ GPa}$ , atalet momenti de  $I = 8061970 \text{ mm}^4$  hesaplandı. Profil uzunluğundan dolayı sehimi kontrolünün yapılması gerekir. Yayılı yük  $q$ ,

$$q = \frac{F}{L} = \frac{14105}{4500} = 3.134 \text{ N/mm}$$

Şekil 3. de görüldüğü gibi toplam yük iki mesnetle I profili taşımaktadır. Bu tarzdaki yükleme için sehimi miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir(8).

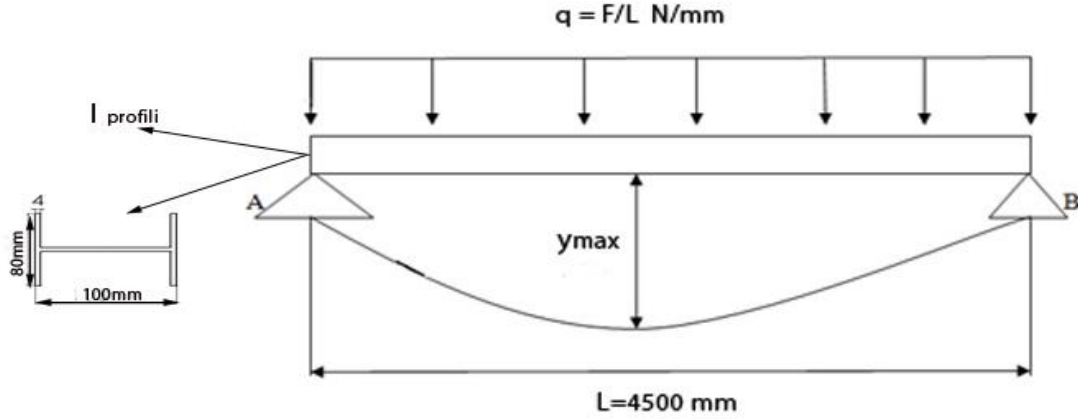
$$y_{\max} = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I} \quad (5)$$

$$y_{\max} = \frac{5 \times 3.134 \times 4500^4}{384 \times 190000 \times 8061970} = 12.3 \text{ mm}$$

Malzemenin hasara uğramayacağı emniyetli sehimi miktarı iki mesnet arasındaki mesafenin  $L/300$  e bölümüyle kabul edilmektedir.

$$y_{\text{emni}} = L/300 = 4500/300 = 15 \text{ mm}$$

$y_{\text{emni}} > y_{\max}$  olduğundan emniyetli olduğu kabul edildi.



Şekil 3. H profili üzerindeki yayılı yük ve sehim

Yayıllı yük etkisiyle oluşan maksimum moment için aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir (8).

$$M_{\max} = \frac{q \times L^2}{8} \quad (6)$$

$$M_{\max} = \frac{3,134 \times 4500^2}{8} = 7932937 \text{ Nmm}$$

$M_{\max}$  tan dolayı malzemede oluşan aksiyal gerilme( $\sigma$ ) ise

$$\sigma = \frac{M_{\max} \times c}{I} \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{7932937 \times 40}{3425296} = 92.64 \text{ MPa}$$

Bulunur. S235 (St 37) çelik için akma gerilmesi  $\sigma_{y,k} = 235 \text{ MPa}$  ve statik yüklemeler için emniyet faktörü ( $n$ ) 2 olarak kabul edilirse ;  $\sigma_{\text{emniyet}} = \frac{\sigma_{y,k}}{n} = \frac{235}{2} = 117.5 \text{ MPa}$   $\sigma_{\text{emniyet}} > \sigma$  olduğundan sistem emniyetlidir.

