

GÜNEŞ ENERJİLİ PARABOLİK ÇANAK SİSTEMDE ALÜMİNYUM METALİNİN ERİTİLMESİNİN TERMAL VE MATEMATİKSEL ANALİZİ

Caner COŞKUN *
*Deniz ULUSARSLAN**

Alınma: 01.06.2018; düzeltme: 22.04.2019; kabul: 29.05.2019

Öz: Bu çalışmada çanak yansıtıcı vasıtasıyla yoğunlaştırılmış güneş ışınlarından faydalanılarak silisyum karbür potada alüminyum metalinin eritilmesi teorik olarak incelenmiştir. İstanbul, İzmir, Antalya ve Mersin şehirlerinin iklim koşulları temel alınarak 5 farklı çanak ve alıcı(pota) çapı için hesaplamalar yapılmıştır ve potansiyel eritilebilir alüminyum miktarı belirlenmiştir. Alıcıdaki sıcaklık değişimi yoğunlaştırma oranına, direkt gelen güneş ışınlarına ve alıcı malzeme özelliklerine bağlıdır. Bu durumun eritilecek alüminyum miktarına çok yüksek oranlarda etkisi olduğu görülmüştür. Yapılan hesaplamalar sonucunda yoğunlaştırma oranı arttıkça potadaki(alıcıdaki) sıcaklık artmış, alıcı boyutu küçülmesine rağmen alüminyum eritme potansiyelinin artabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: yenilenebilir enerji, solar çanak sistem, alüminyum, metal eritme

Thermal and Mathematical Analysis of Aluminum Metal Melting in Solar Parabolic Dish System

Abstract: In this study, melting of aluminum metal in a silicon carbide pot was explored theoretically by utilizing solar rays concentrated through a dish reflector. Based on the climatic conditions of Istanbul, İzmir, Antalya and Mersin cities, calculations were made for 5 different dish and receiver diameters and the potential amount of molten aluminum was determined. The temperature change in the receiver depends on the condensation rate, direct sunlight and receiver material properties. In this case, the amount of melting aluminum was found to have an effect at very high rates. As the condensation rate increases, the temperature in the pot (on the receiver) increases and the aluminum smelting potential may increase even though the receiver size decrease.

Keywords: renewable energy, solar dish system, aluminum, melting metal

1. GİRİŞ

Dünyada nüfusun artmasıyla birlikte enerjiye olan ihtiyacı artmaktadır. Bu durum fosil ve nükleer yakıt enerjisine olan bağlılığı artırmaktadır. Fakat bu kaynakların hem sınırlı olması hem de çevreye verdikleri tahribat bu kaynaklara alternatif olabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini günden güne artırmaktadır. Güneş enerjisi akla ilk gelen alternatif enerji kaynaklarından biridir.

Parabolik Güneş enerjili çanak sistemler, parabolik çanak biçiminde ayna veya aynalar vasıtasıyla güneş ışınlarını alıcıda noktasal biçimde toplayan sistemin adıdır. Yüksek verimliliğe ve sıcaklık değerlerine ulaşmak mümkündür. (Lovegrove ve Stein, 2012) Parabolik çanak sistemler Stirling motor-jeneratör sistemiyle elektrik enerjisi üretiminde, su arıtmada ağırlıklı

* Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği, Beşiktaş, 34353 İstanbul
İletişim Yazarı: Caner COŞKUN (canercoskunyit@gmail.com)

olarak kullanılmaktadır. Modüler bir sistem olması nedeniyle kırsal alanlarda kullanıma uygundur. (Duffie, 2013)

Parabolik çanak sistemlerin verimleri diğer parabolik yansıtıcılara göre yüksek (%25-35) ve yoğunlaştırma oranı 1500'den daha yüksek olabilir. (Lovegrove ve Stein, 2012) Alıcıdaki sıcaklıkları 1500°C dereceye kadar çıkabilir. Tek bir sistemden 5-25 kWe elde edilebilir. (Kalogirou, 2009)

Bu çalışmada Türkiye'deki 4 farklı şehrin güneş alma potansiyelleri göz önüne alınarak 5 farklı çanak ve alıcı çapı için ergitilmiş alüminyum miktarı hesaplanmıştır. Tasarlanan sistemde alıcı merkezinde pota bulunmaktadır. Yapılan hesaplamalar Microsoft Excel programında yapılmıştır. Yüksek sıcaklıklara ve sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklı bir malzeme olması nedeniyle silisyum karbür pota seçilmiştir. (Yıldız Uslu, 2009) Yansıtıcı malzemesi ise hem malzemenin kolay bulunması hem de büyük çaplarda bir çanak üretimi için elverişli ve ekonomik olması nedeniyle parlatılmış sac alüminyum olarak seçilmiştir.

Castellanos ve diğ. (2017), ısı akışını ve ortalama verimi artırmak adına geometrik büyüklüğü ve termal performansı matematiksel olarak modellemişlerdir. Itajuba-MG/Brazil merkez alınarak güneş hareketi ve metrekareye düşen ışınım hesaplanmıştır. Matematiksel modellemeyle geometrik ve termodinamik denge sağlanmış ve toplam verim ve elektrik enerjisi artması amaçlanmıştır. (Castellanos ve diğ., 2017)

Barreto ve Canhoto(2016), Stirling motor-jenaratör solar çanak sistemin modellemesini ve simülasyonunu yapmışlardır. Yoğunlaştırma oranı arttıkça elde edilen birim güç ve efektif verimin arttığını görmüşlerdir. (Barreto ve Canhoto, 2016)

Kadri ve Abdallah (2016), Tunus'ta kurulabilecek off-grid bir çanak Stirling solar sistem için matematiksel modelleme ve ön çalışma yapmışlardır. Termal modelleme ve simülasyon Matlab yardımıyla hazırlanmıştır ve daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarının analizi, Stirling jeneratör sisteminin özerkliğinin ve güç kaynağı kararlılığının hedeflerine ulaştığını göstermiştir. (Kadri ve Abdallah, 2016)

