

Çatı Üstü Termal ve Elektrik Enerjisi Üretimini Ekonomik ve Çevresel Getirilerinin Araştırılarak Optimal PV-T Tasarımı

Optimal PV-T Design Based On Investigation of Economic and Environmental Benefits of Rooftop Solar Thermal and Electrical Energy Generation

Serdar UYAR¹, Dr. Öğr. Ü. Atabak NAJAFI²

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye
serdaruyar55@hotmail.com

²Elektrik Elektronik Mühendisliği, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye
ataberk.najafi@ogu.edu.tr

Öz

Her geçen gün artan enerji ihtiyacı, çevreye zararlı enerji kaynaklarının tüketimini hızla artırmakta ve bu tüketim; küresel ısınma, doğal dengenin bozulması gibi canlı yaşamını etkileyen durumlara sebep olmaktadır. Öte yandan, güneş enerjisinden termal enerji ve elektrik enerjisi üretimi de yenilenebilir enerji kaynağı olarak gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bu yaygınlaşma, binalarda kullanılan enerjiyi çatı üstü termal enerji ve elektrik enerjisi üreten PV-T sistemler üzerinden karşılamaya yönelik çalışmaları beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmada çatı üstü termal enerji ve elektrik enerjisi üretimi hakkında genel bilgiler verilmiş ve bu enerji üretim sistemlerinde kullanılan temel donanımlar hakkında detaylı anlatım bilgileri verilmiştir. Bunun yanında, literatürde yer alan ve üzerinde akademik çalışmalar yapılan PV-T sistemlere değinilmiştir. Çatı üstü enerji üretiminde kullanılan PV-T kolektörlerinin uygulanma şekli ve başarımlarını anlatılmıştır. Farklı tip PV-T kolektörlerin çatılara entegrasyonu gösterilmiştir. Ayrıca, çatıya entegre termal ve PV sistemlerin karakteristik farklarına da değinilmiştir. Sonuç olarak; çatı üstü termal enerji ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılan PV-T sistemlerinde değerlendirilmesi faydalı olacak hususlar belirtilmiştir.

Anahtar kelimeler: güneş enerjisi, pv-t sistem, panel

Abstract

Ever-increasing need for energy rapidly increases the consumption of energy and this consumption leads to cases such as global warming and disruption of ecological balance that consequently affects life. Concurrently, solar thermal and electrical energy technologies are expanding day-by-day as renewable energy source. This expanding brings about studies to meet the need for energy used in buildings through the

PV-T systems that generate rooftop thermal and electrical energy.

This article included general information about rooftop solar thermal and electrical energy systems and detailed information about the main equipment used in these systems. Moreover, PV-T systems in the literature were mentioned. Form of application and performance improvement of PV-T collectors used in rooftop energy generation were explained as well. Integration of different types of PV-T collectors into roofs was indicated. In addition, characteristic differences of roof-integrated thermal and PV systems were addressed. Finally, the significant aspects to be considered regarding the PV-T systems used in rooftop solar thermal and electrical energy generation were stated.

Keywords: solar energy, pv-t system, collector

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen atomlarının helyum atomlarına dönüşmesi sonucu açığa çıkan ışınım enerjisidir. Güneş enerji sistemleri güneşten gelen sıcaklığa göre değil güneş ışınlarına göre enerji üretmektedir. Yani ışığın olduğu her zaman, kış aylarında bile enerji üretilebilmektedir. Bu enerji dünya yüzeyine metrekaresine başına yaklaşık 1400 W olarak düşer [1].

Enerji üretiminde kullanılan kömür, petrol, doğalgaz ve bor gibi enerji türleri dünyada sınırlı olduğundan dolayı tükenme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Fakat güneş enerjisinin yaşam var olduğu sürece tükenmesi söz konusu değildir. Güneş enerjisi, tükenmemesinin yanında ortak olarak kullanılması, çevreyi kirletmemesi ve enerjiye dönüşüm maliyetinin düşük olması nedeniyle çok kullanılan bir enerji üretim

sistemidir. Bu yüzden yeni teknolojilerde güneş enerjisi kullanılmaya çalışılmaktadır.

Dünyada kullanılan enerjinin önemli bir kısmının binalarda harcandığı bilinmektedir. Ayrıca insanların yaşam kalitesi ve refah düzeyi arttıkça enerjiye olan talep de artmaktadır. Bununla beraber endüstriyel gelişim, nüfus artışı, elektriksel aletlerin kullanımının yaygınlaşması enerjiye olan talebi hızlı bir şekilde artırmaktadır. Birçok ülke ihtiyaç duyduğu enerjiyi üretimle karşılayamamaktadır. Ayrıca gelişmekte olan ülkeler sanayileşmiş ülkelerdeki ekonomik gelişmeyi yakalamak için yoğun çaba sarf etmektedir. Dolayısıyla bu ülkelerin enerjiye olan taleplerini karşılayabilmeleri hayati önem arz etmektedir. Artan bu enerji talebinin geleneksel üretim yöntemleri ile karşılanması atmosfere yayılacak olan sera gazları miktarını kat ve kat arttıracak iklim değişimini daha da hızlandıracaktır. Yapılacak olan yeni enerji üretim sahalarında geleneksel enerji kaynaklarının yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi insanlığa daha yaşanılabilir, temiz, kirlenmemiş bir çevre sunacaktır.