### 3.4. Yatay Durumunda Daire Kesitli Mile Gelen Kuvvetler

Parabolik kolektör yatay durumunda iken; mile hem dikey ekseninde hem de yatay ekseninde kuvvet etki eder. Dikey kuvveti mile yayılı yük olarak etki eder. Şekil.4 te gösterildiği gibi milin çapı 70 mm uzunluğu fakat redüktörün içinde kalan kısmı 300 mm dir. Yapılan hesaplamalarla milin ağırlık eksenine G ye olan uzaklığı a = 400 mm, Atalet momenti 1178588.1 mm, polar atalet momenti (J) ise 2357176.2 mm<sup>4</sup> bulunmuştur.

Mille dikey yönde  $F_{RY}$  hariç  $F_K$  ve  $F_{KY}$  kuvvetleri etki eder. Tablo 2. de verildiği gibi 13879 N dir. Bu kuvvet iki mil tarafından paylaşıldığı için 6940 N, yayılı yük ise muylu kısmı 300 mm olduğundan 23.5 N/mm bulunur. Sehim için aşağıdaki bağıntıdan yararlanılır.

$$y_{\max} = \frac{q \times L^4}{8 \times E \times I} \quad (8)$$

$$y_{\max} = \frac{23.5 \times 300^4}{8 \times 190000 \times 1178588} = 0.1045 \text{ mm}$$

bulunur. Parçanın hasara uğramayacağı sehim miktarı  $y_{\text{emn}}$ ,

$$y_{\text{emn}} = L / 300 = 300 / 300 = 1 \text{ mm}$$

$y_{\text{emn}} > y_{\max}$  olduğundan sınır değerinin aşılmadığı görülmüştür.

Mille yatay yönde  $F_{RY}$  rüzgar kuvvetinden dolayı tork oluşmaktadır. Bu tork yatay durumda iken kolektör boyu ile Tablo 1. de verildiği gibi rüzgar kuvvetinin çarpımından bulunabilir.

$$\sum T_{RY} = F_{\text{rüzgar}} \times L_{\text{kolektör}} \quad (9)$$

$$\sum T_{RY} = 226 \times 820 = 185320 \text{ Nmm}$$

Her iki tarafta da mil bulunduğu tork kuvveti bir mile  $\sum T_{RY} / 2$  şeklinde etki eder. İşlem yapıldığında 92660 Nmm bulunur. Rüzgar kuvvetinden dolayı oluşan tork gerilmesi ise

$$\tau = \frac{T \times r}{J} \quad (10)$$

$$\tau = \frac{92660 \times 35}{2357176,2} = 1.38 \text{ MPa}$$

Dolu çelikler için kayma modulu  $G = 75 \times 10^3 \text{ GPa}$ , tarafsız eksene olan uzaklık  $c = 35 \text{ mm}$  dir. Kesit eğilme mukavemet momenti  $J = 2357176 \text{ mm}^4$  bulunur. Yayılı yükten dolayı oluşan moment ise

$$M_{\text{kütle max}} = \frac{q \times L^2}{2} = \frac{23,1 \times 300^2}{2} = 1057500 \text{ Nmm}$$
 ve oluşan gerilme ise

$$\sigma = \frac{M_{\text{kütle}} \times c}{I} = \frac{1193400 \times 35}{1178588,1} = 31.4 \text{ MPa}$$
 bulunur.

Sisteme normal gerilmesi asal gerilme olarak etki eder. Asal gerilmeler hesaplanırsa;

$$\sigma = \sigma/2 \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (11)$$

$$\sigma = 31.4 / 2 \pm \sqrt{\left(\frac{31,4}{2}\right)^2 + 1.38^2}$$

$$\sigma_{\max} = 31.46 \text{ MPa} \quad \sigma_{\min} = -0.06 \text{ MPa}$$

Tablo 3. H kesiti ve Milin mekanik hesaplama değerleri

	Yayılı Yük N/mm	Atalet Momenti mm <sup>4</sup>	Sehim mm	Gerilme( $\sigma$ ) MPa	Kayma Gerilmesi $\tau$ MPa	Kayma Gerilmesi $\tau$ MPa
I Profilinde	3.134	3425296	45 > 25.7 $y_{emn} > y_{max}$	117.5 > 92.5 $\sigma_{emn} > \sigma$	-	-
Milde	23.1	1178588	3 > 0.1045 $y_{emn} > y_{max}$	117.5 > 35.5 $\sigma_{emn} > \sigma$	58.75 > 17.7 $\tau_{emn} > \tau$ Yatay Yönde	58.75 > 26.21 $\tau_{emn} > \tau$ Dikey Yönde

