

SERAMİK SOĞURUCU YÜZEYLİ SIVILI DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ

Hüseyin GÜNERHAN* ve F.Mertkan ARSLAN**

Profesör Doktor*, Doktora Öğrencisi**

* Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Termodinamik Anabilim Dalı-35100-Bornova-İzmir

** Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği
Anabilim Dalı-35100-Bornova-İzmir

+90 232 388 85 62*

+90 539 926 30 97 **

huseyin.gunerhan@ege.edu.tr*

mertkan.arslan@gmail.com**

SERAMİK SOĞURUCU YÜZEYLİ SIVILI DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ

Özet: Doğanın kendi evrimi içinde bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynakları olarak tanımlanabilen yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli özellikleri, karbondioksit salımlarını azaltarak çevrenin korunmasına yardımcı olmaları, yerli kaynaklar oldukları için enerjide dışa bağımlılığın azalmasına-istihdamın artmasına katkıda bulunmaları ve kamuoyundan yaygın ve güçlü destek almalarıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında ise güneş enerjisi gelmektedir. Güneş, yeryüzündeki yaşamın temel kaynağıdır ve hemen hemen bütün enerji kaynakları doğrudan veya dolaylı olarak güneş enerjisinden türemiştir.

Güneş enerjisinden yararlanmak için yapılan sistemlerin başında gelen güneş kolektörleri, güneş enerjisini ısı taşıyıcı akışkana (sıvı veya hava) ısı enerji olarak aktaran özel ısı değiştirgeçleridir. Çeşitli akışkanların kullanıldığı çeşitli tiplerdeki güneş kolektörleri ile düşük ve yüksek olmak üzere değişik çıkış sıcaklıkları elde edilebilmektedir. Bu uygulamalar; (1) istenilen sıcaklık artışının küçük olduğu yüzme havuzlarının ısıtılması için kullanılan örtüsüz ve yalıtımsız, basit ve ucuz olan düzlemsel kolektörler, (2) en fazla sıcaklığın yaklaşık 60°C olduğu kullanım suyu ısıtması gibi orta sıcaklık uygulamaları için yalıtımlı ve en az bir geçirgen örtüye sahip kolektörler ve (3) proses ısıtması veya 80-120°C aralığında sıcak su gereksinimi olan küçük üretimlerde, mühendisliği iyi yapılmış ve gelişmiş düzlemsel kolektör olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır.

Bu çalışmada özellikle soğurucu yüzeyi ve içinden akışkan geçen boruları seramik malzemedan yapılmış olan sıvılı düzlemsel güneş kolektörleri ele alınmıştır. Seramik güneş kolektörleri incelendiğinde; düşük maliyet, uzun ömür ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olma gibi özelliklerinin öne çıktığı görülmektedir. Ayrıca, binalarda kolaylıkla entegre edilebilir ve çatılarda rahatlıkla kullanılabilir oluşları da bir avantaj sağlamaktadır. Seramik kolektörlerinin, klasik kolektörlere göre daha az enerjiye sahip olmalarına rağmen, kolektör sistemlerinin maliyetini önemli ölçüde azalttıkları görülmüştür. Bu çerçevede seramik güneş kolektörlerinin tanımı, diğer kolektör ile karşılaştırılması, faydaları, ısı analizi ve verimlilik bilgileri bu çalışmada sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş kolektörleri, Seramik güneş kolektörleri.

1. Giriş

Fosil enerji kaynaklarının yetersizliği ve fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan çevre kirliliği nedeniyle, güneş enerjisi, fosil enerji kaynaklarına bağımlılığın yerini alacak alternatif enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Yeryüzüne düşen 30 dakikalık güneş ışınımının bir yıl boyunca dünya enerji talebine eşit olduğu tahmin edilmektedir. Diğer enerjilere kıyasla güneş enerjisinin en büyük avantajları; doğaya zararı diğerlerine göre azdır ve bol miktarda bulunmaktadır. Dezavantajı ise güneş ışınları dağınıktır ve depolanması zordur. Bu nedenle, güneş enerjisinin geniş ve ekonomik kullanımı ile ilgili kilit nokta, mümkün olduğunca güneş ışınlarının güneş kolektörleri ile düşük maliyetli olarak toplanmasıdır [1].

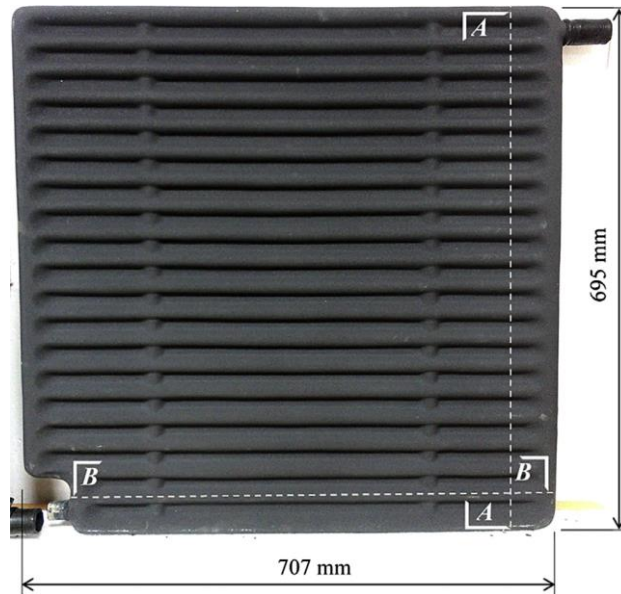
Düzlemsel güneş kolektörleri tipik olarak bir absorber (soğurucu yüzey), geçirgen bir örtü ve ısı kaybını önleyici yalıtım malzemesinden oluşmaktadır. Absorberlerin ana malzemesi bakır,