Geleneksel bir fotovoltaik panelin elektriksel enerji dönüşüm oranı %5-20 arasındadır [2]. Kalan enerji ısı enerjisi olarak ortaya çıkarak panelin yüzey sıcaklığını yükseltmektedir. Unutulmalıdır ki panel yüzey sıcaklığındaki her 1°C'lik sıcaklık artışı fotovoltaik panelinin elektriksel verimini %0,47 oranında düşürmektedir [3]. PV-T sistemlerinde ise atmosfere yayılan ve panel yüzey sıcaklığını arttıran bu enerji güneş panelinin arkasına yerleştirilen ısı değiştiriciler ve akışkanlar yardımıyla tutulmakta ve faydalı enerji olarak kullanımı sağlanmaktadır. Böylelikle yaz aylarında 80°C'leri bulan panel yüzey sıcaklığı PV-T kolektörlerinin tasarımlarına göre daha düşük seviyelerde tutulabilmektedir. Bu sayede akışkanlar yardımıyla soğutulan bu güneş pilleri düşük ve kararlı bir sıcaklıkta güç çıkışını artırır. Fotovoltaik panel üzerindeki soğutma uygulamaları hem panelin elektriksel verimini arttırmakta hem de sıcaklığın oluşturacağı bozulmanın azalmasından dolayı panelin kullanım ömrünü arttırmaktadır [4]. PV-T sistemlerin verimliliğini ortam sıcaklığı, güneş enerjisi geliş açısı, rüzgârın hızı ve soğutma şekli etkiler.

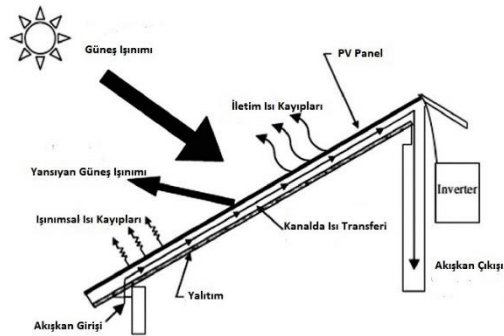
Fotovoltaik-termal enerji üretim sistemleri üzerine son yıllarda birçok araştırmacı bilimsel çalışmalar yapmıştır. Örneğin; Tyagi ve arkadaşları fotovoltaik-termal kolektörleri, fotovoltaik panelleri ve konsantrasyon kolektörlerini kapsayan teknolojiler üzerine çalışmışlardır [5]. Chow ve arkadaşları son yıllardaki kolektör tasarımları, kullanılan malzemelerdeki gelişmeler ve coğrafi

etkilerin üzerinde araştırma yapmışlardır [6]. Moradi ve arkadaşları fotovoltaik-termal sistem verimini etkileyen çeşitli parametreler ve bu parametrelerin değer aralıkları üzerine çalışma yapmışlardır [7]. Riffat ve arkadaşları birçok analiz modeli kullanarak değişik tipteki PV-T sistemlerin fotovoltaik panel başarımını nasıl etkilediği ve elektriksel ve termal kazanımları niteliksel olarak araştırarak çıkarımlarda bulunmuşlardır [8].

Bu bildiride kapsam olarak çatı üstü termal ve elektrik enerjisi üretiminin ekonomik ve çevresel getirileri ve farklı tür PV-T tasarımları araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda; farklı tip PV-T sistemleri ile ilgili literatür taraması yapılarak akademik çalışmalar incelenip farklı PV-T tasarımlarının kullanımı ve verimleri irdelenmiştir. Yapılan araştırmalardan çıkarılan sonuçlar karşılaştırılarak çatı üstü PV-T sisteminin geliştirilmesi ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

2. PV-T SİSTEMLER

Fotovoltaik-termal sistemlerde fotovoltaik panelin sıcaklığı, doğal ya da zorlanmış akışkan ile soğutma yapılarak düşürülebilir. Böylelikle aynı anda elektrik ve ısı enerjisi üretebilen PV-T sistemler oluşturulmuş olur. Şekil 1'de de görüldüğü gibi PV-T sistemler, fotovoltaik panel ve panelin arkasına yerleştirilmiş olan emici plakadan oluşmaktadır. Emici plakanın iki görevi vardır. İlki fotovoltaik paneli soğutarak elektrik üretim verimini arttırmaktır. İkincisi ise fotovoltaik sistem tarafından kullanılmayan atık ısıyı yararlı işe çevirmektir. Fotovoltaik panel ve termal toplayıcı kullanımı binaların çatısında daha az yer kaplayarak gerek alan tasarrufu sağlamanın yanı sıra hem elektrik enerjisini hem de sıcak su ihtiyacını da karşılayabilir.



Şekil 1: Çatıya entegre edilmiş PV-T tasarımı

PV-T kolektörleri güneş enerjisini elektrik ve termal enerjiye dönüştürdüğü için birim alandaki toplam enerji çevrimi oldukça yüksektir. Bununla beraber PV-T kolektörlerinden üretilen termal

enerji ancak düşük ve orta seviyedeki sıcaklık uygulamalarında kullanılabilir [9]. Çünkü PV-T sistemlerin asıl amacı fotovoltaik panelin sıcaklığını optimum seviyede tutup olabildiğince çok elektrik üretmektir. Fotovoltaik panelin sıcaklığını optimum derecede tutmak için kullanılan akışkan da ancak belli bir sıcaklığa kadar ısınabilmektedir.