Semprini ve diğ. (2016), Solar Çanak ve mikro gaz türbininden oluşan hibrit bir sistemi incelemişlerdir. Solar çanak sistemi, mikro gaz türbinine ek ateşleme olarak ve doğrudan ısı kaynağı olarak kullanıldığındaki performansını ve verimini karşılaştırmışlardır. Sistem hibrit olarak çalıştığında yakıt tasarrufu artmış ve elektrik maliyetinde azalma görülmüştür. Sistem yalnızca güneş kaynaklı çalıştığında güç azalmış ve maliyet yükselmiştir. (Semprini ve diğ., 2016)

Reddy ve diğ. (2016), Solar çanak sistemdeki alıcıdaki oluşan konvansiyonel kayıplarda rüzgar hızının ve yönünün etkisini nümerik olarak araştırmışlardır. Alıcı açıklığı, rüzgar hızı ve yönünün alıcıdaki ısı transferine önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Açıklığı olan alıcılarda kapalı alıcılara oranla daha fazla dış etkenlerden etkilenme oranı daha fazla olduğu tespit edilmiştir. (Reddy ve diğ., 2016)

Hafez ve diğ. (2016), Stirling motorlu çanak bir sistem dizaynı ve simülasyonu yapılmıştır. Farklı materyaller ve geometrik dizayn temel alınarak yapılan Matlab üzerinde güç çıkışı ve maliyet analizleri yapılmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak çanak çapı ve güç çıkışı için optimizasyon yapılmıştır.(Hafez ve diğ., 2016)

Hijazi ve diğ. (2016), düşük maliyetli bir çanak kollektörün mekanik dizaynı üzerine çalışmışlardır. Çalışma Autodesk Inventor kullanarak çanak çerçevesinin tam stres analizini uygulamıştır. Çalışma 5,10 ve 20 metre çanak çapları temel alınmıştır. Çalışma, yansıtıcı yönler için yatay yönelimin kullanılmasını ve kaburga açısının ve bağlantı halkaları arasındaki mesafenin artırılmasını önermektedir.(Hijazi ve diğ., 2016)

Literatürde, çanak yansıtıcı vasıtasıyla yoğunlaştırılmış güneş ışınlarından faydalanılarak, maden ergitilmesiyle ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu sebeple, literatürdeki alıcı sıcaklığı ve maden eritmeyle alakalı çalışmalar incelenmiş.

2. METOD VE YÖNTEM

2.1. Güneş Işınım Hesaplamaları

Denklem 1'de (Tırıs, Tırıs, & Erdallı, 1997) H , aylık ortalama günlük güneş ışınımı, H_0 , aylık ortalama atmosfer dışı güneş ışınımı, H/H_0 oranı bulutluluk indeksi (K_T), n' aylık ortalama güneşlenme süresi, N ise aylık ortalama gün uzunluğu olarak tanımlanır. a ve b katsayılarının alacağı değerler konuma bağlı olarak değişmektedir.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{n'}{N} \quad (1)$$

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 \times G_K}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360 n}{365} \right) \times \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right) \quad (2)$$

$$G_K = 1367 \text{ W/m}^2 \text{ (Güneş sabiti)}$$

ω_s , güneş batış saat açısı,

$$\cos \omega_s = - \tan \phi \tan \delta \quad (3)$$

ϕ , hesaplama yapılan yerin enlem derecesi, δ , deklinasyon açısı (Cooper formülü ile hesaplanabilir) a ve b istatistiksel değerlerdir. (Kılıç & Öztürk, 1983)

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{n + 284}{365} \right) \quad (4)$$

$$a = 0,103 + 0,000017z + 0,198 \cos(\phi - \delta) \quad (5)$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cos(\phi - \delta) \quad (6)$$

z (m), hesaplanan yerin rakımıdır.

$$\frac{H_d}{H} = 0,703 - 0,414 \times K_T - 0,428 \times K_T^2 \quad (7)$$

H_d (J/m^2), yatay yüzeye gelen günlük difüz ışınım, H_b (J/m^2), yatay yüzeye düşen günlük direkt ışınımıdır. (Tırıs, Tırıs, & Erdallı, 1997)

$$H_b = H - H_d \quad (8)$$

2.2. Termal Analiz

Çanağa gelen toplam güneş ışınımı çanak açıklık alanına (A_ζ) ve yatay yüzeye düşen günlük direkt ışınım şiddetine (H_b) bağlıdır. (Castellanos ve diğ. , 2017)

$$Q_s = A_\zeta \times H_b \quad (9)$$

Çanak açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı yoğunlaştırma oranı olarak tanımlanır. (Goswami, 2015)

Q_s , çanağa gelen toplam güneş ışınımı (W).

$$C = \frac{A_c}{A_a} \quad (10)$$

A_a , alıcı alanı (m^2), C , yoğunlaştırma oranıdır.

$$Q_{abs} = \eta_{optik} \times Q_s \times \cos \theta_i \quad (11)$$

η_{optik} , çanak optik verimidir.

Alıcıya gelen güneş ışınımı (denklem 11) (Kalogirou, 2009), alıcının optik verimiyle doğru orantılıdır. Alıcıdaki optik verimi alıcının yansıtma, soğurma, geçirgenlik ve malzemenin imal edilme yöntemlerine bağlıdır. $\cos \theta_i$, kolektörün güneş izleme sistemine bağlı olan bir faktördür. Tamamen kontrollü izleme sistemi olduğunda %100 kabul edilebilir. Sistemin yalnızca 2 yönlü takip sistemi olduğu varsayıldığından %75 olarak kabul edilmiştir. (Kalogirou, 2004)

Faydalı enerji (denklem 12) alıcıya gelen enerjiden kayıplar çıkartıldığında elde edilir.

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_{abs} - \dot{Q}_{kayıp} \quad (12)$$

Teorik alıcı sıcaklığı (denklem 13) (Castellanos ve diğ., 2017),

$$T_r = \sqrt[4]{\frac{I_b \times C \times \alpha_{abs}}{\sigma \times \varepsilon}} \times \eta_{alıcı} \times F_d \times R_{ref} \quad (13)$$

Burada R_{ref} , soğuma faktörü, F_d , bozulma faktörü, $\eta_{alıcı}$, alıcı verimidir. Alıcı verimi kolektör verimi gibi alıcının malzeme yapısına, geçirgenliğine, soğurganlığına, yayıcılığına bağlıdır. Silisyum karbür potalar yüksek ısı geçirgenliğe ve soğurganlığa sahip malzemenin üretilmiştir. (Yıldız Uslu, 2009) Alıcı verimi %65 olarak kabul edilmiştir. Soğuma faktörü ve bozulma faktörleri 0.9 ve 0.6 olarak seçilmiştir.