alüminyum ve çeliktir [2]. Ayrıca absorber kaplaması olarak ise siyah nikel, siyah krom, bakır oksit, karbon/nikel oksit gibi uygulamalar mevcuttur. Ekonomik açıdan, geleneksel düzlemsel kolektörlerinin yüksek maliyetli olduğu bilinmektedir. Yüksek maliyetin sebebi, maliyeti yüksek malzemelerin kullanılması ve istenen hassas üretim aşamalarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, metallerin korozyonu ve kolektörün güneş ışınları emiciliğinin zayıflaması nedeniyle kullanım ömürleri 20 yılı geçmemektedir [3]. Güneş kolektörlerinin diğer önemli unsuru da verimlilikleridir. Uygun maliyetli, sürdürülebilir güneş enerjisi oluşturmak için kullanılacak düşük maliyetli, dünyada kolaylıkla bulunabilecek unsurlardan, yeni katalizörler (teknolojiler) ve materyaller geliştirmek için çok daha fazla çaba sarf edilmesi gerekmektedir [3, 4]. Başka bir deyişle, güneş kolektörü malzemeleri, seri üretime uygun, ucuz ve uzun ömürlü malzemeler ile birleştirilmelidir [3].

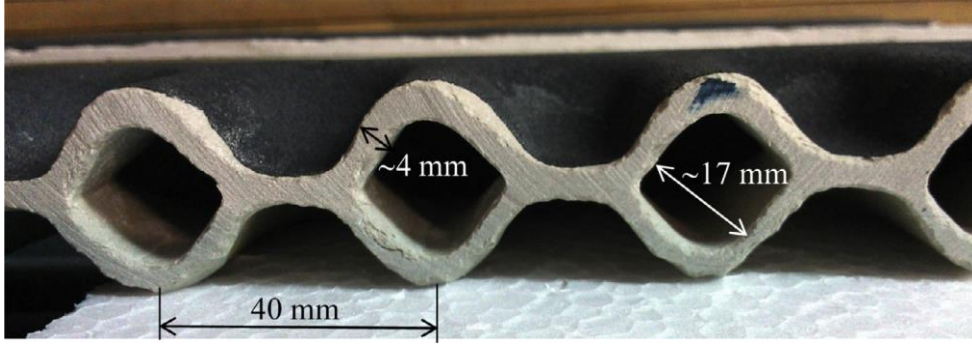
Seramik, maliyeti düşük mühendislik malzemelerinden biridir ve teknik uygulamalar için çok kullanılan malzemelerdendir. Keramik, güneş enerjisi kolektörü yapısı için de çok ilginç bir malzemedir, çünkü iyi ısıl fiziksel özellikleri vardır. Isıl gerilmelere karşı kararlılıkları oldukça iyidir [3,5].

Şekil 1, 2 ve 3 ile seramik güneş kolektörünün üstten görünümü, kanalları (A-A) ve (B-B) enine kesitleri gösterilmiştir. Keramik güneş kolektörünün verimliliği, bugüne kadar kullanılan kolektörlere kıyasla biraz daha düşüktür. Ancak, aşağıda verildiği gibi birçok avantaja sahiptir:

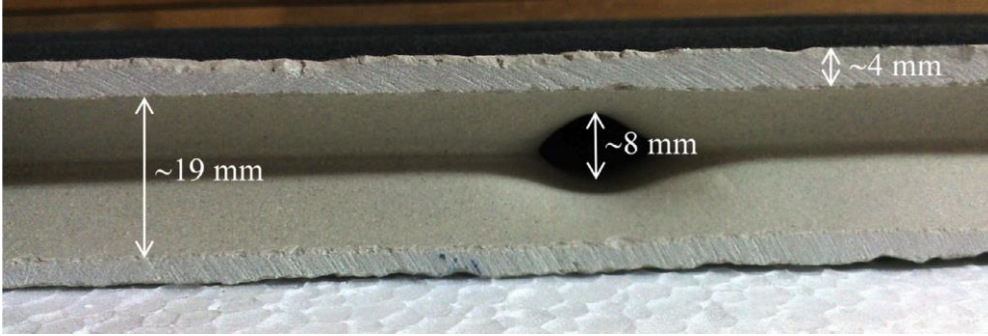
- En az 100 yıl servis ömrü olması
- Her türlü binanın cepheleri ve çatıları ile birleştirilme yeteneğine sahip olması
- Düzenegin, kil, kuvars, su gibi doğal, yaygın olarak temin edilebilir ve ucuz malzemelerden oluşması
- Absorberin sabit optik özellikleri olması
- Yekpare ve dolayısıyla basit yapının olması
- Hali hazırda kullanılan ticari çözümlere kıyasla birkaç kat daha düşük uygulama maliyeti olması [6]