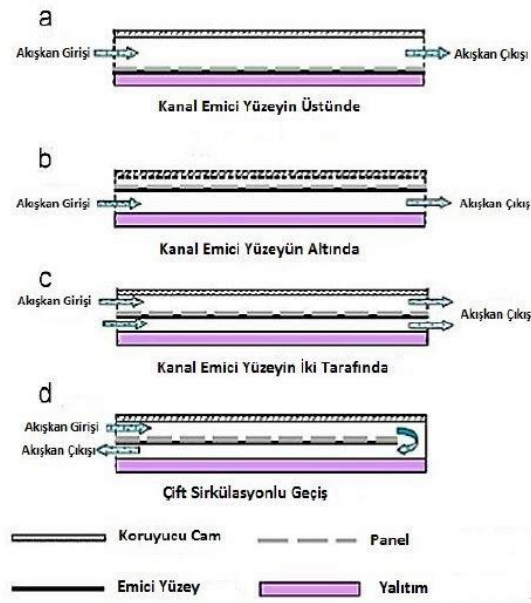
Çatı üstü enerji üretim sistemleri için değişik tipte PV-T tasarımları üzerinde çalışılmaktadır. Bu sistemlerle üretilen enerjinin verimi sistemde kullanılan kanal yapısı, akışkanın tipi gibi değişkenlere bağlıdır. Bundan sonraki kısımda çatı üstüne entegre edilen farklı tip PV-T sistemler üzerinde durulacaktır.

2.1. PV-T Hava Kolektörü

PV-T hava kolektörleri, termal hava kolektörleri ile benzer yapıdadır. Fakat bu kolektörlerde termal hava kolektörlerinin arka yüzeyine yerleştirilen koyu termal emici tabakanın yerine fotovoltaik panel yerleştirilmiştir. Bu sistemlerde verim ısı transferini sağlayan havanın akış tasarımına, debisine ve kanal yüzeyinin ısı transferine uygunluğuna göre değişir. Hava ile soğutulan PV-T kolektörleri diğer türlere göre oldukça ucuz, basit yapı ve yaygın kullanılan bir sistemdir. Bu sistemde fotovoltaik panel üzerindeki ısı enerjisi etkili bir şekilde uzaklaştırılabilir.

Sıvı kolektörler ile karşılaştırıldığında düşük yoğunluk, düşük ısı sığası ve düşük termal iletkenliği nedeniyle düşük ısı transfer katsayısına sahiptir. Dolayısıyla termal verimleri %10-20 arasında değişmektedir. Ayrıca sıvı kolektör sistemlerine göre daha hantal yapılıdır. PV-T hava kolektörlerinde sızma ya da donma sorunu bulunmamaktadır. Fan kullanıldığı takdirde gürültü sorunu ortaya çıkabilmektedir [10].

Hegazy, 4 farklı hava kolektörü tasarımı üzerine çalışma yapmıştır. Bu 4 adet hava kolektörü Şekil 2'de görüldüğü gibi hava, emici yüzeyin üstünden (a), altından (b), hem üstünden hem de altından (c) ya da çift sirkülasyonlu geçiş (d) şekline göre tasarım olarak birbirinden ayrılmaktadır. Sayısal simülasyonlar anlaşıldığı gibi b ve d tasarımı elektriksel ve termal kazanç olarak benzer sonuçlar vermektedir. Şekil 2'de a tasarımını en az verim ile çalışmaktadır. En az fan gücü isteyen tasarım ise sırasıyla c ve d tasarımıdır [11].



Şekil 2: Farklı yapıdaki hava kolektörleri

Kamtahani ve arkadaşları ortam ısıtması amacıyla kullanılan hibrit yarı görünür çift geçişli PV-T sistemlerini incelemişler yıllık üretilen termal ve elektrik enerjisini sırasıyla 481kwh ve 470kwh olarak ölçmüşlerdir [12].

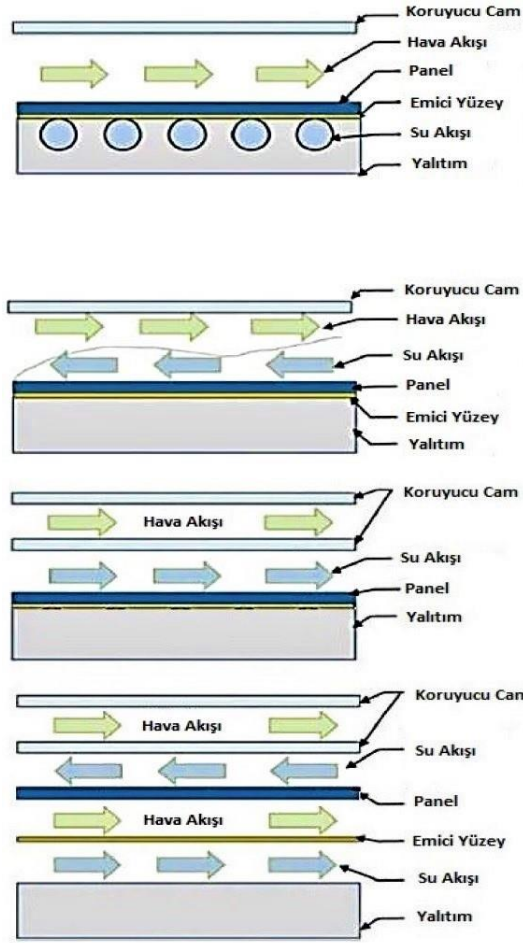
Yang ve arkadaşları çatıya entegre PV-T (BİPVT/a) hava sistemi üzerine deneysel çalışma yapmışlar bu sisteme ait kolektöre iki hava girişi uygulandığı takdirde termal verimin %5 arttığını ve fotovoltaik panelin sıcaklığının 1,5°C daha düştüğünü tespit etmişlerdir. Bununla beraber sisteme eklenen dikey cam kaplı hava kolektörünün termal verimi %8 oranında arttırdığını ve fotovoltaik panelin sıcaklığını çatı uzunluğu 5-6 metre olan sistemlerde 5-10°C düşürdüğünü eklemişlerdir [13].