Çelik için akma gerilmesi  $\sigma_{akma}$  S235 MPa,

$$\sigma_{emniyet} = \frac{\sigma_{akma}}{n} = \frac{235}{2} = 117,5 \text{ MPa}$$

$\sigma_{emn} > \sigma$  sistem emniyetlidir.

Sisteme kayma gerilmesi asal kayma gerilme olarak etki eder. Asal kayma gerilmeler hesaplanırsa;

$$\tau = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \pm \sqrt{\left(\frac{31,4}{2}\right)^2 + 1,38^2} = \pm 15,76 \text{ MPa}$$

$\tau_{max} = 15.76 \text{ MPa}$ ,  $\tau_{min} = -15,76 \text{ MPa}$   
Emniyetli kayma gerilmesi, emniyetli normal gerilmenin yarısı olur.

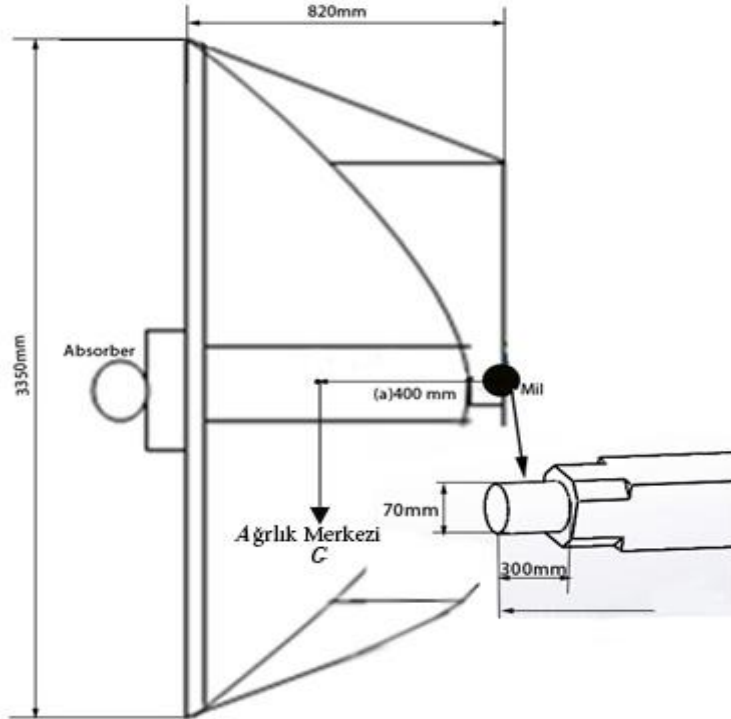
$$\tau_{emniyet} = \frac{\sigma_{emniyet}}{2} = \frac{117,5}{2} = 58.75 \text{ MPa}$$

$\tau_{emniyet} > \tau_{min}^{max}$  sistem emniyetlidir.

Şekil 4. de görüldüğü gibi milin ağırlık merkezine uzaklığı (a) 400 mm, kütlesi (m) 900 kg, yerçekim ivmesi (g) 9.0807 alınarak torku hesaplandığında 3530520 Nmm bulunur. İki mile bölündüğünde 1765260 Nmm bulunur. Torktan dolayı oluşan gerilme ( $\tau$ ) 26.21 Mpa bulunur.

$$\tau_{emn} = \sigma_{emn}/2$$

$\tau_{emn} = 117.5/2 = 58.75 \text{ MPa}$  olduğundan emniyetlidir (Tablo 3).



