

# SİLİNDİRİK PARABOLİK GÜNEŞ TOPLAYICILARININ TERMODİNAMİK DEĞERLENDİRMESİ

Candeniz SEÇKİN

## ÖZET

Bu çalışmada, bir silindirik parabolik güneş toplayıcı sistemi ele alınarak depo hacmi, ısı taşıyıcı akışkan debisi ve açıklık alanı miktarındaki değişimlerin; termodinamiğin birinci ve ikinci kanun verimi ve gün sonu depo suyu sıcaklığı değerlerine etkisi incelenmiştir. Bu incelemelerin yapılması için sayısal çözüm metotlarının uygulandığı bir bilgisayar programı oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Sistemin gün sonu konut sıcak su ihtiyacının karşılanması amacı ile kullanımı halinde, ısı taşıyıcı akışkan debisi ve depo hacminin optimal değerleri belirlenmiştir. Toplayıcı olarak, Ankara ili Haziran ayı şartları altında, yatayla enlem açısı kadar açı yaparak güneye dönük şekilde kuzey-güney doğrultusunda yerleştirilmiş ve güneşi tek ekseninden takip eden bir toplayıcı sistemi ele alınmıştır.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda, başta gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler olmak üzere dünyanın bir çok ülkesinde fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarına uluslararası ve ulusal bazda getirilen kısıtlamaların artması sonucu, sera gazı etkisinin söz konusu olmadığı bir yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin kullanım oranını ve bu teknolojilerin gelişmesi için yapılan çalışmaların önemini arttırmıştır. Bu çalışmanın konusu olan silindirik parabolik güneş toplayıcıları da uzun yıllardır teknik ve ekonomik yönden gelişimi amaçlanan ve son yıllarda uygulama alanı artan güneş enerjisi teknolojilerindedir.

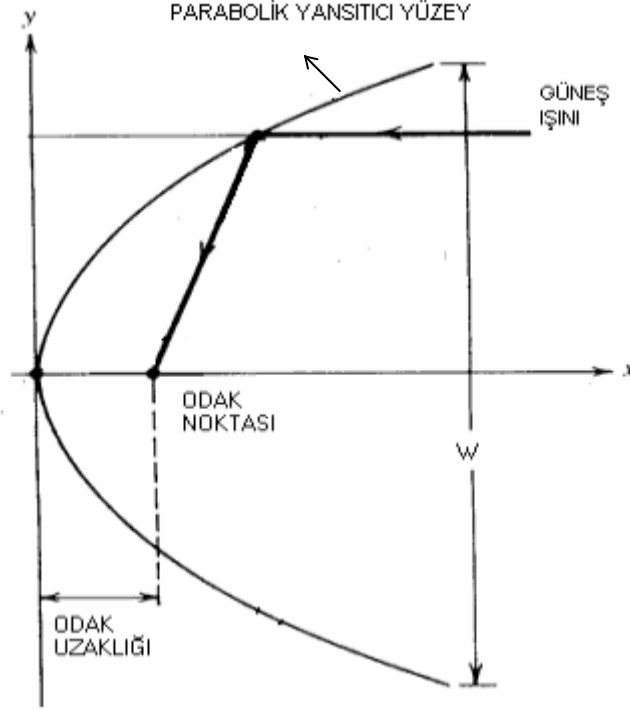
Güneş enerjisinden faydalanılarak ısıl enerji elde edilen toplayıcı sistemleri, sistemde kullanılan akışkanın toplayıcı çıkış sıcaklığına göre: Düşük sıcaklık uygulamaları (<100 °C), orta sıcaklık uygulamaları (100 - 300 °C) ve yüksek sıcaklık uygulamaları (> 300 °C) şeklinde gruplandırılır. Tüm orta ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan toplayıcılar, yansıtıcı bir yüzey üzerine düşürülen güneş ışınlarını optik olarak dar bir alan üzerine yoğunlaştırır ve bu dar alanda bulunan ısı taşıyıcı akışkanın sıcaklığı yükseltilir. [1]

Silindirik parabolik güneş toplayıcısı sistemleri, orta sıcaklık uygulamaları kapsamına giren bir yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemidir ve elektrik üretiminden konut ısıtmasına kadar farklı alanlarda kullanılmaktadır. Geometrik yapısının basitliği üretim safhasında kolaylık sağladığından, orta sıcaklık uygulamaları kapsamında kullanılan güneş toplayıcıları arasında en çok kullanılan toplayıcı türüdür.

Bu çalışmada incelemek üzere, kuzey-güney eksenini boyunca, yatayla enlem açısı kadar eğim yaparak güneye dönük yerleştirilmiş ve güneşi tek ekseninden takip eden bir silindirik parabolik toplayıcı ele alınmıştır. İnceleme, Ankara'da Haziran ayı şartları altında yapılmıştır. Sistemde değişken işletim parametrelerinin (açıklık alanı, ısı taşıyıcı akışkan debisi ve sisteme entegre olmuş deponun hacim değerleri) değişiminin, günlük ortalama termodinamiğin I. ve II. kanun verimi ve gün sonu depo suyu sıcaklıkları üzerinde yarattığı sonuçlar incelenmiştir. Bilgisayar ortamında yapılan bu inceleme için sayısal çözüm metotlarının kullanıldığı bir program, Fortran programlama dilinde yazılmıştır.

## 2. SİLİNDİRİK PARABOLİK GÜNEŞ TOPLAYICILARI

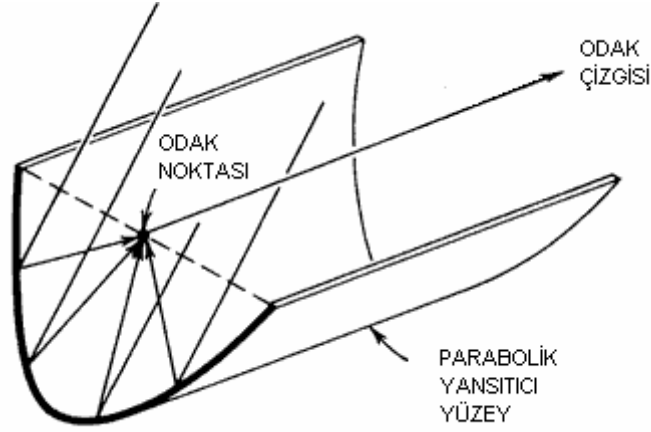
Silindirik parabolik güneş toplayıcıları, parabolik geometriye sahip yansıtıcı yüzey üzerine düşen direkt güneş ışınlarının, parabolün odak bölgesi üzerine Şekil 1'de görüldüğü gibi yansıtılarak yoğunlaştırılması ve bu yoğunlaştırılmış güneş ışınlarının sahip olduğu enerjinin ısı enerjisine çevrilerek odak bölgesinde bulunan akışkana geçirilmesi prensibi ile çalışır. Başka bir deyişle, güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisi akışkana geçirilir ve bu ısıdan istenen prosesde faydalanılır.