Alıcıda ışımadan dolayı oluşan kayıplar,

$$\dot{Q}_{rad_a} = A_a \times \varepsilon_r \times \sigma \times (T_r^4 - T_{çev}^4) \quad (14)$$

Çanakta ışımadan dolayı oluşan kayıplar,

$$\dot{Q}_{rad_c} = A_c \times \varepsilon_r \times \sigma \times (T_a^4 - T_{çev}^4) \quad (15)$$

T_a (K), alıcı sıcaklığı, T_c (K), çanak sıcaklığıdır. $T_{çev}$ (K) çevre sıcaklığı 21°C, çanak için ortalama sıcaklık 30°C olarak alınmıştır.

Konvansiyonel ısı kayıpları,

$$\dot{Q}_{con_a} = A_a \times h_{air} \times (T_r - T_{çev}) \quad (16)$$

$$\dot{Q}_{con_c} = A_c \times h_{air} \times (T_a - T_{çev}) \quad (17)$$

Alıcıdaki tüm kayıplar Q_{loss} (W);

$$\dot{Q}_{kayıp} = \dot{Q}_{con_c} + \dot{Q}_{rad_a} + \dot{Q}_{con_a} + \dot{Q}_{rad_c} \quad (18)$$

Tablo 1’de Alüminyumun özellikleri verilmiştir (Hatch, 1984). c_{pAl} , Alüminyumun özısı, L_{eAl} , Alüminyumun erime ısıdır. 1 kg alüminyumu eritmek için gerekli enerji denklem 19’den hesaplanır (Çengel, 2012). Gerekli enerji 900 kJ/kg olarak hesaplanmıştır (Q_G);

Tablo 1. Alüminyum Özellikleri

| | |
|---------------------|----------------------|
| Yoğunluk | 2,7 g/m ³ |
| Kaynama noktası | 2792 K |
| Erime Noktası | 933 K |
| Öz Isısı | 24,2 J/mol°C |
| Ergime ısısı | 10,71 kJ/mol |
| Buharlaştırma ısısı | 294 kJ/mol |

$$Q_G = (m \times c_{pAl} \times \Delta T) + (m \times L_{eAl}) \quad (19)$$

$$m = \frac{Q_f}{Q_G} \left(\frac{kg}{h} \right) \quad (20)$$

Ergitilen Al miktarı denklem 19 ile belirlenir. m(kg/h), ergitilen Al miktarıdır.

3. MATEMATİKSEL MODELDEN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

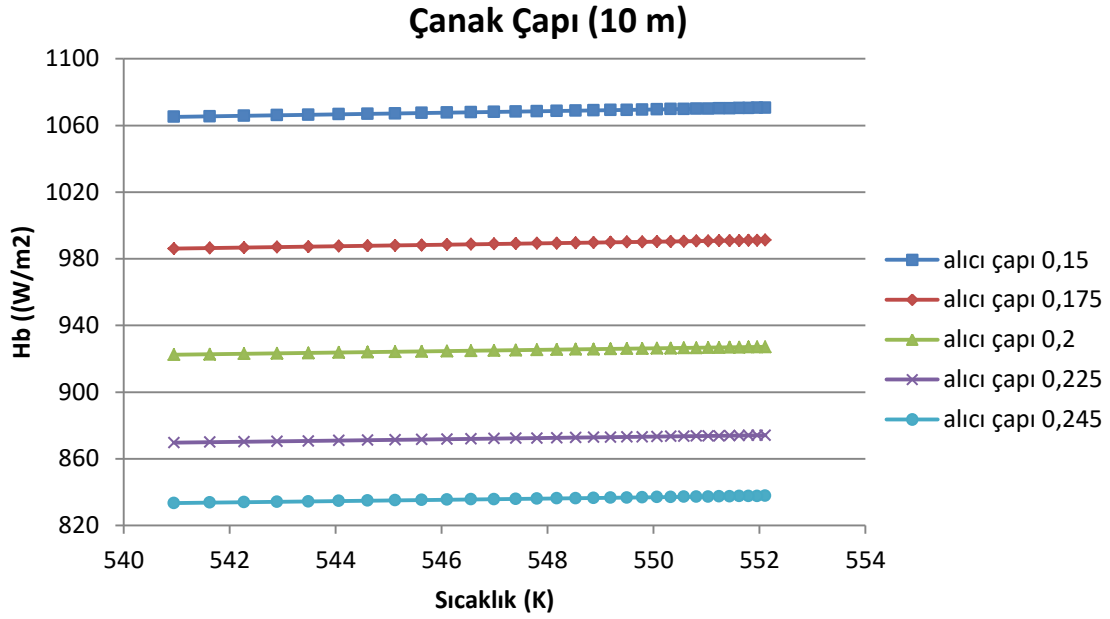
Tablo 2’ de verilen şehirler için 2017 yılı takvimi temel alınmıştır. Her gün için gelen direkt güneş ışınım hesaplanmıştır. Kayıplar ve faydalı enerji her gün için hesaplanmıştır. Ayrıca yılın ışınım şiddetinin en fazla olduğu Temmuz ayı için hesaplamalar yapılmış ve grafikler oluşturulmuştur.

Tablo 2. 4 şehrin Enlem ve Rakım Değerleri

| | İstanbul | İzmir | Antalya | Mersin |
|----------|----------|--------|---------|--------|
| Enlem(°) | 41 | 38,418 | 36,91 | 36,8 |
| Rakım(m) | 30 | 2 | 42 | 100 |