Agrawai ve arkadaşları soğuk iklim koşullarda elektrik enerjisi üretimi ve ortam ısıtması için termal enerji üretimi üzerine çatı tipi BİPVT/a sistemini araştırmışlardır. Toplamda 65m² kolektör alanına sahip 7,2kW kurulu elektriksel gücü olan bu sistemin kanallardan 1,2kg/sn kütleli debide hava sirkülasyonu sağlayan 0,12kW kapasitede fanlar mevcuttur. Test sonuçlarına göre yıllık 16.209 kWh elektrik enerji ve 1.531kwh termal enerji üretimi sağlanmış olup termal verim %53,7 oranında gerçekleşmiştir [14].

Hava kolektörlü PV-T'ler hem düşük derecede termal, hem de yüksek derecede elektriksel enerjilerin aynı ünitelerden elde edilmesi gibi bir avantajı beraberinde getirir. Sonuç olarak, bu sistemler iki ayrı ünitenin maliyetinden çok daha ucuz maliyete sahiptir.

2.2. PV-T Su Kolektörü

PV-T su kolektörleri, hava kolektörlerinden farklı olarak su sızdırmamalı, elektrik yalıtımlı olmalı, su sirkülasyonu ve ısı transferi için gerekli borulara sahip olmalıdır. Bu nedenle oldukça pahalı bir sistemdir. Yüksek akış debisi nedeniyle fotovoltaik panelin sıcaklığının azaltılması hususunda oldukça etkili bir kolektördür. Kullanılabilir bir termal enerji elde edilebilmesi için akış debisinin düşük olması ve düşük boru çapları kullanılması gerekmektedir. PV-T sisteminin etkili kullanımı, ekonomik ömrünün iyileştirilmesi, optimum bir elektrik ve termal başarımları için ideal bir akış debisi belirlenebilir.



Şekil 3. Farklı yapıdaki su kolektörleri

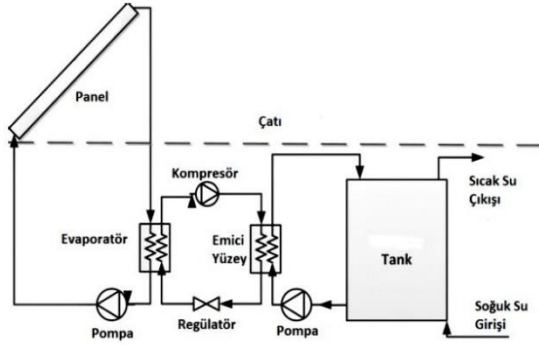
Fudholi (2014), Fotovoltaik modülden üretilen bir PV-T panelin verim analizini yapmıştır. Ulaşılmış olduğu veriler sonucunda 800W/m^2 bir ışınım ve $0,041\text{kg/s}$ su debisinde, %13 fotovoltaik verim ve %52 termal verim elde etmiştir. Farklı debi ve akış hızının fotovoltaik paneldeki soğutmayı etkilediği gözlenmiştir. Ayrıca sıcak su üretiminin de etkilediğini tespit edilmiştir [15].

Anderson ve arkadaşları çatıya entegre PV-T su sisteminin teorik olarak analizini yapmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki kanatçık verimleri, kullanılan katmanlı yapı tekniği, termal iletkenlik gibi temel tasarım parametreleri elektriksel ve termal verimleri belirgin bir şekilde etkilemektedir. Bununla beraber kolektör içerisinde yer alan PV panelin altındaki bakır ve alüminyumdan üretilmiş emilim plakasının daha düşük fiyatlı yüzey işlemi görmüş çelik plakayla değiştirilmesinin verimi çok etkilemediği görülmüştür. Aynı zamanda bu çalışmada PV-T kolektörlerini çatının üstüne koymak yerine çatıya gömülü şekilde montajlamak yalıtım açısından daha etkili bir yalıtım tekniğini ortaya çıkaracağı belirtilmiştir [16].

Mishra ve arkadaşları iki farklı PV-T su kolektörü tasarımını incelemişlerdir. İlk tasarımda PV panelleri PV-T kolektör yüzeyinin bir kısmını, ikinci tasarımdaysa PV-T kolektör yüzeyinin tamamını kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılan yıllık ölçümlerde ilk tasarımdan ikinci tasarıma geçildiğinde termal verimin %9,48 oranında düştüğü toplam net ekserjinin %39,16 oranında arttığı görülmüştür [17].

2.3. Soğutucu Temelli PV-T Kolektörü

Güneş panellerinin elektriksel verimlerinin panel yüzey sıcaklığı arttıkça azaldığı bilinmektedir. PV-T su veya PV-T hava kolektörlerinde her ne kadar fotovoltaik panel soğutulsa da ideal bir verim sağlanabilmesi için hedeflenen en uygun sıcaklık 25°C civarında olmalıdır. Bundan dolayı PV-T kolektöründen daha fazla elektriksel verimin sağlanabilmesi için kolektörün içerisinde su ya da hava yerine soğutucu akışkan geçirilmesi fikri soğutucu temelli PV-T kolektör sistemini ortaya çıkarmıştır. PV panellerinin yer aldığı kolektör yüzeyi daha düşük sıcaklıklarda tutulabilmektedir. Bununla beraber bu sistemde kolektör üzerinde soğutucu akışkana aktarılan kaynağı güneş ışınımı olan termal enerji yoğunlaştırıcı kısmında ısıtma suyuna aktarlabilmektedir. Yoğunlaştırıcı içerisinde ısı transferi soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerinden dolayı daha yüksek sıcaklıkta meydana geldiği için soğutucu temelli PV-T sisteminin termal verimi de oldukça yüksektir.