Şekil 1. Parabolik yansıtıcı yüzey geometrisi

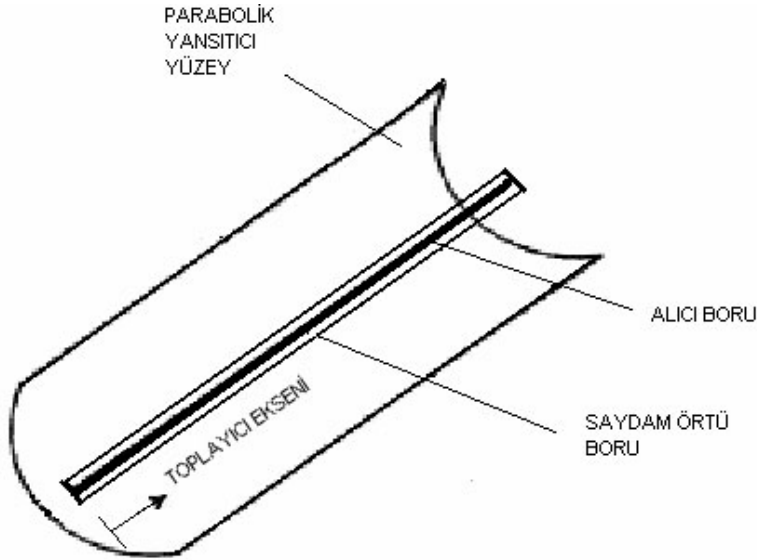
Silindirik parabolik güneş toplayıcıları gibi bir yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sisteminin ana elemanları: Güneş ışınları ile ilk tanışan ve bu ışınları istenen noktaya yansıtılarak yoğunlaştırılmasını sağlayan "yansıtıcı", yansıtılan güneş ışınlarının ulaştığı ve içinde ısı taşıyıcı akışkanın bulunduğu "alıcı", alıcı içerisinde bulunan ve alıcının sahip olduğu ısı enerjisinin büyük kısmını aktararak sıcaklık değerleri yükseltilecek akışkana da "ısı taşıyıcı akışkan" denir.

Yoğunlaştırıcı toplayıcının odak bölgesi, direkt güneş ışınlarının yoğunlaştırıldığı bölgedir. Güneşten elde edilen enerjinin ısı taşıyıcı akışkana geçirilmesi için alıcı, odak bölgesine yerleştirilir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, silindirik parabolik güneş toplayıcılarında, parabolik yansıtıcının odak noktalarının toplayıcı eksenini boyunca birleşiminden oluşan odak çizgisi, odak bölgesini oluşturur. Odak bölgesinin çizgisel olması sebebiyle alıcı, toplayıcı boyunca uzanan bir borudur. Bu nedenle silindirik parabolik güneş toplayıcısı sisteminin alıcısı, bundan sonraki kısımlarda "alıcı boru" olarak anılacaktır.



Şekil 2. Odak noktası ve odak çizgisi

Isı taşıyıcı akışkana geçirilecek ısı enerjisi, alıcı borudan sağlanmaktadır ve bu nedenle alıcı borunun olabildiğince çok ısı enerjisini yutması istenir. Büyük güneş ışınımı yutuculuğuna sahip malzemelerden üretilen alıcı boru, yüksek sıcaklık değerlerine çıkar. Alıcı borunun çevre ortam ile direkt temas etmesi halinde, çevreye taşınım ve ışınım yolu ile olan ısı kayıplar büyüyeceğinden, alıcı borunun üzerine bir kılıf gibi saydam örtü boru geçirilir. Saydam örtü boru, güneş ışınımı geçirgenliği yüksek, güneş ışınımı yutuculuğu düşük malzemelerden üretilir. Böylelikle üzerine yansıtılan güneş ışınlarının tamamına yakınına geçirip alıcı boruya ulaşmasını sağlamakta fakat düşük güneş ışınımı yutuculuğu neticesi alıcı borudan daha düşük sıcaklıklarda seyretmektedir. Böylece (alıcı boruya kıyasla) düşük sıcaklıklı saydam örtü borudan çevreye olan ısı kayıplar azalmakta ve sistem verimi artmaktadır. Yukarıda bahsedilen toplayıcı sistemi elemanlarının, sistem içerisindeki konumlandırılmaları Şekil 3.'de görülmektedir.



Şekil 3. Toplayıcının şematik gösterimi

Yüksek sıcaklıklı alıcı borudan düşük sıcaklıklı saydam örtü boruya ısı geçişinin olabildiğince az olması için alıcı boru ile saydam örtü boru arasında, ısı geçirgenliği düşük bir ortam oluşturmak istenir. Kimi toplayıcılarda vakum ortam oluşturulurken, kimi toplayıcılarda sistem karışıklığını azaltmak ve maliyet açısından, iyi bir ısı yalıtkanı olduğu bilinen hava kullanılır. Havanın güneş ışınımı geçirgenliği bire yakınsa ( $\tau_h=1$ ) güneş ışınımı yutuculuğu neredeyse sıfırdır ( $\alpha_h=0$ ) [2].

Bu nedenle güneşten elde edilen enerjiyi neredeyse hiç absorbe etmeyerek tamamen geçirmekte ve alıcı boruya ulaşmasını sağlamakta, ayrıca ısı geçirgenliği iyi olmadığı için alıcı boru ile saydam örtü boru arası ısı alışverişini düşük seviyede tutarak saydam örtü borunun sıcaklık değerlerinin yükselmesini büyük çapta engellemektedir. [3]

Bu tür yoğunlaştırılmalı toplayıcı sistemlerinde, açıklık alanına düşen güneş ışınlarının artırılarak sisteme sağlanan enerji miktarının büyümesi amacı ile yansıtıcı yüzeyin güneş ışınlarını gün boyunca takip etmesini sağlayan güneş takip sistemlerinden sıklıkla faydalanılmaktadır.

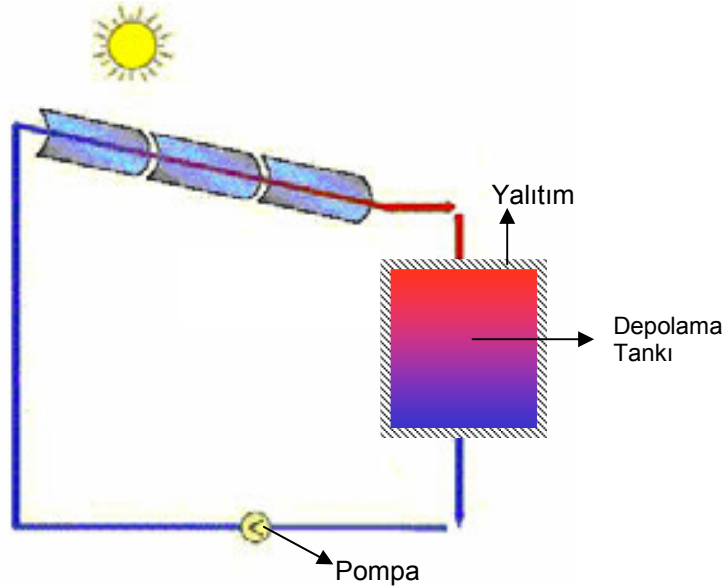
### 3. İNCELENEN TOPLAYICI SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada, silindirik parabolik güneş toplayıcılarının termodinamik incelemesi için Haziran ayı şartları altında, Ankara'da, kuzey-güney ekseni boyunca yerleştirilmiş, incelenen yerin enlem açısı kadar ( $39.95^\circ$ ) eğimle güneşe bakan ve güneş ışınlarını tek eksenden takip eden bir silindirik parabolik güneş toplayıcısı ele alınmıştır.

Çalışmada, bu tür toplayıcıların yapımında sıkça rastlanan malzeme ve boyutlara sahip örnek bir silindirik parabolik güneş toplayıcısı dizaynı incelenmiştir. Silindirik parabolik güneş toplayıcılarında alıcı boru genellikle çelik yada bakır olup 2.5-4 cm çap değerine sahiptir. Alıcı boru genelde siyah seçici bir yüzey ile (örneğin siyah krom vs.) kaplanır ve etrafını güneş ışınımı geçirgenliği yüksek bir malzemeden yapılan örtü boru sarar. Alıcı boru ile örtü boru arasında 1-2 cm. boşluk vardır ve bu boşluk vakum yada hava ile doludur. [4]

Sistem içerisinde dolaşan ısı taşıyıcı akışkan olarak su kullanılmıştır. Deponun alt kademesinden çıkarak toplayıcıya giriş yapan ısı taşıyıcı akışkan (su), toplayıcı içerisinde alıcı boru boyunca hareket ederek ısınmakta ve depo üst kademesinden depoya geri dönerek depo suyu sıcaklığını değiştirmektedir. Sistemden sıcak su ihtiyacı için çekilecek su, gün sonunda depodan elde edilecektir. Gün içerisinde depodan ihtiyaç için su çekilmemektedir.