Şekil 1. Ana boyutlara sahip seramik güneş paneli örneği [6]



Şekil 2. Seramik güneş kolektörünün A-A enine kesit görünümü [6]



Şekil 3. Seramik güneş kolektörünün B-B enine kesit görünümü [6]

Güneş kolektörlerinde, güneş ışınının verimli bir şekilde absorblanması en önemli unsurdur. Bu yüzden güneş ışınımı absorblama katsayısı mümkün olan en yüksek değerde olmalıdır. Tipik olarak, üreticiler bu değerini 0,9 ile 0,98 arasında olduğunu belirtmektedir. Seramik kolektörlerde mikro katmanlı siyah seramik V-Ti kullanılmıştır. Bu tabakalar, güneş ışınımını absorblama katsayıları 0.93 ila 0.97 arasında olduğu için güneş ışınımını çok iyi absorblamaktadırlar. Bu nedenle, optik özellikleri siyah bir gövdeye benzemektedir [6, 7, 8].

Seramik malzemesi, geleneksel güneş kolektörlerinde kullanılan çelik, alüminyum ve bakır ile karşılaştırıldığında ısı iletiminin daha düşük olduğu söylenebilir. Alüminyum oksidin (Al_2O_3) içeriğine bağlı olarak bu malzemenin ısı iletim katsayısı 1,2-1,7 W/mK arasında değişmektedir. Bu, enerji dönüşümünün verimliliğini etkileyen olumsuz bir özelliktir. Bununla birlikte, akış kanallarının duvar kalınlığı çok büyük değildir ve bu nedenle bu elemanların ısı direnci küçük olabilir [6,9].

2. Seramik güneş kolektörlerinin genel özellikleri

Seramik güneş kolektörleri seramik malzemeden yapılmıştır. Şekil 4 ile $0,5 m^2$ alana sahip tamamen seramik bir güneş kolektörünü göstermektedir. Seramik güneş kolektörünün absorber malzemeleri de sıradan seramik malzemedir. Sıradan seramik hammaddeleri genel olarak porselen kili, kuvars vb. malzemeden oluşmaktadır [3]. Yutucu kaplamanın malzemesi V-Ti siyah seramiktir. V-Ti siyah seramik, başlangıç malzemelerinden biri olarak vanadyum özütlemeye artıkları kullanılarak üretilir. Bu kaplama doğrudan sert bir ortamla karşı karşıya kalsa bile (örneğin asit yağmuru, sıcak ve soğuk geçişi), güneş ışınımı absorpsiyonu oranını korunduğu gözlemlenmiştir [9].



Şekil 4. 0,5 m² alana sahip tamamen seramik bir güneş kolektörü [9]

3. Seramik güneş kolektörlerinin ısı özellikleri

Seramiklerin metal malzemeler ile karşılaştırıldığında ısı iletkenlikleri düşüktür. Bu, enerji dönüşüm verimliliğini etkileyen istenmeyen bir özelliktir. Ancak, toplama alanının tamamı ısı transfer akışkanı ile temas halindeyse, seramiklerin ısı iletkenliği önemli değildir. Aslında, ısı iletkenlikten ziyade maliyetler, sağlık riskleri ve dayanıklılık gibi diğer faktörlere daha fazla dikkat etmelidir. Seramik güneş kolektörü sisteminin ısı verimi %50 değerinden fazladır ve su sıcaklığı 56°C geçmemektedir [6].

Alıcı malzemenin sinterleme sıcaklığı V-Ti siyah seramik ile doğru eşleşmelidir. Aşırı sinterleme sıcaklığı, güneş ışınımının absorblanmasını düşürecek, siyah seramik alıcı kaplamanın aşısı oluşumunun kaybolmasına yol açacaktır. Seramik macuna Al₂O₃ eklenerek seramik ısı iletkenliğinin artırılması sağlanabilir. Siyah seramik absorpsiyon kaplamalarının aşısı oluşumu, ısı iletkenlikten daha önemlidir. Bu nedenle, öncelikle siyah seramik kaplamaların sinterleme sıcaklığı dikkate alınmalıdır [10,3].