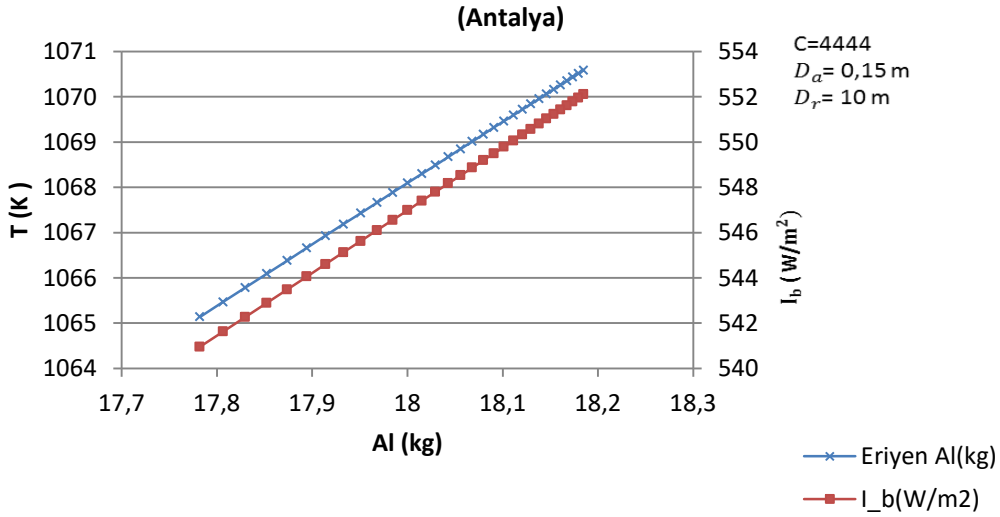
Alüminyum 660°C de eriyen bir metaldir. Çanak sistemlerde alıcıda yüksek sıcaklık elde edebilmek için yoğunlaştırma oranı, soğurganlık, alıcı verimi ve günlük direkt ışınım parametrelerinin yüksek olması gereklidir. Işınım, Türkiye koşullarında yılın belirli dönemlerinde yüksek olması nedeniyle alıcıdaki optik verim ve sistemin yoğunlaştırma oranı yüksek seçilebilir. Gün içerisinde düşen direkt ışınımın artması ve azalması nedeniyle yoğunlaştırma oranının ve pota malzemesinin yüksek geçirgenlik ve soğurganlık değerlerine sahip olması daha uygun görülmüştür. Piyasada bulunan ergitme potalarının çapları göz önüne alınarak çanak çapı yoğunlaştırma oranını yüksek tutabilmek adına çanak çapı 10, 11, 12, 13 ve 14 metre olarak seçilmiştir.

Şekil 1’de görüldüğü gibi m^2 başına düşen ışınım arttıkça sıcaklık artmaktadır. Çanak çapı sabit kalıp alıcı çapı arttıkça yoğunlaştırma oranı düşmektedir ve bu nedenle alıcıdaki sıcaklık da düşmektedir. Alüminyumu eritmek için gerekli 973 K sıcaklığın altında kalan alıcı çaplarında ergime olmayacaktır. Gün için ortalama değer üstünde olsa bile kısa süreli bir güneşlenme olacağı için ergime miktarı beklenenin çok altında kalacaktır ve verimli bir ergitme olmayacaktır.



Şekil 1:
5 farklı alıcı çapı için Işınım şiddeti-Sıcaklık grafiği

Şekil 2’de Antalya şehri için, Temmuz ayı temel alınarak yapılan hesaplamada grafikte de görüldüğü gibi günlük düşen direkt ışınım miktarı arttıkça eriyen Al miktarı da artmaktadır. Diğer şehirlerde de aynı hesaplar ortaya çıkmıştır.



Şekil 2:
Sıcaklık, ışınım şiddeti ve Ergiyen Al miktarı arasındaki ilişki grafiği

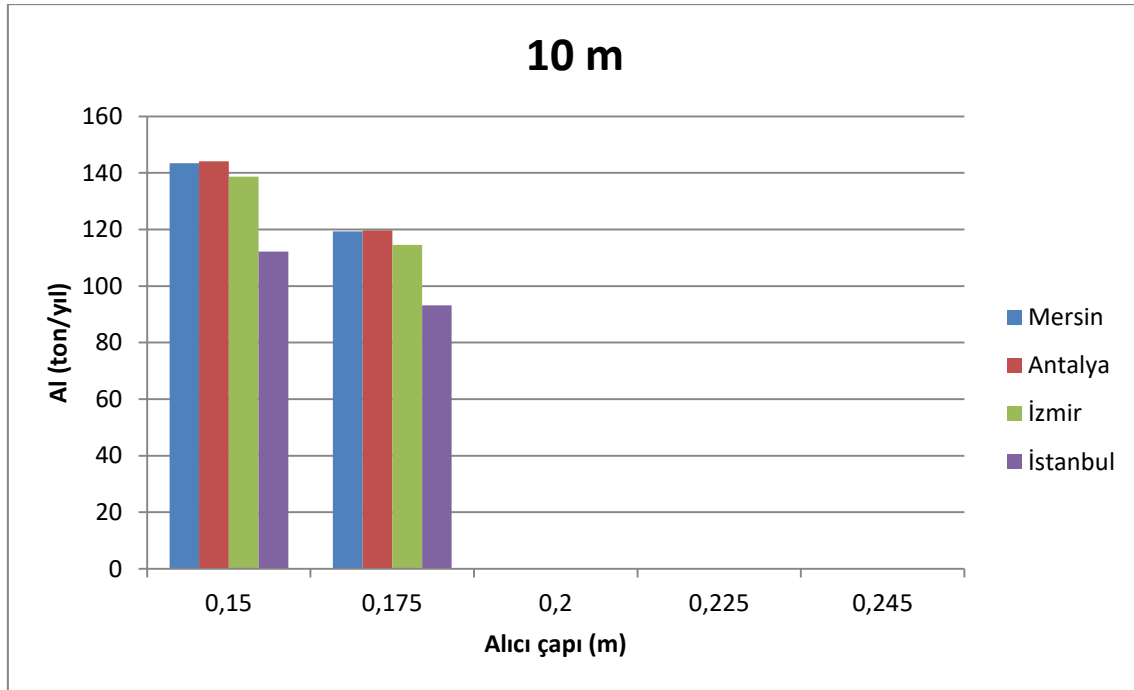
Yoğunlaştırma oranının ve günlük direkt güneş ışınımının yüksek olduğu durumlarda sıcaklık 1300 K gibi yüksek sıcaklıkları görebilir. Bu tür durumlarda alıcıdaki pota çapı düşürülerek potadaki sıcaklık azaltılabilir. Sabit çanak çaplarında alıcı çapı küçüldükçe yoğunlaştırma oranı artar. Alıcı çapında yaklaşık %39’luk bir azalma eritilen Alüminyum miktarında ancak %0,22’lik bir artış sağlar. Sabit alıcı çapında (0,15 m) çanak çapındaki

%8,3'lük bir artışa karşılık ergitilen Alüminyum miktarında %23'lük bir artış olmuştur. Dolayısıyla ergiyen alüminyum miktarında çok büyük bir değişim olmamaktadır. Örneğin, Mersin şehri için çanak çapı 14 m, alıcı çapı 0.245 m, yoğunlaştırma oranı 3265 iken Temmuz ayı için toplam ergiyen alüminyum yıllık 29,06 ton, aynı şartlarda alıcı çapı 0.15 m ve yoğunlaştırma oranı 8711 olduğunda ergiyen Al miktarı 14,84 ton'dur.