Yapılan incelemeler için farklı depo hacimleri ele alındığından sabit bir depo hacmi değerinden söz edilemez. Kübik geometri sıcak su deposunda yalıtım malzemesi olarak 5 cm kalınlığında cam yünü kullanıldığı ve deponun alt yüzeyinin çevre ile ısı alışverişinde bulunmadığı kabul edilmiştir. Şekil 4.'de, ele alınan örnek toplayıcı sisteminin şeması görülmektedir.



Şekil 4. Örnek toplayıcı sistemi şematik gösterimi

Tablo 1’de, bu çalışmada incelemek için ele alınan toplayıcı sisteminin elemanlarının temel termofiziksel ve optik özellikleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Örnek toplayıcının termofiziksel ve optik özellikleri [1]

<b>Yansıtıcı Yüzey</b>	
Odak uzaklığı (F)	0.8 m
Toplayıcı uzunluğu (L)	10 m
Yansıtıcı yüzey yansıtma oranı ( $\rho$ )	0.9
Toplayıcı kesişme oranı ( $\gamma$ )	0.95
<b>Alıcı Boru</b>	
Malzeme	Siyah nikel seçici yüzey ile kaplı çelik
Boru dış çapı ( $D_1$ )	40mm
Et kalınlığı	2 mm
Özgül ısı ( $c_1$ )	500 J/kg K
Isı iletim katsayısı ( $k_1$ )	54 W/mK
Güneş ışınımı yutma oranı ( $\alpha_1$ )	0.9
<b>Saydam Örtü Boru</b>	
Malzeme	Borosilikat cam (payreks)
Boru dış çapı ( $D_2$ )	60 mm
Et kalınlığı	2 mm
Özgül ısı ( $c_2$ )	750 J/kgK
Isı iletim katsayısı ( $k_2$ )	1.14 W/mK
Güneş ışınımı yutma oranı ( $\alpha_2$ )	0.08
Güneş ışınımı geçirme oranı ( $\tau_2$ )	0.95

## 4. SAYISAL ÇÖZÜM

### 4.1. Kabuller

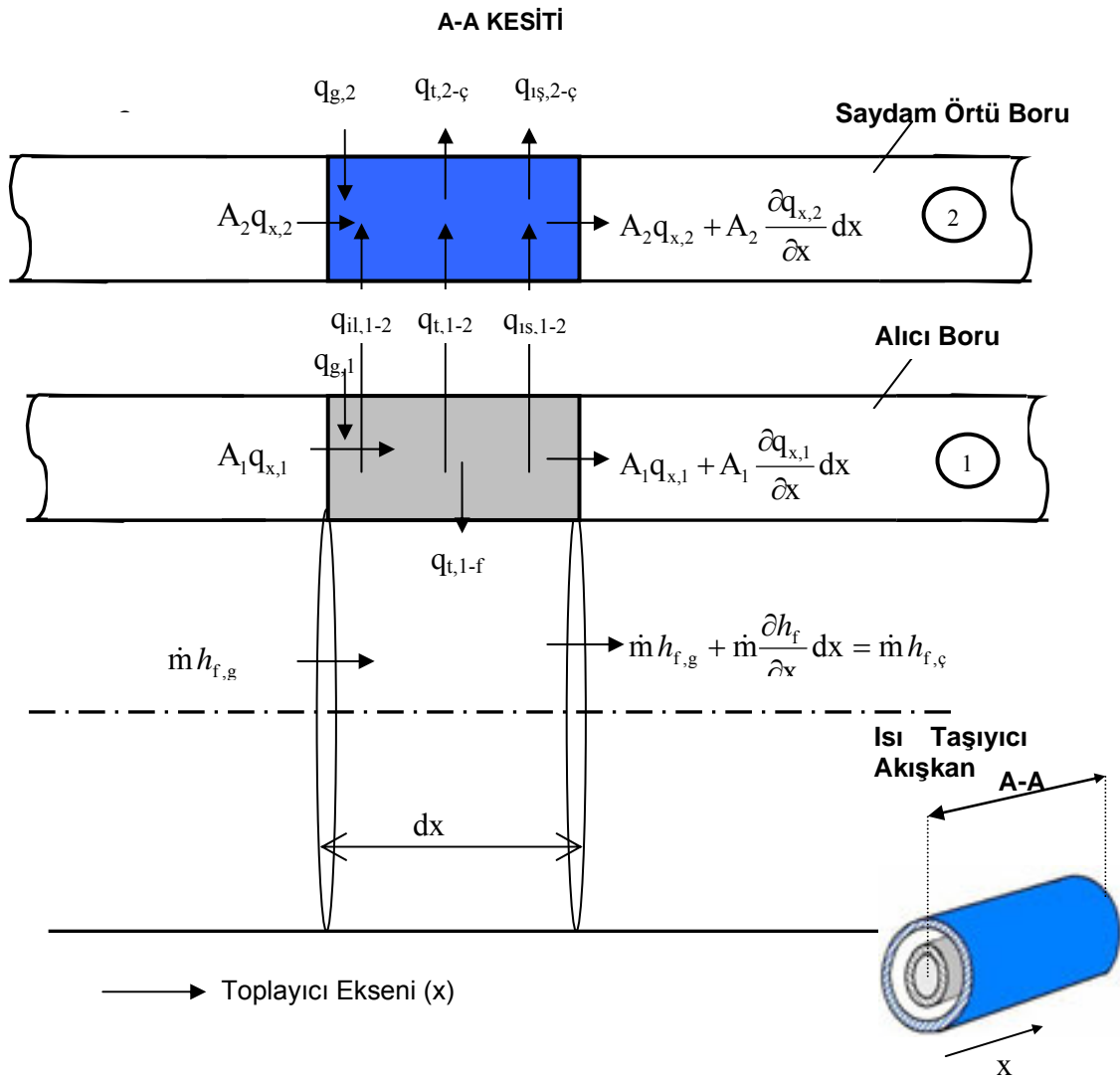
Sayısal hesaplama sırasında yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır.

- Depo ile toplayıcı sistemi arasında ısı taşıyıcı akışkanın taşıyan boruların kayıpları ihmal edilmiş, depodan çıkan ısı taşıyıcı akışkanın hiçbir ısı kayba uğramadan (sıcaklığı değişmeden) toplayıcıya girdiği ve toplayıcı çıkışında gene hiçbir ısı kayba uğramadan depoya ulaştığı kabul edilmiştir. Alıcı boru içerisinde akışın sürtünmesiz olduğu kabul edilmiştir.
- Sistem için termodinamik verim ifadeleri oluşturulurken, sistem içinde akışkanın sirkülasyonunu sağlayan pompanın tükettiği enerji, kayıp enerji kapsamında hesaba katılmamıştır. Bunun sebebi, debi ile beraber artan pompa gücünün, bu tür sistemlerde 30-60 W arasında değişmesidir [4]. Bu değer aralığı, sisteme güneş tarafından sağlanan güneş enerjisi yanında çok düşük kaldığından ihmal edilebilir.
- Sistem için termodinamik verim ifadeleri oluşturulurken, sistemde kullanılan güneş takip sisteminin güç tüketimi ihmal edilmiştir.