Şekil 4. Sistemin dikey pozisyonu ve mil boyutu

### 3.5. Parabolik Kolektörün Yatayda Ayaklara Gelen Kuvvetlerden Dolayı Mekanik Olarak İncelenmesi

Parabolik kolektör yatay konumunda iken ayaklara  $F_{küttele}$ ,  $F_{kar}$  dikey ekseninde etki eder. Tablo 2. de görüldüğü gibi  $\sum F = F_{küttele} + F_{kar} = 14105 \text{ N}$

Sistemin iki tarafında ayaklar oluşu için etkiyen kuvvet yarısı  $7057 \text{ N}$  dir. Kullanılan kare profilin şekil de görüldüğü gibi ebatları  $120 \times 120 \times 4 \text{ mm}$  dir. Yapılan hesaplamada atalet momenti  $I = 2191338 \text{ mm}^4$  bulundu. AB profilinde kuvvet etkisiyle oluşan sehim miktarı

$$y_{\max} = \frac{F \times L^3}{48 \times E \times I} = \frac{7057 \times 940^3}{48 \times 190000 \times 2191338} = 0.30 \text{ mm}$$

$$y_{\text{emn}} = L / 300 = 940 / 300 = 3.13 \text{ mm}$$

$y_{\text{emn}} < y_{\max}$  olduğundan sınır değerinin aşılmadığı görülmüştür.

$$M_{\max} = \frac{F \times L}{4} = \frac{7057 \times 940}{4} = 1658395 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max} \times c}{I} = \frac{1658395 \times 60}{2191338} = 45.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{akma} = 235 \text{ MPa}$$

Statik yüklemeler için emniyet faktörü, yüksek bir güvenlik düzeyi hedef alındığından  $n = 2$  olarak kabul edilirse;

$$\sigma_{\text{emn}} = \frac{\sigma_{akma}}{n} = \frac{235}{2} = 117.5 \text{ MPa}$$

$\sigma_{\text{emn}} > \sigma$  sistem emniyetlidir.

Şekil 5. te gösterilen AD kirişi iki tarafta da olduğundan tüm ayaklara etkiyen kuvvetin yarısı etkir.

$$F_{AD} = F_E / 2 = 7057 / 2 = 3528 \text{ N}$$

AD noktası incelendiğinde; M - D noktasında F kuvvetinden dolayı oluşan moment;

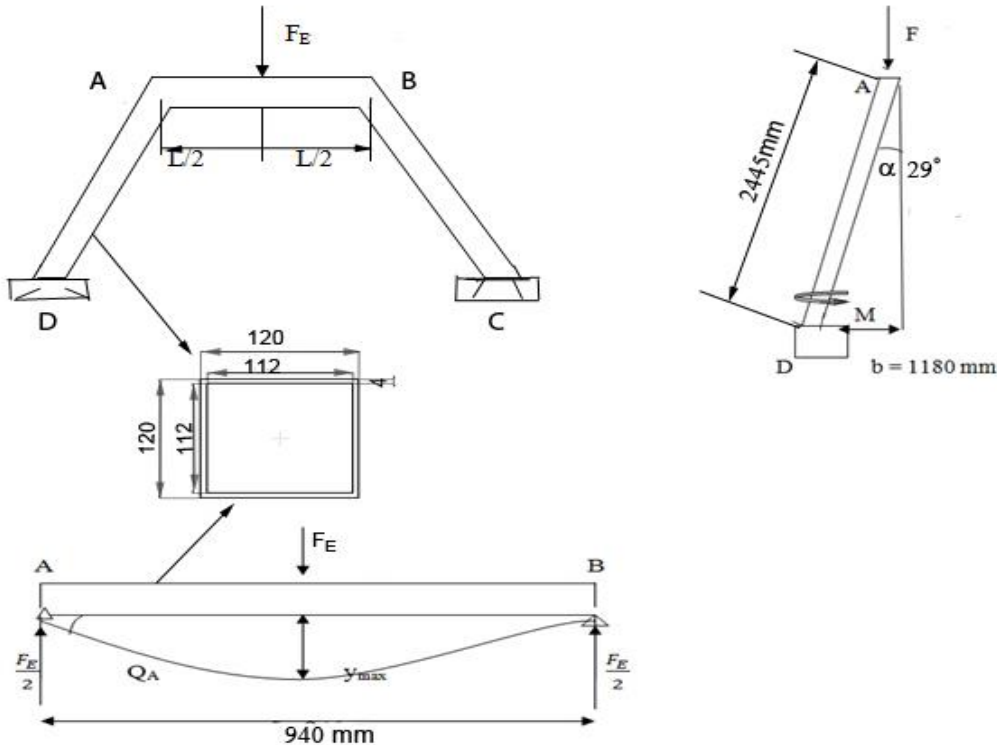
$$M = F \times b = 3528 \times 1180 = 4163040 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max} \times c}{I} = \frac{4163040 \times 60}{2191338} = 114 \text{ MPa}$$