Güneş kolektörlerinde hesaplamalardaki sıcaklık artışı Denklem (1) ile hesaplanabilir. Denklem içerisindeki akışkanın çıkış ve giriş sıcaklıkları sırası ile; $T_{çıkış}$ ve $T_{giriş}$ olarak verilmiştir.

$$\Delta T_{SA} = T_{çıkış} - T_{giriş} \quad (1)$$

Akışkan sıcaklığı yükselmesiyle bağlantılı olan yararlı ısı ise Denlem (2) ile hesaplanmaktadır. Denklem içerisinde \dot{m} , kütleli debiyi c_p , ısı kapasiteyi ve A_k kolektörün açıklık alanını temsil etmektedir [6].

$$q_{yararlı} = \frac{\dot{m} c_p \Delta T_{SA}}{A_k} \quad (2)$$

Yatışkın (kararlı) hal durumunda, güneş kolektörünün ısı verimi Denklem (3) ile ifade edilebilir. Denklemde verilen, $G_{güneş}$ güneş ısınımı değeridir [11].

$$\eta_{ih} = \frac{\dot{m}c_p \Delta T_{SA}}{A_k G_{güneş}} \quad (3)$$

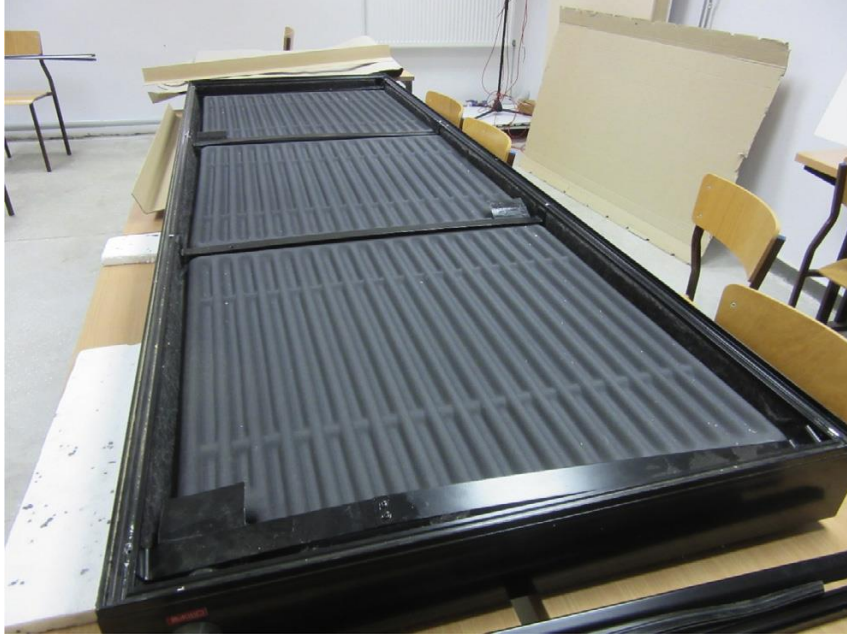
Hottel-Whillier-Bliss modeli, güneş kolektörlerinin ısı özelliklerini belirlemek için kullanılır. Azaltılmış sıcaklık farkları Denklem (4) ile hesaplanmaktadır [12].

$$T_m^* = \frac{T_{giriş} + \frac{\Delta T_{SA}}{2} - T_{hava}}{G_{güneş}} \quad (4)$$

Kolektörün ısı verimliliği ile azaltılmış sıcaklık farkı arasındaki ilişki doğrusal bir fonksiyon olarak Denklem (5) ile gösterildiği gibi ifade edilebilir. T_{hava} ortamın hava sıcaklığını temsil etmektedir. Denklemde a_0 katsayısı fonksiyonun y eksenini kestiği yerdir. Ayrıca a_1 katsayısı ise, fonksiyonunun eğimini temsil etmektedir [6].