- Sistem elemanlarının (saydam örtü boru, alıcı boru ve ısı taşıyıcı akışkan) radyal doğrultudaki sıcaklık değişimleri ihmal edilmiştir. Bunun sebebi, radyal doğrultudaki uzunlukların çok küçük olmasıdır. 4 cm çaplı bir boruda akan suyun yada uygulamalarda genelde et kalınlığının 2-3 mm.'yi geçmediği alıcı boru ve saydam örtü borunun radyal doğrultudaki sıcaklık değişimi, sonuçları etkileyecek kadar büyük bir fark yaratmamaktadır.
- Gün Boyunca rüzgar hızı 3 m/s kabul edilmiştir.

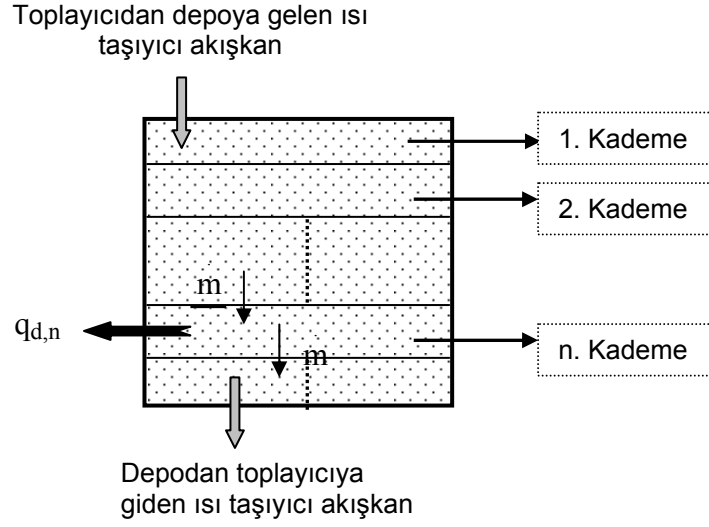
#### 4.2. Sistem Elemanlarının Isıl Denge İfadeleri Ve Termodinamik Eşitlikler

Toplayıcının güneş ışınımı ile buluşmasından itibaren, saydam örtü boru, hava, alıcı boru ve ısı taşıyıcı akışkanın kendi aralarında ve saydam örtü boru ile çevre ortam arasında ısı transferi gerçekleşmeye başlar. Şekil 5'de söz konusu ısı transferlerinin yönleri, her bir sistem elemanının incelenmesinde ele alınan  $dx$  uzunluklu birim eleman üzerinde gösterilmiştir.



**Şekil 5.** Alıcı boru, saydam örtü boru ve ısı taşıyıcı akışkan diferansiyel hacim elemanları

Diğer yandan, toplayıcı sistemine entegre olmuş deponun çevreyle ve (depo içinde sıcaklık dağılımı homojen olmadığı için) kendi içinde depo içinde sıcaklık dağılımı homojen olmadığı için) ısı geçişleri söz konusu olmaktadır. Bu çalışmada depo, kademelere (kontrol hacimlerine) bölünerek ele alınmış (Şekil 6) ve her depo kademesi içerisinde sıcaklık dağılımı homojen kabul edilmiştir.



**Şekil 6.** Deponun modellenmesi

Sistem elemanlarının ısııl denge ifadeleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Sistem için termodinamiğin I. Kanun verimi eşitliği, ısı taşıyıcı akışkana geçen enerjinin ( faydalı enerji,  $E_{fay}$ ) toplayıcı açıklık alanına düşen direkt güneş ışınımına oranı ( $E_{top,d}$ ) olarak ele alınmış ve aşağıda ifade edilmiştir.

$$\eta_I = \frac{E_{fay}}{E_{top,d}} = \frac{\dot{m} c_f (T_{f,\zeta} - T_{f,g})}{W L I_{top,d}} \quad (1)$$

$Eks_{fay}$ , ısı taşıyıcı akışkanın kullanılabilirlik (ekserji) miktarının, toplayıcı girişi ve çıkışı arasındaki değişimdir. Sistem için termodinamiğin ikinci kanun verimi değeri,  $Eks_{fay}$  değerinin, toplayıcının açıklık alanına düşen direkt güneş ışınımının kullanılabilirliğine ( $Eks_{top,d}$ ) oranıdır [6]

$$\eta_{II} = \frac{Eks_{fay}}{Eks_{top,d}} = \frac{\dot{m} c_f \left[ (T_{f,\zeta} - T_{f,g}) - T_R \ln \left( \frac{T_{f,\zeta}}{T_{f,g}} \right) \right]}{W L I_{top,d} \left[ 1 - \frac{4T_R}{3T_S} \right]} \quad (2)$$

$T_S$ , güneşin efektif siyah cisim sıcaklığı olup bu çalışmada 5762 K değerinde alınmıştır [7].

**Tablo 2.** Birim sistem elemanlarının enerji dengesi ifadeleri

Saydam Örtü Boru	
Temel Eşitlik	$[q_{g,2}] - [q_{t,2-\varphi}] - [q_{i\varphi,2-\varphi}] + [q_{i\varphi,1-2}] + [q_{il,1-2} + q_{t,1-2}] + \left[ A_2 k_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} dx \right] = \rho_2 c_2 A_2 dx \frac{\partial T_2}{\partial t}$
	$[\alpha_2 ((W - D_2) \rho I_{top,d} \gamma \kappa + I_{top,d} D_2) dx] - [h_{t,2-\varphi} C_2 dx (T_2 - T_\varphi)] - [h_{i\varphi,2-\varphi} C_2 dx (T_2 - T_\varphi)]$ $+ [h_{i\varphi,1-2} C_1 dx (T_1 - T_2)] + \left[ \frac{2\pi k_{h,eff}}{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)} (T_1 - T_2) dx \right] + \left[ A_2 k_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} dx \right] = \rho_2 c_2 A_2 dx \frac{\partial T_2}{\partial t}$
Alıcı Boru	
Temel Eşitlik	$[q_{g,1}] - [q_{t,1-f}] - [q_{i\varphi,1-2}] - [q_{il,1-2} + q_{t,1-2}] + \left[ A_1 k_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} dx \right] = \rho_1 c_1 A_1 dx \frac{\partial T_1}{\partial t}$
	$[\tau_2 \alpha_1 ((W - D_2) \rho I_{top,d} \gamma \kappa + I_{top,d} D_2) dx] - [h_{t,1-f} C_1 dx (T_1 - T_f)] -$ $[h_{i\varphi,1-2} C_1 dx (T_1 - T_2)] - \left[ \frac{2\pi k_{h,eff}}{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)} (T_1 - T_2) dx \right] + \left[ A_1 k_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} dx \right] = \rho_1 c_1 A_1 dx \frac{\partial T_1}{\partial t}$
Isı Taşıyıcı Akışkan	
Temel Eşitlik	$q_{t,1-f} = \dot{m} c_f dx \frac{\partial T_f}{\partial x} + \rho_f c_f A_f dx \frac{\partial T_f}{\partial t}$
	$h_{t,1-f} C_1 dx (T_1 - T_f) = \dot{m} c_f dx \frac{\partial T_f}{\partial x} + \rho_f c_f A_f dx \frac{\partial T_f}{\partial t}$
Depo	
Temel Eşitlik	$- U_{d,n} A_{d,n} (T_{d,n} - T_\varphi) = \dot{m}_{d,n} (T_{d,n} - T_{d,n-1}) + m_{d,n} c_{d,n} \frac{dT_{d,n}}{dt}$
	$m_{d,n} c_{d,n} \frac{dT_{d,n}}{dt} = \dot{m}_{d,n} (T_{d,n-1} - T_{d,n}) - U_{d,n} A_{d,n} (T_{d,n} - T_\varphi)$

Tablo 2 içerisindeki eşitliklerde ve metin içerisinde yer alan diğer bölümlerde geçen semboller Tablo 3'de sunulmuştur.