Şekil 4. Soğutucu temelli PV-T kollektör örneği

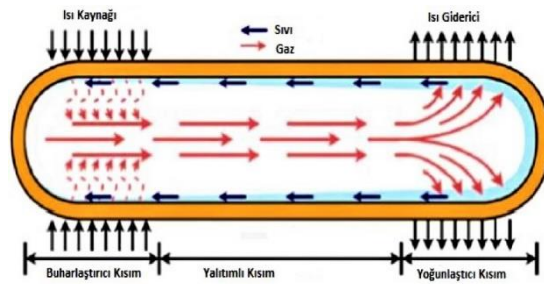
Fu ve arkadaşları Hong Kong iklim koşullarında R134 soğutucu akışkanını kullanarak yeni bir fotovoltaik güneş enerji destekli ısı pompasını deneysel olarak çalıştırmışlardır. Bu sistemin güneş destekli ısı pompası, hava kaynaklı ısı pompası ve ısı kanalı şeklinde üç farklı çalışma şekli bulunmaktadır. Deneysel sonuçlara göre güneş destekli ısı pompası modunda sistemin günlük toplam enerji verimi %61 ile %82,1 arasında değişmektedir. Bununla beraber güçlü güneş radyasyonu altında ısı pompasının ortalama başanım katsayısı (COP) 4,01'e ulaşmaktadır [18]. Chen ve arkadaşları R134a soğutucu akışkan kullanılan PV-T sisteminde PV panel yüzeyinin soğutulmasıyla elektriksel verimin %2,7'den %4,6'ya çıktığını gözlemlemişlerdir [19].

Jie ve arkadaşları soğutucu akışkan olarak R22 gazını kullanan güneş enerji destekli ısı pompasının verimlerini ölçmüşlerdir. 4 farklı (20, 30, 40 ve 50°C) yoğunlaştırıcı giriş sıcaklığına göre fotovoltaik panelin elektriksel verimini artırarak sırasıyla %10,4, %16,1, %5,4, %8,3 oranında gerçekleştirmişlerdir [20].

Gang ve arkadaşları yeni bir çift ısı kaynaklı (Güneş radyasyonu ve havanın termal enerjisi) ısı pompalı sıcak su sisteminin deneysel ve teorik incelemesini yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre ortalama elektriksel ve termal verim sırasıyla %14,5 ve %36,02 oranında gerçekleşmiştir. Toplam verim %50'nin üzerindedir. ısı pompasının ve sistemin başarımlık katsayısı ise sırasıyla (COP ve COP_{sys}) ortalama 4,08 ve 3,07 oranında gerçekleşmiştir [21]. Minglu Qu ve arkadaşları da yeni bir çift ısı kaynaklı ısı pompalı sıcak su sisteminin deneysel incelemesini yapmışlardır. Deney esnasında PV panelin operasyonel sıcaklığı 45°C'ye kadar düşürülmüş buna bağlı olarak elektriksel verimi %10,3 oranında arttırılmıştır [22].

2.4. Isı Borulu PV-T Kollektörü

Isı boruları, termal iletkenliği ve fazlar arası geçiş mekanizmasını bütünleştirdiği için ısı transferi açısından oldukça verimlidir. Şekil 5'te görüldüğü gibi konvansiyonel ısı borusu buharlaştırıcı, yalıtımlı ve yoğunlaştırıcı kısım olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 5. Isı borulu PV-T kollektörünün soğutması

Isı borulu PV-T kollektörlerinde fotovoltaik panelin hemen altında düz tabakalı ısı boruları bulunmaktadır. İçinde çok sayıda mikro kanal dizisine sahip ısı borularının fotovoltaik panel ile temas eden kısmı buharlaştırıcı kısmı oluşturmaktadır. Burada sıvı fazından gaz fazına geçen soğutucu madde fotovoltaik panelin termal enerjisini azaltır. Diğer uçtaki kısım ise yoğunlaştırıcı kısmını oluşturmaktadır. Burada soğutucu akışkan, üzerindeki termal enerjiyi ısı değiştiriciler üzerinden soğutma suyuna atarak gaz fazından sıvı fazına geçmektedir. Böylece fotovoltaik panel ile ısı değiştiriciler arasında çok etkili bir ısı transfer mekanizması ve düşük bir termal direnç oluşumu sağlanmaktadır. Sonuç olarak ısı borulu PV-T sisteminde fotovoltaik panellerin elektriksel verimi %15-30 oranında iyileştirilebilmektedir.

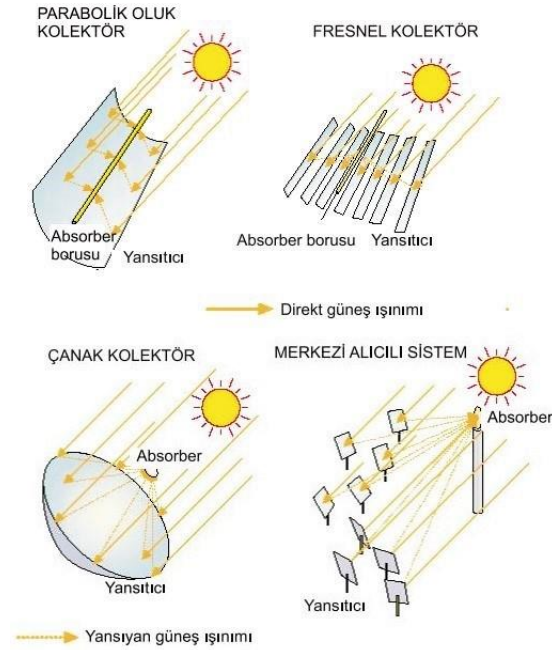
Zhang ve arkadaşları yeni bir konsept olan döngülü ısı borulu PV-T sisteminin deneysel çalışmasını yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre sistemin elektriksel verimi, termal verimi ve toplam verimi sırasıyla %10, %40, %50 oranında gerçekleşmiştir. Bunun yanında bu çalışmada sistemin başarımlık katsayısını etkileyen güneş radyasyonu, çevre sıcaklığı, cam kaplama, rüzgâr hızı gibi parametrelerin bireysel olarak sistemin başarımlık katsayısını nasıl etkilediği araştırılmıştır [23].