$\sigma_{akma} = 235 \text{ MPa}$  statik yüklemeye için emniyet katsayısı (n) 2 kabul edildiğinde

$\sigma_{\text{emn}} = \frac{\sigma_{akma}}{n} = \frac{235}{2} = 117.5 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_{\text{emniyet}} > \sigma$  sistem emniyetli olduğu görülür.

Ayaktaki A ve B noktalarındaki kaynaklı birleşim, kurallarına göre oluşturulmuş bir bağlantıdır (Şekil 5).



Şekil 5. Ayak profilleri üzerine gelen kuvvetler

Yukardaki incelemelere ek olarak kar yükü ve rüzgar yükleri TS 498(10) e göre hesaplamak istenirse Şanlıurfa'nın rakımı 500 m ve kar yükü bölgesi I. olduğundan  $q_{kar} 750 \text{ N/m}^2$  kabul edilmektedir.

Parabolik  $15 \text{ m}^2$  olduğundan  $F_{kar} 11.250 \text{ N}$  bulunur. Rüzgar yükünü de TS498 e göre aldığımızda 0-8 m arasındaki yapılar için düşey taraflarına gelen rüzgar basıncı  $q_{kar} 500 \text{ N/m}^2$  alınabilir. Kolektörün dikey

durumda izdüşüm alanı yine  $15 \text{ m}^2$  alındığında  $F_{\text{rüzgar}}$  kuvveti  $7500 \text{ N}$  olur. Rüzgar ve kar yüklerine kollektörün zati yükü  $900 \text{ kg}$  çizgisel yük olarak aldığımızda etki eden  $F$  kuvveti yatay da  $20050 \text{ N}$  ve  $F$  dikey de ise  $16300 \text{ N}$  a yükselmektedir. Sistemi TS 498 e göre kar ve rüzgar kuvvetleri etki ettiğini kabul edip yeniden dizaynında profil kesitlerini bir miktar artırmak gerekir.

### 3.6 Sistemin Deprem Hesabı

Deprem hesabı 1998 tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Burada bu ayrıntılara girmeden ve emniyetli tarafta kalacak şekilde  $F_{\text{deprem}} = C \times W = 0.20 \times 1000 \times 9.81 = 1960 \text{ N}$  olarak alınacaktır. (14) Bu ifadede

$W$  sistemin zati ağırlığı,  $C$  deprem katsayısı olarak adlandırılır. Ağırlık merkezinden ( $G$ ), tabana olan yükseklik  $h$  olduğunda (Şekil. 6)