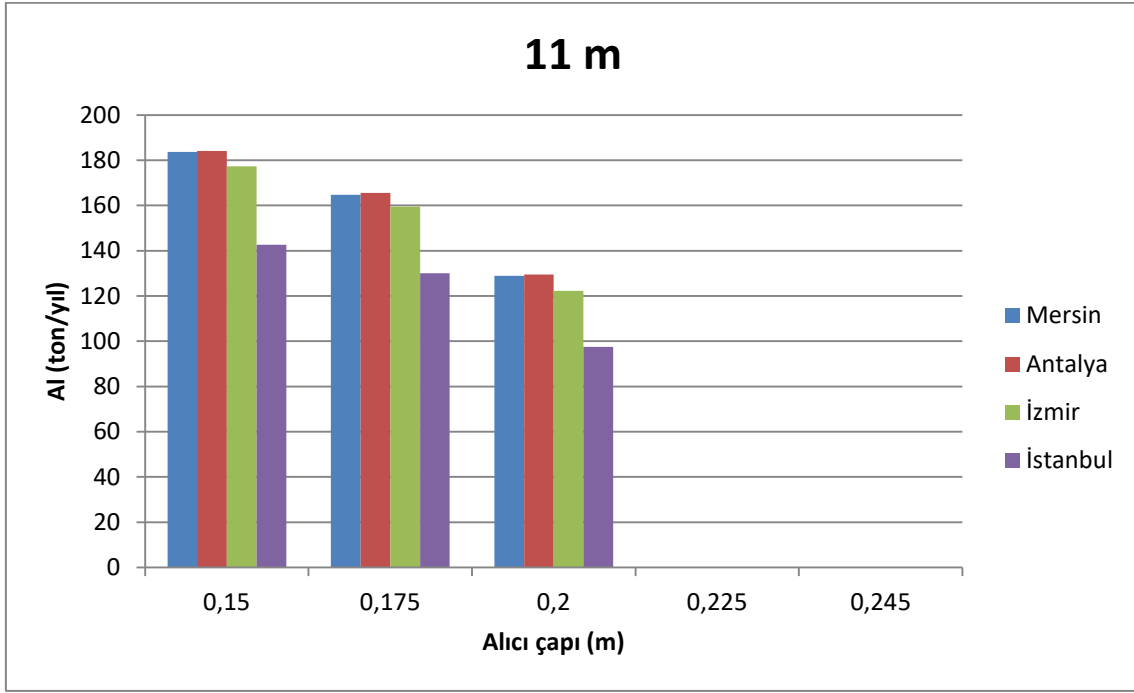
Çanak çapı büyüdükçe alıcıya aktarılan enerji de artmaktadır. Faydalı enerji miktarı arttıkça ergiyen Al miktarı da artmaktadır. Örneğin, Mersin şehri için Temmuz ayında alıcı çapı 0.15 m için 11 m çanak çapında ergitilen Al miktarı 17,35 ton iken 12 m çanak çapında alıcı çapı sabit kalmak koşuluyla ergitilen Al miktarı 21,39 ton'dur.

Şekil 3,4,5,6 ve 7 de alıcı çapı ve ergiyen Al ilişkisini gösteren grafiklerde 4 şehrin karşılaştırılması yapılmıştır. Grafiklerde de görüldüğü gibi alıcı çapı büyüdükçe yoğunlaştırma oranı düşer ve potadaki sıcaklık azalmaktadır. Bunun sonucunda ergiyen Al miktarı da azalmaktadır. Mersin potansiyel olarak diğer şehirlerden daha yüksek olmasının nedeni yıl içinde aylık güneşlenme süresinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Güneyden kuzeye doğru çıktıkça aylık ortalama güneşlenme süresi de azalmaktadır. Potansiyel olarak en düşük şehir İstanbul olarak görülmektedir.

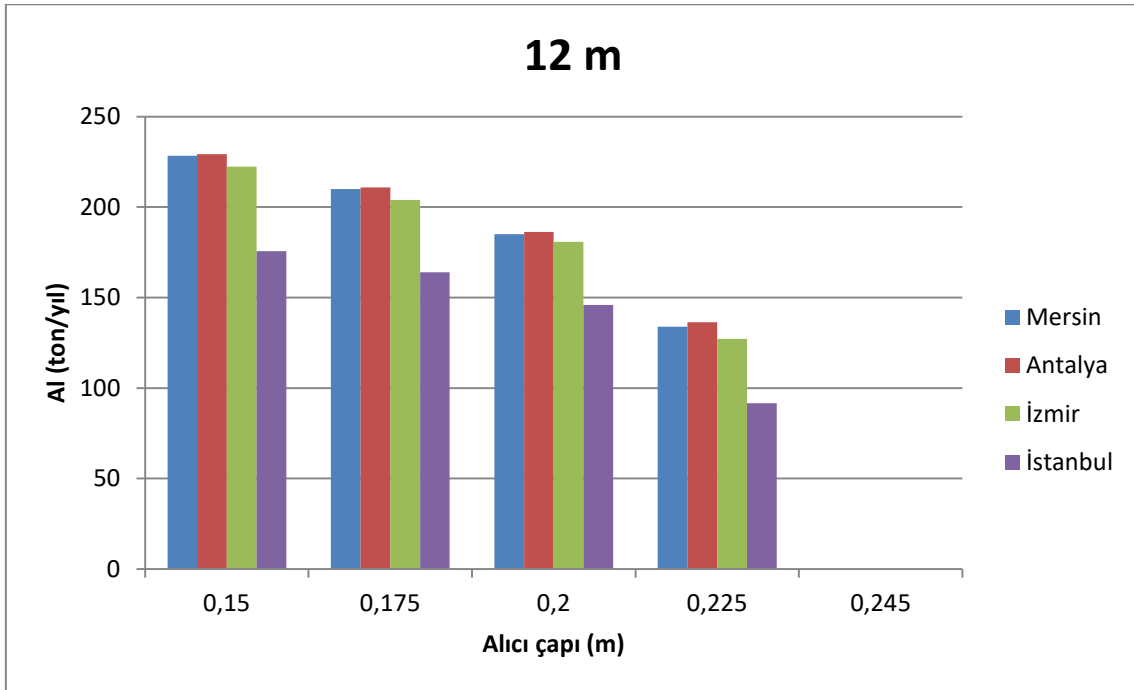
Şekil 3'de alıcı çapı 0.2, 0.225 ve 0.245 metre olduğunda alüminyumun ergitme potansiyelinin olmadığı görülmektedir. Yıl boyunca alıcıdaki teorik sıcaklık 936 K'den az olması nedeniyle alüminyumun ergimesi beklenemez. Aynı durum Şekil 4'de 0.225 ve 0.245 m alıcı çaplarında ve Şekil 5'de 0.245 m alıcı çaplarında vardır.