2.5. Yoğunlaştırıcı PV-T Kollektörü

Diğer bir PV-T kollektör çeşidi yoğunlaştırıcı PV-T kollektörleridir. Güneş ışınımının PV-T kollektör üzerinde yoğunlaştırılması prensibi ile çalışmaktadır. Güneş ışınımının yoğunlaştırılması lineer ya da dairesel frezel lensleri, bileşik

parabolik yoğunlaştırıcı (CPC), reflektörler ya da parabolik yansıtıcılar ile yapılmaktadır [24].

PV-T sistemlerine yoğunlaştırıcı elemanlar eklenerek aynı yapı üzerinde hiç bir değişiklik yapmadan elektriksel ve termal enerji verimleri artırılabilir. Konvansiyonel PV-T sistemlerine göre artan bu elektriksel verim yoğunlaştırıcı kullanılan sistemlerde daha iyi bir finansal sonuç ortaya çıkarabilir. Yoğunlaştırıcı birimler boyutsal olarak önemli ölçüde büyük olması nedeniyle uygulamadaki çatı üstü PV-T sistemlerinde sınırlı bir oranda kullanılabilir. Çatı üstüne entegre yoğunlaştırıcı PV-T sistemlerinin (BICPV-T) hem binanın çatısına hem de yan yüzeyine montajı sağlanabilmektedir. Tek aks takip sistemli tasarımların binaya montajları daha uygundur. Tipik bir yoğunlaştırıcı PV-T sistemin şematik çizimi Şekil 6'da görülmektedir [25].



Şekil 6. Yoğunlaştırıcı PV-T kolektörleri

Garg ve Adhikari (1999), bir sürü kesilmiş bileşik parabolik yoğunlaştırıcının tek bir PV-T panelde kullanılmasını araştırmıştır. Sonuç olarak, yoğunlaştırma oranı üç olan hava ısıtması için kullandıkları kolektörün bir sisteme entegre edilmesi durumunda çok daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır [26].

Othman ve arkadaşları (2005), lineer Fresnel reflektörleri kullanarak yoğunlaştırıcı PV-T kolektörü araştırmıştır. Yoğunlaştırma oranı 11 olan bu kolektörden elektriksel yük olmadan en fazla %60 termal verim elde etmiştir. PV-T sistemdeki en büyük termal direncin fotovoltaik

paneller ile emici yüzey arasında gerçekleştiğini tespit etmişlerdir [27].

Canan Kandilli spektral ayrıştırıcı metot kullanılarak tasarlanmış yeni bir yoğunlaştırıcı kombine sisteminin (CPVCS) deneysel incelemesini yapmıştır. Bu sistemde yoğunlaştırıcı yansıtıcının odak noktasında görünür ışığın ötesindeki ultraviyole ve kızılötesi gibi ışınları yansıtan sıcak ayna bulunmaktadır. Sıcak aynadan yansıyan ultraviyole ve kızılötesi ışınlar uygun bir optik tasarımla vakum tüplerine gönderilerek vakum tüplerinde kullanılabilir ısı enerjisi üretilmektedir. Sıcak aynadan geçen görünür dalga boyundaki ışınlar fotovoltaik panelin yüzeyinde elektrik enerjisine çevrilmiştir. Test sonuçlarına göre bu sistemde PV hücre başına 4,6W elektriksel güç üretilmiştir. PV hücrede yoğunlaştırıcı olmadan üretilen güç 3,6W olduğundan elektriksel verim hücre başına %27,8 oranında artış sağlanmıştır. Vakum tüpünde ise 141,2W değerinde ısı güç elde edilmiştir [28].

Xu ve arkadaşları düşük yoğunlaştırıcı ısı pompalı PV-T sisteminin (LCPV/T-HP) başanını incelemesini yapmıştır. Sabit kesilmiş parabolik yoğunlaştırıcı güneş ışığını ısı pompasının buharlaştırıcısını oluşturan PV-T kolektörünün PV panellerinin bulunduğu yüzeyine yönlendirmektedirler. Deneysel sonuçlarına göre güneşli yaz günlerinde sistemin başarımlık katsayısı (COP) 4,8 olarak gerçekleşmiş ısıtma amacıyla kullanılan suyun sıcaklığı 40°C'den 70°C'ye çıktığı gözlemlenmiştir. Aynı deneysel şartlarda elektriksel verim %17,5 olarak gerçekleşmiştir. Bu değer düşük yoğunlaştırıcı fotovoltaik panelin (LCPV) verimine göre 1,36 kat daha büyüktür. Bunun yanında düşük yoğunlaştırıcı parabolik yoğunlaştırıcının konsantrasyon oranı 1,6 olarak ölçülmüştür [29].

2.6. Hibrit PV-T Kolektörü

Çatı üstü enerji üretim sistemlerinin beklenen verim konusunda kendine özgü koşul ve sınırlandırmaları bulunmaktadır. Bu sebeple istenilen enerji ihtiyacının karşılanabilmesi ve verimliliğin artırılması amacıyla birden fazla sisteme ihtiyaç duyulabilmektedir. Hibrit'ten kast da çatı üstü enerji üretiminden elde edilen enerjinin de kullanılabilmesidir. Yani fotovoltaik paneli soğutmak için kullanılan akışkanın su ısıtmasında veya başka bir ihtiyaç için kullanılmasıdır.

PV sistemler genelde yüzde %5-20 verimlilikte çalışan ve geri kalan ısı enerjisini çevresine yayan verimliliği düşük sistemlerdir. Bu sebeple PV

sistemlerden üretilen ısı ve elektriği verimli bir şekilde kullanabilmek için BIPV/T gibi sistemler tasarlanır.