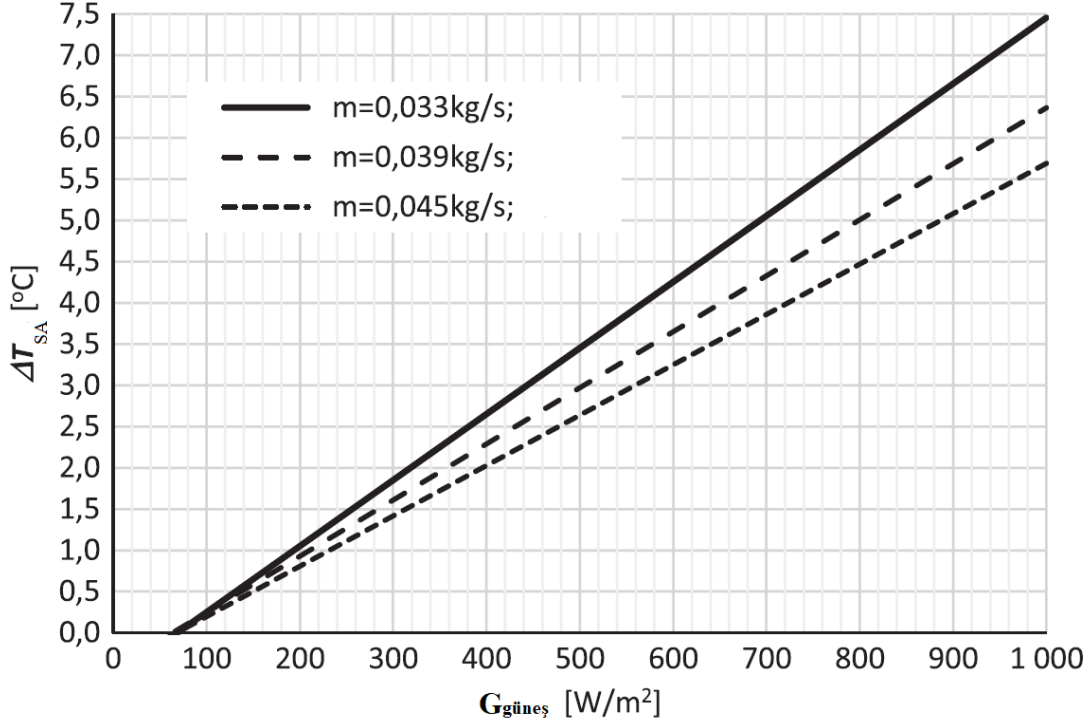
$$\eta_A = a_0 + a_1 T_m^* \quad (5)$$

Seramik güneş kolektörleri üzerine bazı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri, Zukowski ve Woroniak tarafından gerçekleştirilen çalışmadır. Seramik güneş kolektörlerinin ısı performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca, kolektörün ısı performansını belirlemek için [12] referansından yararlanarak yatışkın hal hesaplamaları kullanmışlardır. Deneyleri gerçekleştirirken ISO-9806 standardını kullanmışlardır [13]. Deneylerin gerçekleştirildiği seramik güneş kolektörü Şekil 1, 2, 3 ile gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 5 ile gösterildiği gibi, tekli seramik güneş kolektörleri seri bir şekilde birbirine bağlanmıştır.



Şekil 5. Denede kullanılan seri bağlı seramik bir güneş kolektörü [6]

Alüminyum kasanın yüksekliği 2300 mm, derinliği 110 mm (kanal bağlantısı olmadan) ve uzunluğu 760 mm olarak alınmıştır. Kolektörlerin brüt alanı 1,748 m² ve kolektörün açıklık alanı (Güneş ışımına maruz kalan cam alanı olarak hesaplanmıştır) 1,597 m² olarak verilmiştir. Çalışma akışkanının kütleli debi, kolektörün brüt yüzey alanının 1 metrekaresi başına 0,019 kg/s, 0,022 kg/s ve 0,026 kg/s olarak seçilmiştir. Denede, sıcaklık farkının 7,5°C değerini geğmediği gözlemlenmiştir. Bu aynı zamanda düzlemsel güneş kolektörleri için tipik bir sonuçtur. Dahası 1000 W/m² güneş ışınımında maksimum kütleli debi sıcaklık farkı 5.5°C değerini aşmamıştır. Farklı kütleli debi ve güneş ışınımı değerlerine göre akışkanın sıcaklık farkı değişimi Şekil 6 ile gösterilmektedir [6].



Şekil 6. Güneş ısıtımını değerlerine göre sıcaklık farkının değişimi [6]

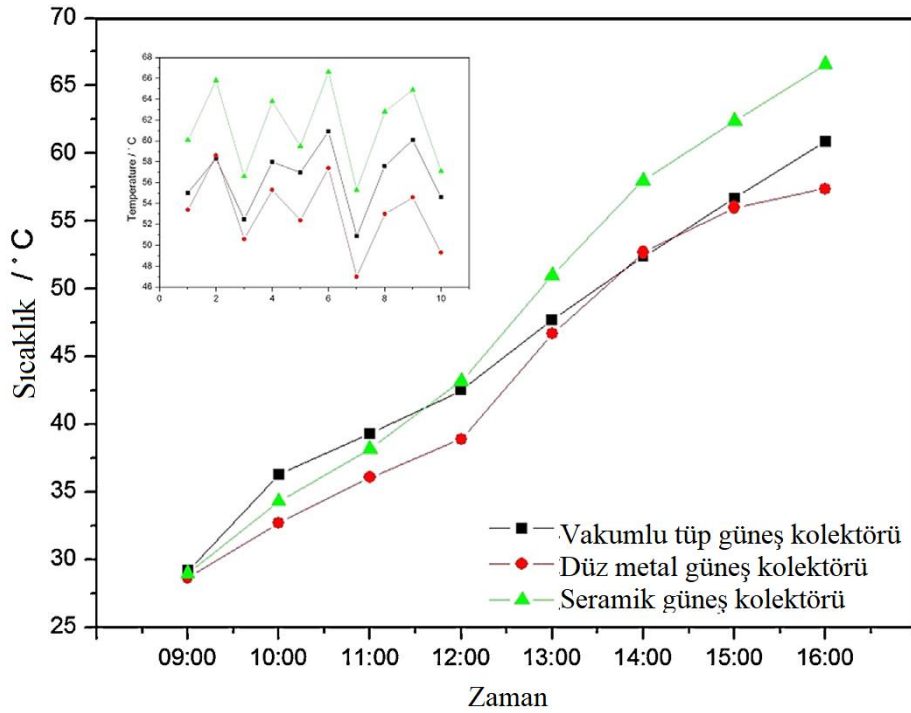
Önemli bir sonuç olarak, deneysel çalışmada, seramik kolektörlerin güneş ışınlamındaki hızlı dalgalanmaları göreceli olarak yüksek ısı kapasitelerinden dolayı düzelttikleri görülmüştür. Yani ısı kazancı diğer düz plakalı kolektörlere göre daha üniform oluşmaktadır. Seramik kolektörler, geleneksel kolektörlerden neredeyse on kat daha yüksek bir ısıl ataletle sahiptir. Bu özellik seramik güneş kolektörünün, ısınması ve faydalı enerji üretmeye başlaması için göreceli olarak daha çok zamanın gerektiği anlamına gelmektedir [6].