**Tablo 3.** Sembol Listesi

A	Alan ( $m^2$ )	q	Isı (W)
c	Sabit basınçta özgül ısı (J/kg K)	t	Zaman (s)
C	Çevre (m)	T	Sıcaklık (K)
D	Çap (m)	$T_s$	Güneş efektif siyah cisim sıcaklığı (K)
E	Enerji (W)	U	Toplam ısı geçiş katsayısı ( $W/m^2K$ )
Eks	Ekserji(W)	W	Açıklık alanı Genişliği (m)
h	Isı taşınım katsayısı ( $W/m^2K$ )	V	Hacim ( $m^3$ )
$h$	Özgül entalpi (J/kg)	$\alpha$	Güneş ışınımı yutma oranı
l	Açıklık alanına gelen anlık direkt güneş ışınımı ( $W/m^2$ )	$\gamma$	Kesişme Oranı
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)	$\kappa$	Kesişme oranı düzeltme faktörü
L	Uzunluk (m)	$\eta_I, \eta_{II}$	Termodinamiğin I. ve II. Kanun verimi
$\dot{m}$	Isı taşıyıcı akışkan debisi (kg/s)	$\eta_{I-ort}, \eta_{II-ort}$	Günlük ortalama termodinamiğin I. ve II. Kanun verimi
m	Kütle (kg)	$\tau$	Güneş ışınımı geçirgenlik oranı
<b>Alt İndisler</b>			
1	Alıcı boru	g	Giriş
2	Saydam örtü boru	g,1	Alıcı borunun aldığı ışınım
a	Açıklık alanı	g,2	Saydam örtü borunun aldığı ışınım
$\dot{c}$	Çevre	ış,1-2	Işınım ile alıcı boru ve saydam örtü boru arası
d,n	Deponun n. kademesi	ış,2- $\dot{c}$	Işınım ile saydam örtü boru ve çevre arası
d-opt	Depo için optimum değer	il,1-2	İletim ile alıcı boru ve saydam örtü boru arası
h	Hava	R	Ölü hal
h,eff	Hava iletim ve taşınım katsayısı toplamı	t,1-2	Taşınım ile alıcı boru ve saydam örtü boru arası
f	Isı taşıyıcı akışkan	t,1-f	Taşınım ile ısı taşıyıcı akışkan ve alıcı boru arası
f, $\dot{c}$	Isı taşıyıcı akışkan çıkış	t,2- $\dot{c}$	Taşınım ile saydam örtü boru ve çevre arası
f,g	Isı taşıyıcı akışkan giriş	top,d	Toplayıcı direkt güneş ışınımı
fay	Faydalı	x	Toplayıcı ekseni boyunca

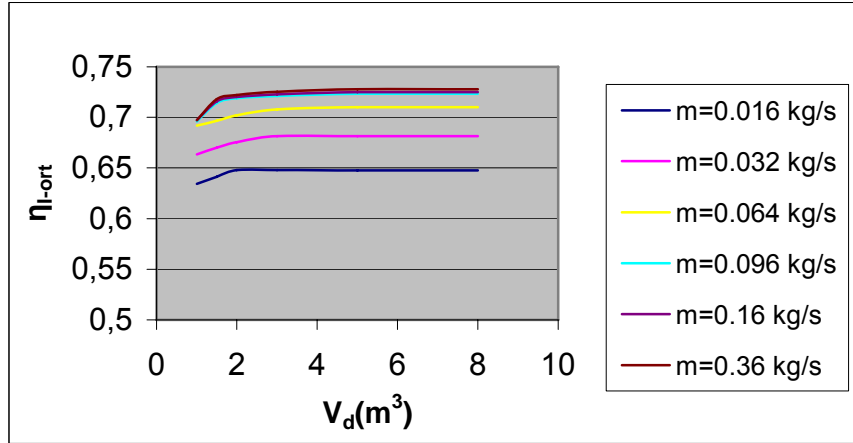
Sayısal çözüm metodu uygulanırken, Tablo 2'de sıralanan, sistemin 4 elemanı için geliştirilen diferansiyel denklemler, sonlu farklar metodu kullanılarak ayrıştırılmış ve sıcaklık değerleri Gauss Seidel iterasyon metodu kullanılarak bulunmuştur. Hesaplanan bu sıcaklık değerleri, (1) ve (2) eşitliklerinde yerine konularak her iki termodinamik verim değeri günün farklı anlarında elde edilmiştir. Bu değerlerin günlük ortalaması alınarak, günlük ortalama termodinamik verim değerleri elde edilmiştir.

## 5. TERMODİNAMİK İNCELEME

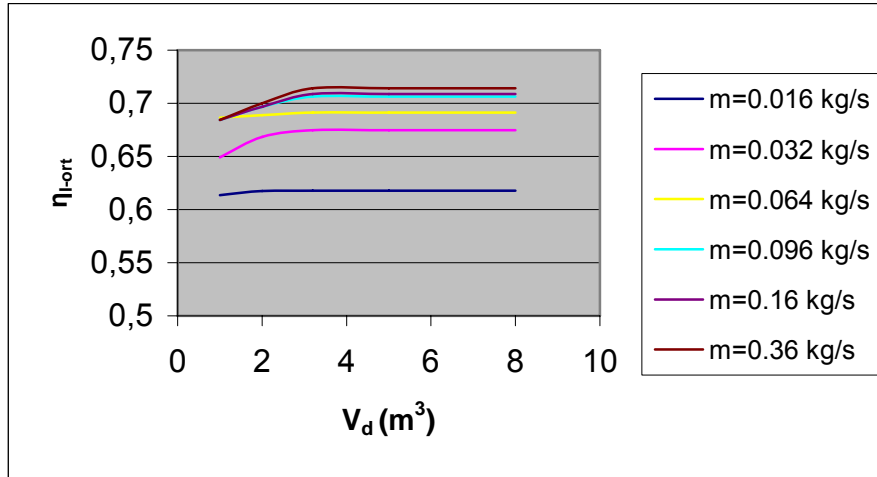
Bu çalışmada, toplayıcı açıklık alanı ( $A_a$ ), ısı taşıyıcı akışkan debisi ( $\dot{m}$ ) ve depo hacmi ( $V_d$ ) değerleri değişken işletim parametresi olarak ele alınarak, değişimlerinin sistem için günlük ortalama termodinamiğin I. ve II. kanun verimi ( $\mu_{I-ort}$ ,  $\mu_{II-ort}$ ) ve gün sonu ortalama depo suyu sıcaklığı ( $T_{d-ort}$ ) üzerine etkileri incelenmiştir. Açıklık alanı, 20-80 m<sup>2</sup>; ısı taşıyıcı akışkan debisi, 0.016-0.36 kg/s ve depo hacmi, 1-8 m<sup>3</sup> değişim aralığında ele alınmıştır.