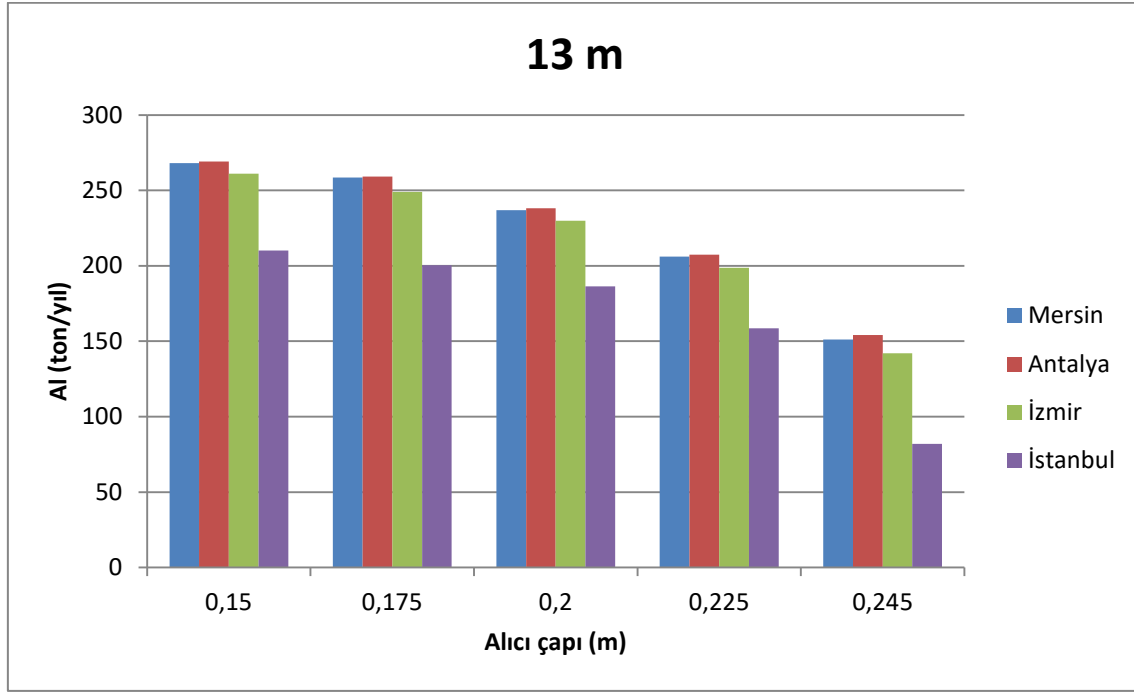
Şekil 3:
Çanak çapı 10 m için 5 alıcı çapı ve ergiyen Al miktarı



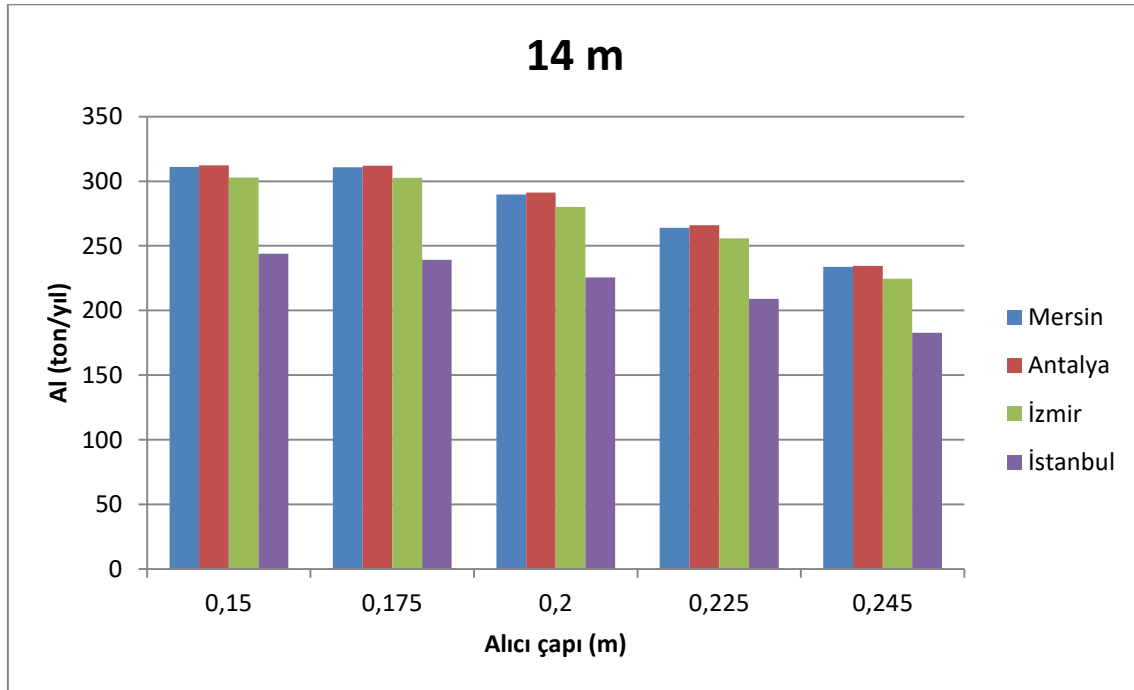
Şekil 4:
Çanak çapı 11 m için 5 alıcı çapı ve ergiyen Al miktarı