Engin ve Çolak, (2006) "PV/T Hibrit Sistemin İzmir Koşullarında Analizi" isimli çalışmalarında PV-T sistemlerin elektriksel ve termal verimini incelemiş; binaların elektrik, sıcak su ve ısıtma gibi gereksinimlerinin karşılanmasında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmalarda yan saydam fotovoltaiik panel ve Titanyum Dioksit kaplamalı düzlemsel kollektörleri bir arada kullanılmıştır. Kurulmuş olan hibrit sistemde en çok verimin elde edilebilmesi için sistem parametreleri optimize edilmiştir. Sonuç olarak; PV-T panelin verimini, termal kollektör ve güneş panelinin verimleriyle karşılaştırılmıştır [30].

Agrawai ve arkadaşları mikro-kanallı termal hücreleri Hindistan'ın Srinagar Şehrinin iklim koşulları altında değerlendirmiştir. Bu değerlendirmede PV-T hücrelerin ortalama elektrik ve termal verimliliğinin sırasıyla %14,7 ve %10,8 olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, %20,28'lik en çok enerji verimliliğine 0,000108 kg/s akışkan oranında ulaşıldığı gözlemlenmiştir [14].

Chow ve arkadaşları tamamen klima ile donatılmış bir binanın dikey duvarlarına monte edilmiş polikristal güneş pilleri ve düz termal emici plaka ihtiva eden özel bir hibrit PV-T su kollektörlerinin ılıman iklim koşullarında başarılarını ölçmüşlerdir. Yapılan yıllık değerlendirmede termal verim %37,5, elektriksel verim %9,39 oranında gerçekleşmiştir. Bu durumda söz konusu PV-T sisteminin yatırım maliyetini yaklaşık 14 yılda karşılayacağı hesaplanmıştır [2].

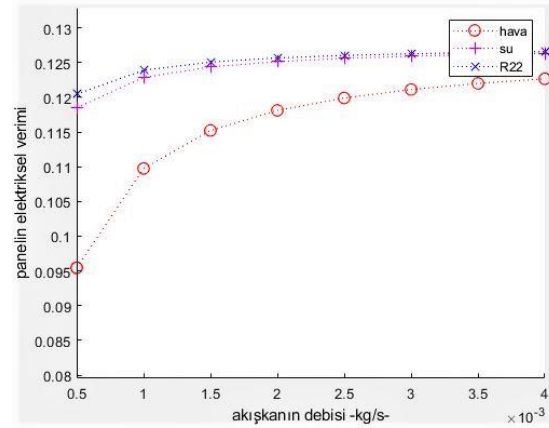
Sonuç olarak; hibrit PV-T sistemlerin kapladığı alandan üretilen elektrik ve termal enerji, bu alana karşılık gelen alanın yarısının fotovoltaiik panel ve diğer yarısının güneş kollektörüyle kaplanması durumunda elde edilebilecek enerjiden daha fazladır.

3. SONUÇLAR

İkinci bölümde de değinildiği gibi hibrit fotovoltaiik termal sistemleri (PV-T) yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisini termal ve elektrik enerjisine çevirdiği için son dönemde akademik çevrelerce rağbet gören, gelişmeye açık, gelecek vaat eden çevreci bir enerji üretim sistemidir. PV-T kollektörleri güneş enerjisini hem elektrik hem de termal enerjiye dönüştürdüğü için birim alandaki toplam enerji çevrimi oldukça yüksektir. Bununla beraber PV-T sistemde fotovoltaiik paneller soğutulduğu için elektriksel verimleri geleneksel fotovoltaiik sistemlere göre daha yüksektir.

Bu bildiri çalışmasında çatı üstü enerji üretiminde kullanılan PV-T kollektörlerinin uygulanma şekli ve başarımlarını anlatılmıştır. Farklı tip PV-T kollektörlerin çatılara entegrasyonu gösterilmiştir. Ayrıca çatıya entegre termal ve PV sistemlerin karakteristik farklarına da değinilmiştir. Yapılan literatür taraması ve akademik incelemeler sonucunda aşağıdaki hususlara ulaşılarak binalarda kullanılan termal ve elektrik enerjisi yenilenebilir enerjiden karşılamak için bir nebze de olsa çözüm aranmaya çalışılmıştır. Böylelikle çatı üstü enerji üretim sisteminde dikkat edilmesi gereken hususlar, sistemin faydaları, zararları ve sistemin verimliliğini arttırmak için önerilen çözümlere yer verilmiştir.

Şekil 7'de Matlab programında eşitliği yapılan PV-T sistemin elektriksel veriminin akışkan debisinin artmasına göre arttığı görülmektedir. Özgül ısı en düşük olan havanın elektriksel verim artışı %26 olarak hesaplanmıştır. Ancak çatı üstü sistemlerde açığa çıkan havanın termal kullanımını daha zordur. Özgül ısı birbirine yakın olan su ve R22 sıvılarının elektriksel verim artışı sırasıyla 5,9 ve 4,1 olarak hesaplanmıştır. Suyun termal olarak kullanımını en kolay olduğundan dolayı çatı üstü uygulamalarda en rahat şekilde kullanılabilir.



Şekil 7. Panelin elektriksel veriminin akışkan debisine göre değişimi

Yapılan çalışmadan da anlaşılacağı üzere, özgül ısı daha yüksek olduğundan dolayı çatı üstü uygulamalarda akışkan olarak su seçilmesi hava seçilmesinden elektriksel verim açısından daha etkilidir. Ayrıca havanın termal kullanımının zor olması ve hava sistemlerinin hantal olmasından dolayı çatı üstü sistemlerde akışkan olarak hava yerine su seçilebilir.