### 5.1. Termodinamiğin I. Kanun Verimi Değerlerinin Değişimi

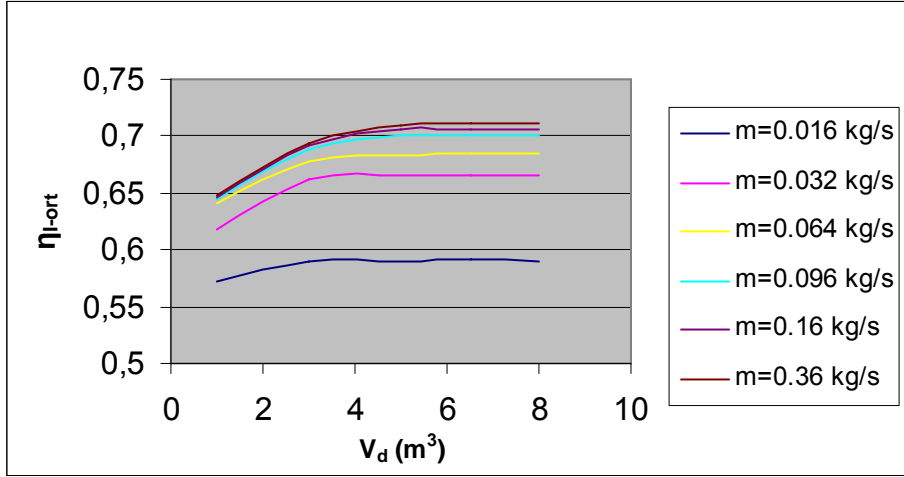
Şekil 7-10'da dört farklı açıklık alanı değerleri için günlük ortalama termodinamiğin I. kanun verimi değerinin, depo hacmi değerlerine bağlı değişimi gösterilmiştir.



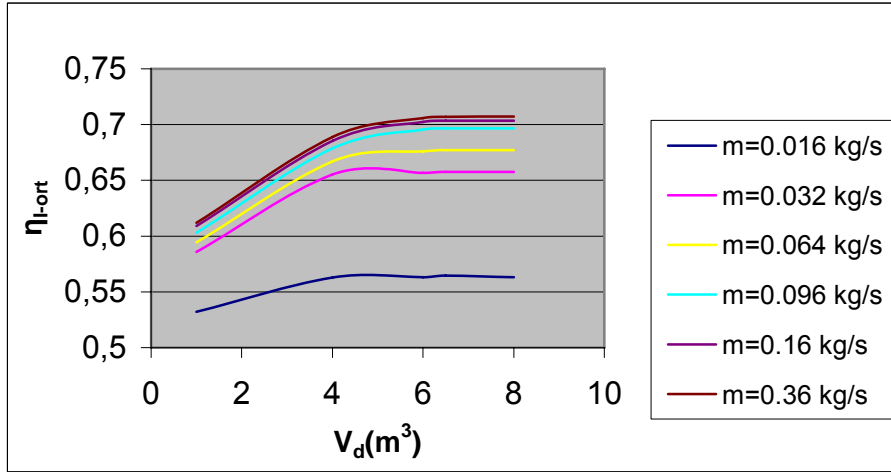
Şekil 7.  $A_a=20$  m<sup>2</sup>, günlük ortalama termodinamiğin I. kanun verimi değerleri



Şekil 8.  $A_a=40$  m<sup>2</sup>, günlük ortalama termodinamiğin I. kanun verimi değerleri



Şekil 9.  $A_a = 60 \text{ m}^2$ , günlük ortalama termodinamiğin I. kanun verimi değerleri



Şekil 10.  $A_a = 80 \text{ m}^2$ , günlük ortalama termodinamiğin I. kanun verimi değerleri

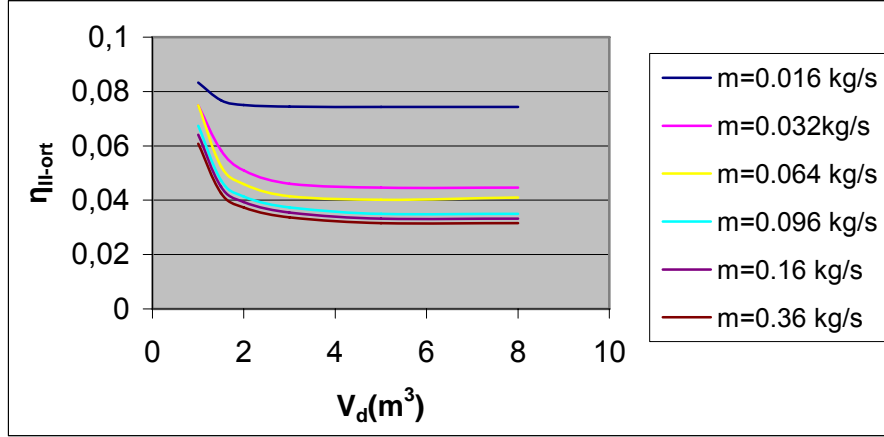
Yukarıdaki grafikler incelendiğinde, ısı taşıyıcı akışkan debisi ( $\dot{m}$ ) ve depo hacmi ( $V_d$ ) değerlerinin artışı ile  $\mu_{I-ort}$  değerinin arttığı görülmektedir. Fakat  $\dot{m} \geq 0.096 \text{ kg/s}$  ısı taşıyıcı akışkan debisi değerleri için,  $\dot{m}$  miktarındaki artışın ihmal edilebilecek seviyede önemsiz  $\mu_{I-ort}$  artışlarına sebep olduğu gözlenmektedir ( $E_{fay}$  değerindeki değişim önemsiz olmaktadır). Bu debi değeri, ele alınan sistem için, akışın boru boyunca laminer akış bölgesinden çıktığı ısı taşıyıcı akışkan debisine karşılık gelmektedir. ( $Re_f > 2300$ ). Bu noktadan hareketle, silindirik parabolik bir güneş toplayıcısında  $\eta_{I-ort}$  değerinin, alıcı boru içerisindeki akış, boru boyunca türbülanslı-laminer akış geçiş bölgesi ve türbülanslı bölgeye girdikten sonra önemli ölçüde artmadığı görülmektedir.

Depo hacmi büyüdükçe, sistem için günlük ortalama termodinamiğin I. kanun verimi ( $\eta_{I-ort}$ ) değerleri artış göstermektedir.

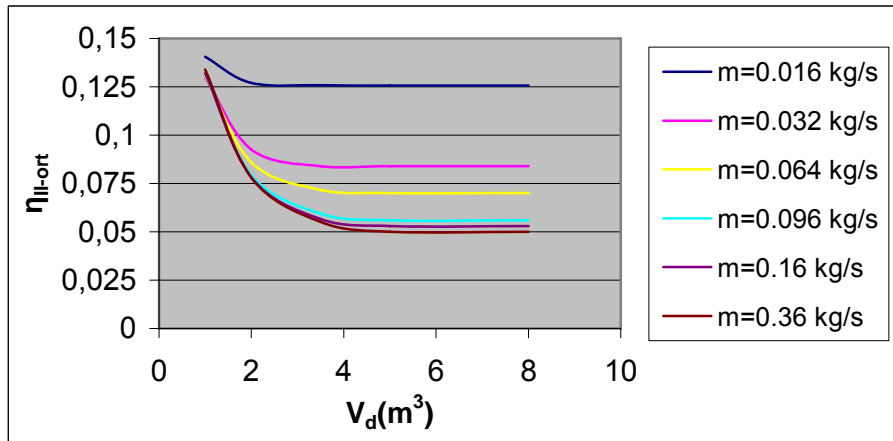
$\eta_{I-ort}$  değerlerinde değişimin sonlandığı depo hacmi değeri, açıklık alanı ( $A_a$ ) arttıkça büyüme göstermiştir.