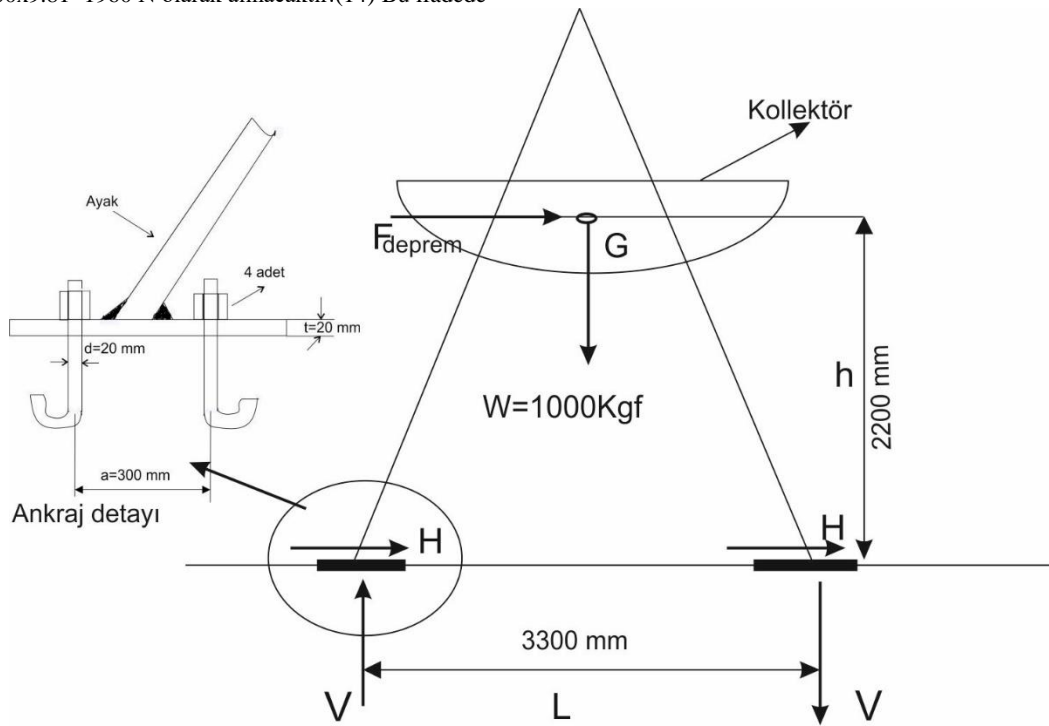
Devirme Momenti ( $M_{\text{devirme}}$ )

$$M_{\text{devirme}} = F_{\text{deprem}} \times h = 1960 \times 2.20 = 4312 \text{ Nm}$$

Taban bağlantı bölgelerinde depremden dolayı yatay ve düşey kuvvetler  $H$  ve  $V$

$$H = F_{\text{deprem}} / 4 = 1960 / 4 = 490 \text{ N}$$

$$V = M_{\text{devirme}} / L = \frac{4312 / 2}{3.30} = 653 \text{ N bulunur.}$$



Şekil 6. Sistemin depremden dolayı devrilme ve ankrajara etki eden kuvvetler

Taban bağlantı bulonlarında kontroller:

$H$  etkisi altında  $\tau$  ve  $\sigma_1$  kontrolleri

$$\tau = \frac{H/4}{\frac{\pi d_s^2}{4}} = \frac{1960/4}{\frac{\pi \cdot 0.017^2}{4}} = 2.158 \text{ MPa bulunur.}$$

$$\tau < \tau_{\text{emn}} = 137 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_l = \frac{H/4}{d \cdot t} = \frac{1960/4}{0.02 \times 0.02} = 1.225 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 < \sigma_{\text{emn}} = 274 \text{ Mpa}$$

Her iki kontrolün sağladığı görülür. Çünkü  $H/4$  kuvveti çok küçüktür.

$V$  kuvveti altında  $\sigma_z$  kontrolü :

$$\sigma_z = \frac{V}{\frac{\pi (0.86 \cdot d)^2}{4}}$$

$$\sigma_z = \frac{653/4}{\frac{\pi (0.86 \cdot d)^2}{4}} = 0.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_z < \sigma_{z,\text{emn}} = 117 \text{ Mpa}$$

Sistemin depreme karşı karşı emniyetlidir.