Bir başka çalışmamda ise Yung ve diğerleri; vakum tüplü düzlemsel ve seramik güneş kolektörlerinin ısı performanslarını karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmanın yapıldığı 3 adet güneş kolektörü Şekil 7 ile verilmiştir. Vakum tüplü güneş kolektörünün alanı 18,75 m² düz plakalı güneş kolektörünün alanı 24 m² ve seramik güneş kolektörünün alanı ise 24,5 m² değerindedir [9].



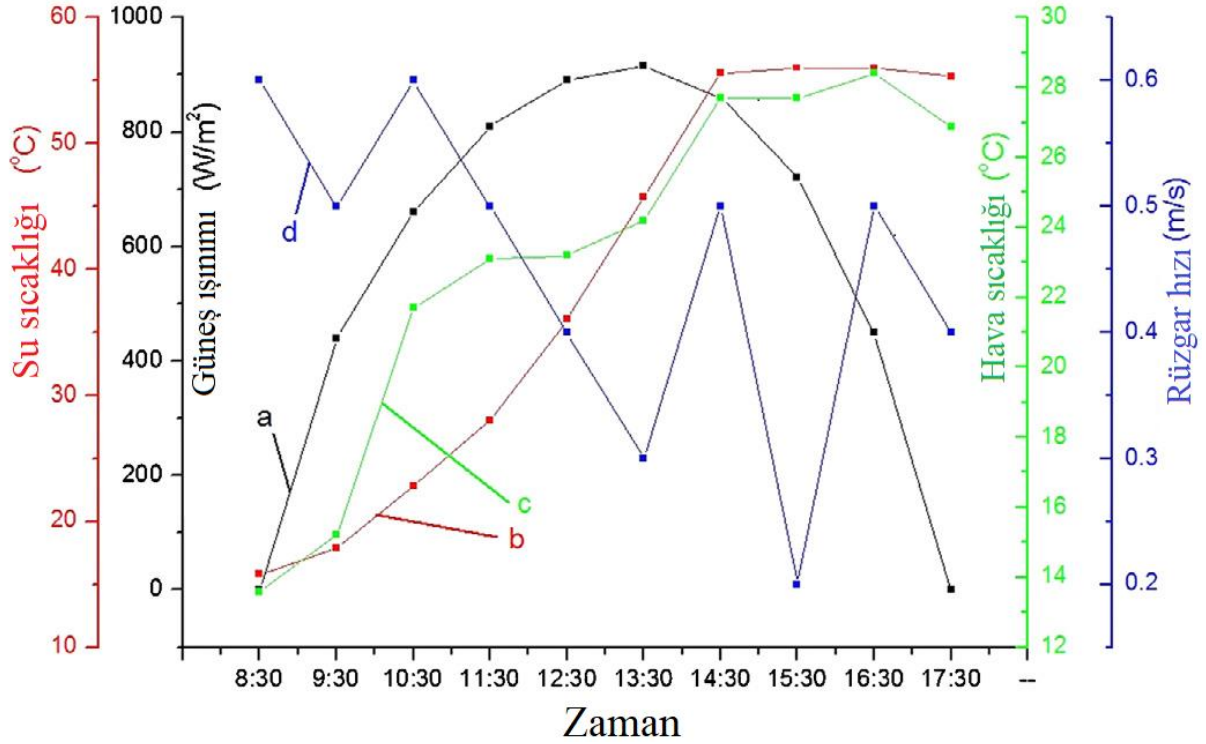
Şekil 7. Denede kullanılan, soldan sağa, vakum tüplü, düz plakalı ve seramik güneş kolektörleri. [9]

Şekil 8 ile gösterildiği gibi, seramik güneş kolektörünün çıkış sıcaklığı her zaman düzlemsel metal güneş kolektöründen daha yüksektir. Ayrıca, 9:30-11:30 saatleri arasında ise vakumlu tüp güneş kolektörünün çıkış sıcaklığı en yüksektir. Düzlemsel metal güneş kolektörünün ve seramik güneş kolektörünün sıcaklık değişimi, test süresince birbirine benzediği görülmekte olup, en düşük sabah 09-12 saatleri, orta öğleden sonra 02-04 saatleri ve en yüksek öğleden sonra 12-02 saatleri arasındadır.



Şekil 8. Çıkış sıcaklığına göre üç farklı güneş sisteminin karşılaştırılması [9]

Test süresi boyunca seramik kolektörünün akışkan çıkış sıcaklıklarının artışı, güneşten elde edilen enerji miktarı, sistemden kaybedilen enerji miktarından daha yüksek olduğu sürece artmaya devam etmiştir. Şekil 9 ile, seramik güneş kolektörünün test süresi boyunca, akışkanın çıkış sıcaklığı, anlık güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı gösterilmiştir. Çıkışta maksimum su sıcaklığının öğleden sonra 2.30'da 56°C sıcaklığa ulaştığı görülmüştür. Ayrıca, seramik güneş sisteminin ısı veriminin %50,6 olduğunu gözlemlenmiştir [9].