## 5.2. Termodinamiğin II. Kanun Verimi Değerlerinin Değişimi

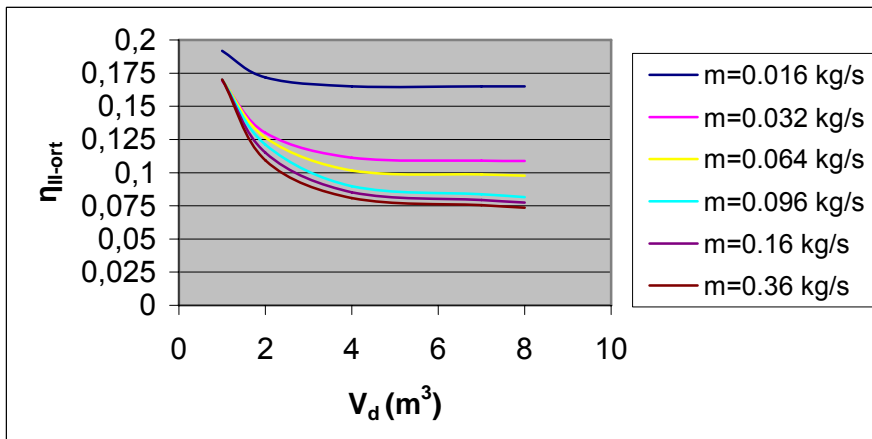
Şekil 11-14'de dört farklı açıklık alanı değerleri için günlük ortalama termodinamiğin II. kanun verimi değerinin ( $\eta_{II-ort}$ ), depo hacmi değerlerine bağlı değişimi gösterilmiştir.



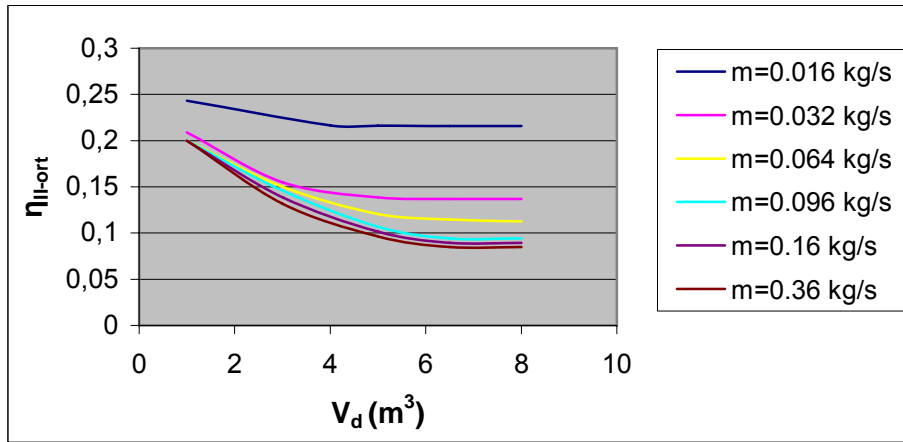
Şekil 11.  $A_a=20 \text{ m}^2$ , günlük ortalama termodinamiğin II. kanun verimi değerleri



Şekil 12.  $A_a=40 \text{ m}^2$ , günlük ortalama termodinamiğin II. kanun verimi değerleri



Şekil 13.  $A_a=60 \text{ m}^2$ , günlük ortalama termodinamiğin II. kanun verimi değerleri



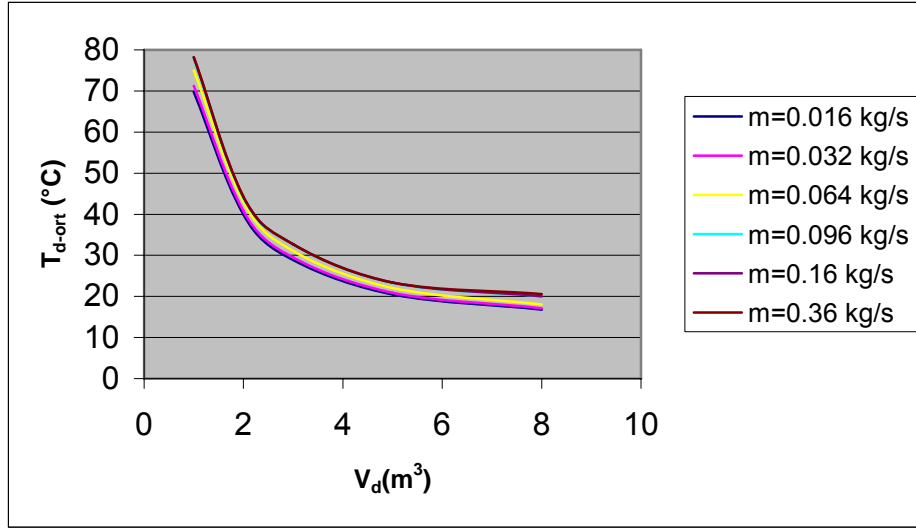
Şekil 14.  $A_a=80 \text{ m}^2$ , günlük ortalama termodinamiğin II. kanun verimi değerleri

Depo hacmi ve ısı taşıyıcı akışkan debi değeri küçüldükçe ve açıklık alanı büyüdükçe,  $\eta_{II-ort}$  artış gösterdiği grafiklerden görülmektedir.

## 6. SİSTEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada sistem değerlendirilirken, konut sıcak su ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Termodinamik verim ifadelerinin anlamları dikkate alındığında, termodinamiğin I. kanun verimi, sistemin güneşten sağlanan enerjiyi ne oranda kullandığı; II. kanun verimi ise sahip olduğu enerjinin ne kadarının işe çevrilebileceğini gösterir. Konut sıcak su ihtiyacının karşılanması için kullanılan böylesi bir toplayıcı sisteminde, sistemden iş elde edilmesi amaçlanmamaktadır. Bu nedenle sistem değerlendirilirken, depo suyu sıcaklık değerleri ve termodinamiğin I. kanun verimi değerleri göz önüne alınmaktadır. II. kanun verimi değerleri ise söz konusu amaç için değerlendirilmeye alınmamaktadır. Söz konusu amaç için ihtiyaç duyulan depo suyu sıcaklığı istatistiksel olarak  $55-60 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir [8].

Açıklık alanına ( $A_a$ ) bağlı olarak günlük ortalama termodinamiğin I. kanun verimi değeri ( $\eta_{I-ort}$ ) incelendiğinde, her açıklık alanı değeri için  $\dot{m}=0.096 \text{ kg/s}$  ısı taşıyıcı akışkan debisinden sonra  $\eta_{I-ort}$  artışının durduğu tespit edilmiştir. Bu değer, ele alınan sistemde ısı taşıyıcı akışkanın toplayıcı eksenini boyunca tüm noktalarda laminer akış şartlarını terk ettiği akışkan debisidir. Bu noktadan hareketle, sistem için en uygun (optimal) ısı taşıyıcı akışkan debi değeri, açıklık alanından bağımsız olarak akış karakterine bağlıdır ve laminer akıştan çıkışı sağlayan minimum debi değeridir. Ayrıca, yukarıda değinildiği gibi,  $\eta_{I-ort}$  değerlerini belirleyen  $E_{fay}$  değeri, bu debi değerinden sonra sabite yakın değer almaya başlamaktadır.  $E_{fay}$ , aynı zamanda ısı taşıyıcı akışkanın toplayıcıya girişi ve çıkışı arasında sistemden kazanarak depoya taşıdığı enerji miktarıdır. Bu durumda,  $\dot{m} = 0.096 \text{ kg/s}$  debi değerinden sonra akışkan yolu ile depoya taşınan enerji miktarı da yaklaşık sabit kalacak ve böylece bu debi değerlerinden sonra depo suyu ortalama sıcaklıklarında oluşacak değişim çok küçük olacaktır. Açıklanan bu oluşumun gözlemlendiği depo suyu ortalama sıcaklığı ( $T_{d-ort}$ ) değişim grafiği, örnek bir açıklık alanı için Şekil 15'de gösterilmiştir.