Şekil 5:
Çanak çapı 12 m için 5 alıcı çapı ve ergiyen Al miktarı

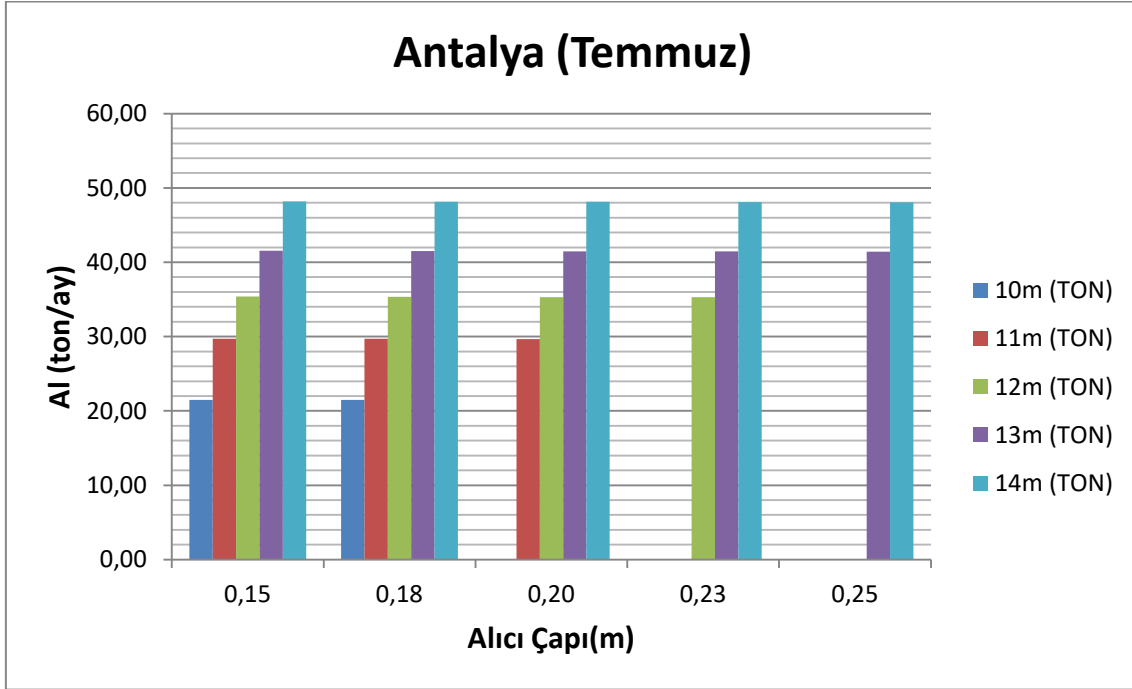


Şekil 6:
Çanak çapı 13 m için 5 alıcı çapı ve eriyen Al miktarı



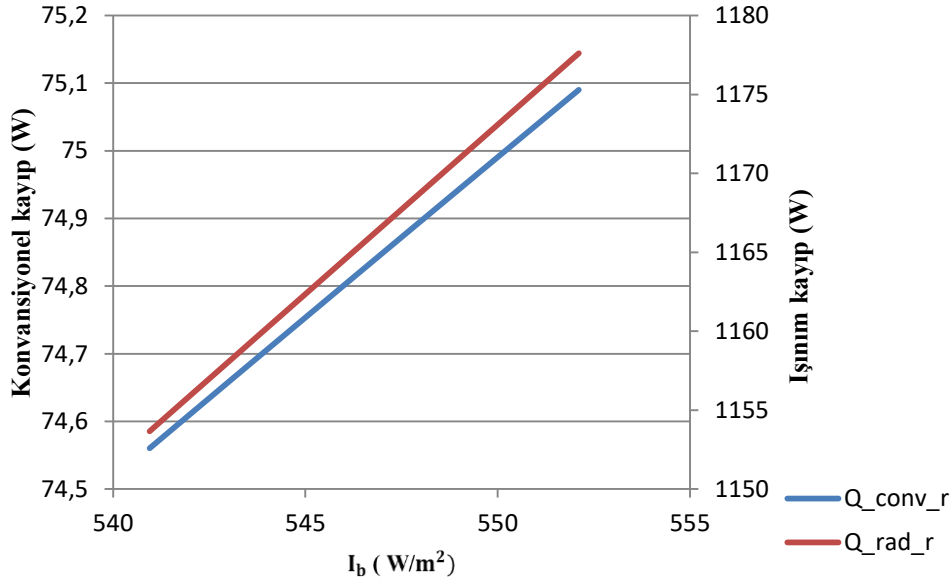
Şekil 7:
Çanak çapı 14 m için 5 alıcı çapı ve eriyen Al miktarı

Şekil 8’de Antalya için Temmuz ayının alıcı çapı ve eriyen alüminyum ilişkisini gösteren grafik bulunmaktadır. Tüm alıcı çaplarında eritme yalnızca 13 m ve 14 m çanak çaplarında olmaktadır. Alıcı sıcaklığı 936 K’nin üstünde olduğunda ancak erime olabilir.



Şekil 8:
Temmuz ayı için 5 farklı çanak çapı karşılaştırılmıştır.

Şekil 9’da alıcı da oluşan konvansiyonel ve ışıınım kayıpları görülmektedir. Işıınım miktarı arttıkça alıcıda oluşan ışıınım kaybı da artmaktadır. Rüzgâr ve diğer hava koşullarından dolayı alıcıda kayıplar artmaktadır. (Reddy ve diğ., 2016) Bu kayıplar alıcıdaki faydalı enerjiyi de azaltır. Bu durumda ergitilen Al miktarı düşmektedir.



Şekil 9:
Temmuz ayı için 10 m çanak çapı için ışıınım şiddetiyle kayıplar arasındaki ilişki grafiği.