Şekil 9. Seramik güneş kolektörünün performans analizi [9]

4. Seramik güneş kolektörünün bina ile birleştirilmesi

Konutlar, dünyadaki nihai enerjin kullanımının üçte birinden fazlasını oluşturuyor ve bu durum gelişmekte olan ülkelerde için %40 oranını aşıyor. Konutlardaki enerji tüketiminin önemli bir yüzdesinin sıcak su üretiminde harcandığı bilinmektedir. Binalarda enerji tasarrufu amacıyla, güneş enerjili su ısıtıcı sistemleri, binaların kullanımı için sıcak su sağlayan ana ürünlerden biri haline gelmiştir. Bununla birlikte, güneş kolektörleri genellikle çatıda binaların tamamlanmasından sonra ayrı bir elemanlar olarak eklenir ve bu durum göze hoş gözükmemektedir. Binaya birleştirme sadece görsel kirlenmeyi önlemekle kalmaz aynı zamanda güneş enerjisi sisteminin maliyetini de düşürür. Burada “bina entegrasyonu (binaya birleştirme)” ifadesinin iki anlamı vardır. Birincisi, güneş sisteminin genel bina tasarımının bir parçası haline gelmesidir. Diğeri ise güneş enerjisi sisteminin bina ile aynı ömre sahip olmasıdır. Bu açıdan, seramik güneş kolektörlerinin uzun ömrü garanti eden sistemlerdir [14].

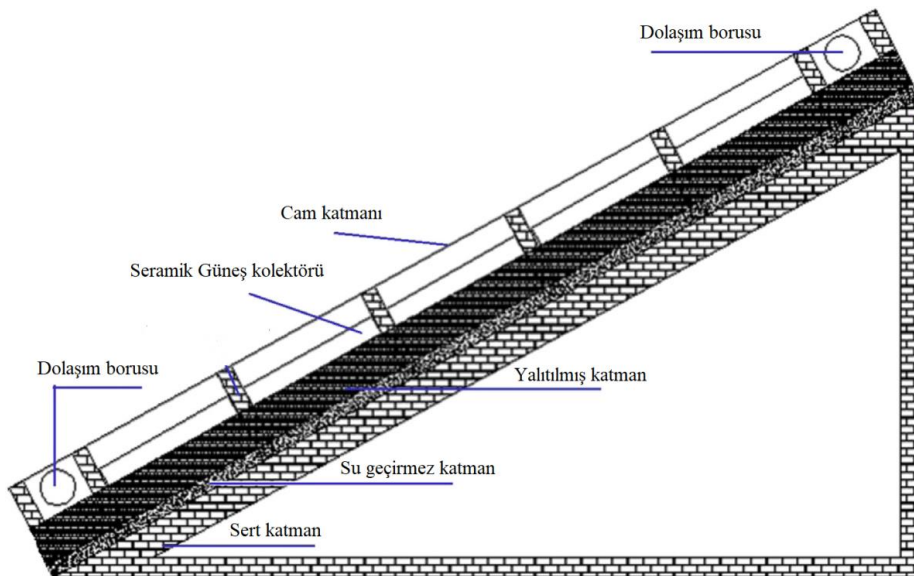
Şekil 10 ile yapım aşamasında olan bütünleşik bir seramik güneş sistemini göstermektedir. Seramik güneş kolektörleri doğrudan binanın çatısına yerleştirilmiştir [9]. Şekil 11 ile ise, seramik güneş kolektörünün elemanları gösterilmiştir. Seramik güneş enerjisi sistemleri için

donma önleme tedbirleri gereklidir. Donmayı önlemenin bir yolu, su deposunu güneş kolektörlerinin altına yerleştirmektir.

Su dolaşıma zorlanarak taşınır (aktif sistemler). Gündüz veya toplayıcı tanktaki sudan daha sıcak olduğunda, tanktaki su toplayıcılara pompalanır. Geceleri veya toplayıcı tanktaki sudan daha soğuk olduğunda, kolektörlerdeki su tanka geri döner. Bu güneş enerjisi sisteminin otomatik kontrolü, akışkan sirkülasyon pompasını ve akışkan yolunu sürekli kontrol ederek gerçekleştirilir. [14]



Şekil 10. Seramik güneş kolektörünün çatıya entegrasyonu [14]



Şekil 11. ile seramik güneş kolektörünün ekipmanları [14]