Şekil 15.  $A=20 \text{ m}^2$ , gün sonu ortalama depo suyu değerleri

Özetle, ele alınan sistem için  $\dot{m}=0.096 \text{ kg/s}$  'den büyük ısı taşıyıcı akışkan debi değerleri, gün sonu ortalama depo suyu sıcaklığı ( $T_{d-ort}$ ) ve günlük ortalama termodinamiğin I. kanun verimi ( $\eta_{I-ort}$ ) değerlerinde bir değişim yaratmadığı gibi pompa yüklerini artırarak sistem kayıplarını arttıracaktır. Sistem için optimal debi değeri, boru boyunca her noktada laminer akış şartlarını terk ettiği en küçük debi değeri olan  $\dot{m}=0.096 \text{ kg/s}$  dir.

Önceki bölümde sunulan grafikler incelendiğinde,  $\eta_{I-ort}$  değerlerinin her ısı taşıyıcı akışkan debisi için belli bir depo hacmi değerine kadar büyüdüğü sonrasında sabitleştiği tespit edilmiştir. Bu durumda, depo hacmini bu değerden fazla büyütme, sistem I. kanun verimi değerine yansımadığından gereksizdir. Sonuç olarak, optimal ısı taşıyıcı akışkan debi değeri sisteme sağlandığında, her açıklık alanı değeri için değişen bu depo hacmi değerlerinin, sistem işletimi için en uygun (optimal) depo hacmi ( $V_{d-opt}$ ) değeri olduğu ortaya çıkar.

Ele alınan her açıklık alanında, en uygun depo hacmi ve ısı taşıyıcı akışkan debi değeri ( $\dot{m}=0.096 \text{ kg/s}$ ) sağlandığında, gün sonu ortalama depo suyu sıcaklıkları  $55-60 \text{ }^\circ\text{C}$  ve üzerini sağlamaktadır. Tablo 4'de, incelenen farklı açıklık alanı değerleri için, optimal ısı taşıyıcı akışkan debi değerinde sistem çalıştırıldığında söz konusu olan optimal depo hacmi ( $V_{d-opt}$ ), gün sonu ortalama depo suyu sıcaklığı ( $T_{d-ort}$ ) ve günlük ortalama termodinamiğin I. kanun verimi değerleri ( $\eta_{I-ort}$ ) sunulmuştur.

**Tablo 4.** Optimal depo hacmi değerleri, gün sonu ortalama depo suyu sıcaklığı ve günlük ortalama I. kanun verimi değerleri

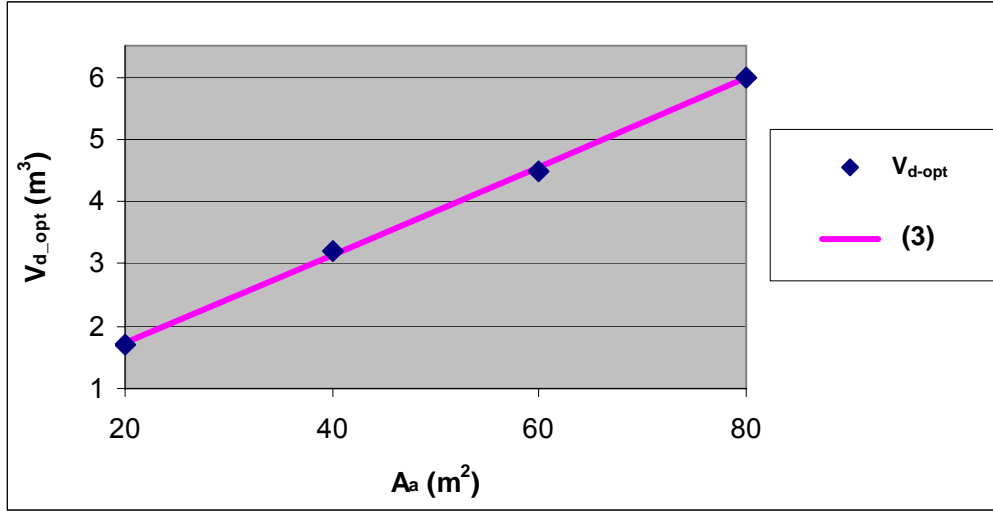
A ( $\text{m}^2$ )	$V_{d-opt}$ ( $\text{m}^3$ )	$T_{d-ort}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\eta_{I-ort}$
20	1.7	62	0.72
40	3.2	60.194	0.71
60	4.5	78.3	0.70
80	6	80.92	0.7

## SONUÇ

Şekil 16'da açıklık alanı ( $A_a$ ) ve optimal ısı taşıyıcı akışkan debi değeri sisteme sağlandığında elde edilen optimum depo hacmi değerleri ( $V_{d-opt}$ ) grafik üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca,  $V_{d-opt}$  değerlerine minimum %95 doğruluk ile yakınsayan,

$$V_{d-opt} = 0.3 + 0.071A \quad [m^3] \quad (20m^2 \leq A_a \leq 80m^2) \quad (3)$$

eğrisi de aynı şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 16. Açıklık alanına bağlı olarak optimal depo hacmi değerleri

Konutlarda sıcak su ihtiyacının karşılanması için depo hacmi büyüklüğü, kişi başına 130-160 lt. günlük tüketimi esas alınarak hesaplanmaktadır [8]. Depo hacmi seçiminde birincil belirleyici etken, sıcak su sağlanan konutta yaşayan insan sayısıdır. Depo hacmi değeri belirlendikten sonra, (3) eşitliği ile optimal açıklık alanı belirlenmelidir. Sabit bir açıklık alanının söz konusu olduğu halde ise, (3) eşitliği yardımı ile optimal depo hacmi miktarı belirlenebilmektedir.

Sistem için günlük ortalama termodinamiğin I. kanun verimi değerleri ve günlük ortalama II. kanun verimi değerlerinin, ele alınan işletim parametrelerine göre değişimin ters yönlü oluşu, sistemden elde edilecek ısı enerjisinin işe dönüştürülmesi amaçlanan (II. kanun verimi değerlerinin önem kazandığı) proseslerde bir handicap oluşturmaktadır. Bu durum I. ve II. kanun verimi değerlerinin optimizasyonu ile aşılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] DUFFIE J.A., BECKMAN W.A., "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley & Sons Inc., 1991
- [2] ÖZTÜRK, A., YAVUZ, H., "Uygulamalar ile Isı Geçişi", Çağlayan Kitapevi, 1995
- [3] SEÇKİN, C., "Silindirik Parabolik Güneş Toplayıcılarının Isıl Analizi", İTÜ Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006
- [4] HSIEH, J.S., "Solar Energy Engineering", Prentice-Hall, 1986
- [5] ESKIN, N., KILIÇ, A., "Transient Exergy Analysis for the Performance of Cylindrical Parabolic Solar Collector", ECOS'95, 1995
- [6] JETER, S.M., "Maximum Conversion Efficiency for the Utilization of Direct Solar Radiation", Solar Energy, 26, 231-236, 1981
- [7] KILIÇ, A., ÖZTÜRK, A., "Güneş Enerjisi", Kipaş Dağıtımçılık, 1983
- [8] KILIÇ, A. VE TONER, M., "Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemlerinde Toplayıcı Boyutlarının Tayini", İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 40, 1-10, 1982



## ÖZGEÇMİŞ

### Candeniz SEÇKİN

1980 tarihinde İstanbul'da doğdu. İTÜ Makina Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü 2001 yılında bitirmiş ve İTÜ Enerji Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknolojileri Yüksek Lisans Programından 2006 yılında mezun olmuştur. 2003 Ocak döneminden beri araştırma görevlisi olarak görev yaptığı İTÜ Enerji Enstitüsünde doktora eğitimine devam etmektedir.