4. SONUÇ

Çalışmada ülkemizin güney kesiminde yer alan Mersin ve Antalya'nın çanak sistemde alüminyum ergitme potansiyelinin yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan hesaplamalar sonucunda en fazla ergitme potansiyeli olan şehir Mersin olduğu görülmüştür. En az potansiyel olan şehir İstanbul olmuştur. Bu sonucun en önemli nedeni İstanbul yıllık ortalama güneş ışınım şiddeti diğer illere göre daha düşüktür. Mersin yıllık ortalama güneş ışınım şiddeti Türkiye'nin ortalamasının da üstünde bir değerdedir. Antalya ve Mersin illerin hesaplanan potansiyel eriyik alüminyum değerleri birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Mersin ilinin güneşlenme süresi, Antalya iline göre daha uzun olduğundan Mersin ilinde potansiyel daha yüksek çıkmıştır.

Potadaki faydalı enerji açıklık alanına bağlıdır. Aynı açıklık alanına sahip olmasına rağmen düşük yoğunlaştırma oranı nedeniyle yeterli sıcaklık elde edilememektedir ve alüminyum ergitmek mümkün olmamaktadır.

Pota çapı sabit kalıp çanak çapı artırıldığında yıllık potansiyel Al miktarı 4 şehir için de %13-%14 arasında değişen bir artış görülmektedir.

Çanak çapı sabit kalıp alıcı çapı artırıldığında 4 şehir için düşen sıcaklık nedeniyle %15-%17 arasında bir düşüş görülmektedir. Fakat Temmuz ayına bakıldığında yeterli sıcaklık koşulları sağlandığı takdirde pota çapı arttığında %1'in altında düşüş görülmektedir.

Maden ergitmek için gerekli enerji miktarı oldukça yüksektir. Maden ergitme için oluşturulan bu alternatif sistem ile konvansiyonel ergitme işlemlerinde oluşan enerji harcamasının önüne geçilecektir. Sistemin sadece ilk yatırım maliyeti olup, güneş potansiyeli yüksek bölgelerde uygulandığında sektördeki getirisi fazla olacaktır.

Kış aylarında hava sıcaklığının düşük olması ve hava şartlarının sertleşmesi nedeniyle sistem yalnızca güneşin yoğun olduğu aylarda kullanılabilir ya da güneşi tam izleme sistemleriyle çalıştırılabilir.

Yoğunlaştırma oranının ve günlük direkt güneş ışınımının yüksek olduğu durumlarda sıcaklık 1300 K gibi yüksek sıcaklıkları görebilir. Bu tür durumlarda alıcıdaki pota çapı düşürülerek potadaki sıcaklık azaltılabilir.

KAYNAKLAR

1. Barreto, G., & Canhoto, P. (2017). Modelling of a Stirling engine with parabolic dish for thermal to electric conversion of solar energy. *Energy Conversion and Management*(132), 119-135. doi: 10.1016/j.enconman.2016.11.011
2. Castellanos, L. S., Caballero, G. E., Cobas, V. R., Lora, E. E., & Reyes, A. M. (2017). Mathematical modeling of the geometrical sizing and thermal performance of a Dish/Stirling system for power generation. *Renewable Energy*(107), 23-35. doi: 10.1016/j.renene.2017.01.020
3. Çengel Y.A. (2012). Isı ve Kütle Transferi, Üçüncü Basım, Güven Bilimsel, İstanbul
4. Duffie, J. A. (2013). Concentrating Collectors. D. J. A., & W. A. Beckman içinde, *Solar Engineering of Thermal Processes* (s. 322-373). Hoboken, New Jersey, Wiley.
5. Goswami, Y. (2015). Solar Thermal Collectors. Y. Goswami içinde, *Principles of Solar Engineering* (s. 119-205). Boca Raton London New York, CRC Press.
6. Hafez, A., Soliman, A., El-Metwally, K., & Ismail, I. (2016). Solar parabolic dish Stirling engine system design, simulation and thermal analysis. *Energy Conversion and Management*(126), 60-75. doi: 10.1016/j.enconman.2016.07.067
7. Hatch, J.E. (1984). Aluminum Properties and Physical Metallurgy, ASM International, Ohio

8. Hijazi, H., Mokhiamar, O., & Elsamni, O. (2016). Mechanical design of a low cost parabolic solar dish concentrator. *Alexandria Engineering Journal*(55), 1-11. doi: 10.1016/j.aej.2016.01.028
9. Kadri, Y., & Abdallah, H. H. (2016). Performance evaluation of a stand-alone solar dish Stirling system for power generation suitable for off-grid rural electrification. *Energy Conversion and Management*(129), 140-156. doi: 10.1016/j.enconman.2016.10.024
10. Kalogirou, S. A. (2004). Solar thermal collectors and applications . *Progress in Energy and Combustion Science*(30), 231-295. doi: 10.1016/j.peccs.2004.02.001
11. Kalogirou, S. A. (2009). *Solar Thermal Power Systems*. *Solar Energy Engineering* (s. 521-551) Academic Press.
12. Kılıç, A., & Öztürk, A. (1983). *Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı*. İstanbul: Kipaş Dağıtımçılık.
13. Lovegrove, K., & Stein, W. (2012). *Parabolic dish concentrating solar power (CSP)*. *Concentrating solar power technology* (s. 284-321). Oxford Cambridge Philadelphia New Delhi: Woodhead Publishing Limited.
14. Reddy, K., Veershetty, G., & Vikram, T. S. (2016). Effect of wind speed and direction on convective heat losses from solar parabolic dish modified cavity receiver. *Solar Energy*(131), 183-198. doi: 10.1016/j.solener.2016.02.039
15. Semprini, S., Sanchez, D., & Pascale, A. D. (2016). Performance analysis of a micro gas turbine and solar dish integrated system under different solar-only and hybrid operating conditions. *Solar Energy*(132), 279-293. doi: 10.1016/j.solener.2016.03.012
16. Tırıs, M., Tırıs, Ç., & Erdallı, Y. (1997). *Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri*. Gebze-Kocaeli: TUBİTAK.
17. Yıldız Uslu, N. (2009, Eylül). *Silisyum-Pva ve Silisyum-Pvc Kompozit Tozlarının Pirolizi ve Karakterizasyonu*. İstanbul: İTÜ-FBE.
18. Yıldız Teknik Üniversitesi, (2008) *Al ve Alaşımları*. Erişim Adresi: http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum_ve_Aluminyum_Alasimlari.pdf (t.y.)