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada -bir derleme çalışması olarak- seramik güneş kolektörleri oluşturan malzemelerden, sistemin termofiziksel özelliklerinden, avantaj ve dezavantajlarından deneysel çalışmalar temel alınarak bahsedilmiştir. Çalışma içerisinde, seramik güneş kolektörlerinin doğada oldukça yaygın bulunan, ucuz ve uzun ömürlü seramik malzemenin yapıldığı bahsedilmiştir. Bu açıdan bir güneş enerji sisteminin ucuz ve uzun ömürlü olması oldukça önemli bir özelliktir. Ayrıca, seramik güneş kolektörünün ısı ataletinin diğer kolektörlere kıyasla 10 kat yüksek olduğu, bu yüzden ısı kazanımının ve ısının korunmasının geç ama uzun süreli olabileceği vurgulanmıştır. Buna bağlı bir başka özellikte ise, deneylerden anlaşılacağı üzere, seramik malzemenin göreceli olarak yüksek ısı kapasitesinden dolayı, güneş ışınımındaki hızlı dalgalanmaları düzelttikleri gösterilmiştir. Seramik güneş kolektörünün bir dezavantajı, seramik malzemenin ısı iletim katsayısının düşük olmasıdır (1,2-1,7 W/mK). Ancak tüm yapının yekpare olmasından dolayı bu durum önemli bir sorun olmaktan çıkmaktadır. Seramik güneş kolektörünün absorblayıcı yüzeyi, V-Ti kaplaması ile kaplanmaktadır. Bu kaplama yüksek güneş ışınımını soğurma özelliğine sahiptir. Ayrıca sert hava koşullarında, güneş ışınımı absorblama katsayısında herhangi bir değişiklik olmamaktadır. Bu çalışma içerisinde verilen deneysel çalışmada, seramik güneş kolektörü sisteminin ısı verimi %50 değerinden fazla olduğu ve su sıcaklığının ise 56°C değerini geçmediği gösterilmiştir. Bu değerler, tipik düzlemsel güneş kolektörlerine yakın değerdedir. Ayrıca diğer bir deneysel çalışmada ise, suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları farkının 7,5°C değerine kadar olabileceği yayınlanmıştır. Bir başka önemli durum ise seramik güneş kolektörleri, bina çatıları ile bütünlük yapılar oluşturabilirler. Böylelikle seramik güneş kolektörleri konvansiyonel güneş sistemlerine göre hem daha göze daha güzel görünebilir hem de daha uzun ömürlü (bina ömrü kadar) yapılar oluşturabilmektedir. Seramik güneş kolektörlerinin çalışma içerisinde verilen özellikleri dikkate alındığında, konvansiyonel düzlemsel güneş kolektörlerine göre daha uygulanabilir ve avantajlı olduğu görülmektedir. Çünkü seramik oldukça yaygın bulunan, ucuz, uzun ömürlü ve iyi termofiziksel özelliklere sahip bir malzemedir. Bu açıdan, ülkemizde seramik güneş kolektörleri üzerine deneysel çalışmaların yapılması veya artırılması, ithalat miktarını düşürüp yerli kaynaklara yönelmemize imkan sağlayacaktır.

6. Referanslar

1. Jianhua Xu., Yuguo Y., Bin C., Qichun W., Dapeng X., 2014. All-Ceramic Solar Collector and All-Ceramic Solar Roof. Journal of the Energy Institute 87 (2014) 43-47.
2. P.F.Cruz, J.M.Palomar, P.J.Casanov, M.P.Dorado, A.F. Manzano, Characterization of solar flat plate collectors, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16(2012)1709–1720.
3. Yuguo Y., Shuliang C., Jianhua X., Bin C., 2013. All-Ceramic Solar Collectors. Ceramics International 39, 6009-6012.
4. R.Pike, P.Earis, Powering the world with sunlight, Energy and Environmental Science 3 (2010) 173.
5. M.Roeb, M.Neises, N.E.Monnerie, C.Sattler ,R.Pitz-Paal, Technologies and trends in solar power and fuels, Energy and Environmental Science 4 (2011) 2503–2511.

6. Miraslaw Z. and Grzegor W., 2014. Experimental Testing of Ceramic Solar Collectors. *Solar Energy* 146 (2017) 532-54.
7. Yang, Y., Cao, S., Xua, J., Cai, B., 2013b. All-ceramic solar collectors. *Ceram. Int.* 39, 6009–6012.
8. Yang, Y.G., Xu, J.H., Cai, B., Wang, Q.C., Xiu, D.P., Zhao, Z.B., Sun, Q.Z., Cao, S.L., 2013c. Synthesis and applications of black.
9. Xiao-Yu S., Xiao-Dan S., Xin-Gang L., Zhen-Qing W., Jian H., 2014. Performance and Building Integration of All-Ceramic Solar Collectors. *Energy and Buildings* 75 (2014) 176-180.
10. E.Garci´a, A.dePablos, M.A.Bengoechea, L.Guaita, M.I.Osendi, P. Miranzo, Thermal conductivity studies on ceramic floortiles, *Ceramics International* 37(2011) 369–375.
11. Duffie, J.A., Beckman, W.A., 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons Inc, Hoboken, New Jersey.
12. Os´orio, T., Carvalho, M.J., 2012. Testing of solar thermal collectors under transient conditions. *Energy Proc.* 30, 1344–1353.
13. ISO 9806: 2013. *Solar energy - Solar Thermal Collectors - Test Methods*.
14. Jianhua Xu., Yuguo Y., Bin C., Qichun W., Dapeng X., 2014. All-Ceramic Solar Collector and All-Ceramic Solar Roof. *Journal of the Energy Institute* 87 (2014) 43-47.