#### 4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Sistem dinamik olmasına rağmen çok yavaş dönen bir yapı olduğu için yapılan hesaplamalar statik bir yapı gibi düşünülerek yapılmıştır. Bu hesaplamalarda sistemin konstrüksiyonu için seçilen çelik malzemenin emniyet sınırlarında olduğu için uygun olduğu anlaşılmıştır. Dinamik hesaplamalar için moment değerleri değişir. Seçilen çelik konstrüksiyon yerine alüminyum alaşım profil seçilseydi sistem daha hafif olacaktı. Sistemin kurulduğu Şanlıurfa da yıllık rüzgar ve kar yağışı yüksek yoğunlukta değildir. Meteorolojinin hazırladığı REPA bilgileri ışığında Şanlıurfa için rüzgar 10 m/sn seçildi. Kar yükü de amprik bağıntılardan yararlanıldığı için hesaplamalarda yakın değerler kabul edilebilir. Güneş enerjisinden elektrik elde edilmek istenildiğinde daha büyük bir alana ihtiyaç duyulacaktır. Bu nedenle bu sistemde kullanılan redüktör, pompa ve elektrik motoru için yapılan maliyet düşecektir.

Türkiye de yenilenebilir enerji kaynakların başında gelen güneş enerjisinin ısı enerjisinden düz toplayıcılar ile yararlanma yüksek düzeydedir (11,12). Fakat yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan parabolik toplayıcıların kullanımı ise yoktur. Türkiye yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat ve ortalama ışınım miktarı 1311 kWh/m<sup>2</sup>(13) dir. Şanlıurfa da ise yıllık güneşlenme süresi 2900 saat ortalama ışınım miktarı ise 1450 kWh/m<sup>2</sup> civarındadır. Parabolik kollektörlerle bölgede elektrik üretimi için gereken ilgiyi çekmek gerekmektedir.

Not : Bu kollektör, Şanlıurfa da Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırmak için kurulan GAPYENEV (GAP Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Merkezi) imkanlarıyla imalatı yapılmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Parabolic trough collectors for industrial process heat in Cyprus. Kalogirou, S., 2002. Energy 27, p.813–830
- [2] Solar thermal collectors and applications, Soteris A. Kalogirou, Progress in Energy and Combustion Science 30 2004, p231–295
- [3] Advances in solar thermal electricity technology, D. Mills, Solar Energy, 76 2004, p.19–31.
- [4] Design and Construction of a Parabolic Trough Solar Collector for Process Heat Production, Irving Eleazar , Pres Montes, Energy Procedia 57 2014, p.2149-2158.
- [5] M. Mier-Torrecilla, Numerical calculation of wind loads over solar collectors, Energy Procedia 49 2014 , p.163 – 173
- [6] Wind Loading on Solar Collectors, S. Bhadurl, L. M. Murphy, 1985, Solar Energy Research Institute.
- [7] Türkiye Kar Verilerinin İstatistiksel Analiziyle Türk Standartlarındaki Zemin Kar Yüklerinin Değerlendirilmesi, M. Durmaz, A. Daloğlu, İMO Teknik Dergi, 2014, s. 6889-6908, Yazı 424
- [8] M.Bakioğlu, Cisimlerin Mukavemeti cilt1,2, Beta Yayınevi, 2009
- [9] TS 7046 Mayıs 1989, [https://drive.google.com/folderview?id=0B\\_0LL77de\\_LYaGVWQjFfc0diekE&usp=sharing](https://drive.google.com/folderview?id=0B_0LL77de_LYaGVWQjFfc0diekE&usp=sharing)
- [10] TS 498 Kasım 1997, <http://imb.cu.edu.tr/TS498.pdf>
- [11] Solar water heating: From theory, application, marketing and research Zhangyuan Wang, Wansheng Yang Feng Qiu Xiangmei Zhang Xudong Zhao, Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 41, Jan 2015, p. 68–84
- [12] Termal güneş enerjisi teknolojileri ve GAP bölgesine yönelik fırsatlar, B.Yeşilata, H.Bulut. C.Çetiner, Mühendis ve Makine, cilt 2. Sayı 622, s. 47-56.
- [13] A data mining approach: Analyzing wind speed and insolation period data in Turkey for installations of wind and solar power plants, İlhami Colak a., Seref Sagioglu b, Mehmet Demirtas a, Mehmet Yesilbudak, Energy Conversion and Management 65 2013, p.185-197.
- [14] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, 1995, Ankara.