PV-T sisteminin etkili kullanımı, ekonomik ömrünün iyileştirilmesi, en verimli elektrik ve termal başarımları için ideal bir akış debisi belirlenebilir. Bu noktada artan akış debisinin 25°C

değerine kadar elektriksel verimi arttırdığı fakat akışkanın debisi çok artarsa termal verimi düşürdüğü unutulmamalıdır.

Birbirine seri bağlı olan panellerin sayısının artması akışın sonuna doğru akışkanın ısınması nedeniyle elektriksel verimi düşürmektedir. Bununla beraber fotovoltaik panelinin güneşe maruz kalan yüzeyiyle arka yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının yüksek olması da elektriksel verimi düşüren etkenlerdendir.

PV-T hava kolektörleri sıvı kolektörler ile karşılaştırıldığında düşük yoğunluk, düşük ısı sığası ve düşük termal iletkenliği nedeniyle düşük ısı transfer katsayısına sahiptir. Dolayısıyla sıvı kolektör sistemlerine göre daha hantal yapılıdır. PV-T hava kolektörlerinde sızma ya da donma sorunu bulunmamaktadır. Sistemi soğutmak için fan kullanıldığı takdirde gürültü sorunu ortaya çıkabilmektedir.

PV-T su kolektörleri, hava kolektörlerinden farklı olarak su sızdırmamalı, elektrik yalıtımı olmalı, su sirkülasyonu ve ısı transferi için gerekli borulara sahip olmalıdır. Yüksek akış debisi nedeniyle fotovoltaik panelin sıcaklığının azaltılması hususunda oldukça etkili bir kolektördür. Kullanılabilir bir termal enerji elde edilebilmesi için akış debisinin düşük olması ve düşük boru çapları kullanılması gerekmektedir.

PV-T kolektörlerinde enerji verimi bakımından mono-kristal sistemler daha verimliken, ekonomik anlamda amorf silikon daha faydalı olabilmektedir.

PV-T hava kolektörleri, havanın yoğunluğu, ısı kapasitesi ve termal iletkenliğinin düşük olması sebebiyle verimliliği düşük sistemlerdir. Ancak, yüksek akış hızı ve düşük besleme sıcaklığı ile yüksek termal dönüşüm verimliliği sağladığı da olmaktadır. Ayrıca daha yüksek kolektör verimi elde etmek için; hava akış yönü boyunca ince bir konfigürasyona sahip, emme ve taban plakaları arasındaki boşluğu az, emiciliği yüksek emisyonu düşük bir kaplaması olan, kütle akış hızını yüksek tutabilen ve giriş sıvısı ile ortam sıcaklığını birbirine çok yakın tutabilen termal hava kolektörleri kurmak gerekmektedir.

Suyun ısınma kapasitesinin havadan yüksek olması sebebiyle PV-T su kolektörlerin termal verimliliği hava bazlı termal kolektörlerden daha yüksektir. Günümüzde düz plakalar en çok kullanılan çeşidi olurken, ısı nakil borulu sistemler de yüksek maliyetli olmasına rağmen, tüplerin etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi sebebiyle gelecek vaat eden bir tasarım olarak değerlendirilmektedir.

Isı borulu PV-T kolektörlerinde ısı kazanımı, elektrik kazancı ve PV-T verimi artan akış hızı ile doğru orantılıdır. Su akış hızının termal kazanç üzerindeki etkisi elektriksel kazanımdakine göre çok daha yüksektir. Ayrıca, ısı borusu yuvalarındaki boşluğun azalması PV-T verimliliği artıracaktır.

Boru tahliyeli kolektörlerde U-tube tasarımının başarmında daha iyi olduğuna ulaşılmıştır. Ayrıca cam boru tahliyeli kolektörlerde termal verimini değerlendirmek için sadece ısı verimliliğini değil, dış emici kaplamanın yüzey sıcaklığını da dikkate almak gerekmektedir.

Camlı PV-T kolektörler panellerin örtülü yapısı sayesinde genelde daha yüksek termal enerji çıkışı sağlarlar. Ayrıca, V oluklu kolektörler düz plaka ve kanatlı kolektörlerden daha verimliken bunların arasında en verimsiz olanı düz plaka yapılarıdır.

PV-T sistemlerin kapladığı alandan üretilen elektrik ve termal enerjileri, karşılık gelen alanın yarısının fotovoltaik panel ile ve diğer yarısının güneş kolektörüyle kaplanması durumunda elde edilecek enerjiden daha fazladır. Bu yüzden çatı üstü PV-T enerji üretim sistemleri geleceğin yenilenebilir enerji kaynağı olma potansiyeline fazlasıyla sahiptir. Fotovoltaik panelin sıcaklığı 25°C civarında tutularak yüksek elektrik verimi sağlanabilir. Ayrıca sıcaklığın oluşturacağı bozulmanın azalmasından dolayı panelin kullanım ömrü artar.

Bu çalışmada yapılan araştırma ve incelemelerde görüldüğü üzere, çatı üstü enerji üretiminde ihtiyaca göre PV-T sistem akışkanının debisi değiştirilerek termal ve elektriksel üretim oranı ayarlanabilir. Sonuç olarak; panel ve ortam sıcaklığını ölçüp akışkan debisini ayarlayan otomasyon sistemiyle termal ve elektriksel üretim istenilen oranda yapılabilir.

4. KAYNAKLAR

- [1] URL-1:<http://www.kiracgalvaniz.com.tr/solar-enerji>, (Ziyaret tarihi: 02.05.2019).
- [2] Chow vd., A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology., Applied Energy 87 (2010) 365–379 doi:10.1016/j.apenergy.2009.06.037.
- [3] S.A. Kalogirou, Y. Tripanagnostopoulos, Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production, Energy Convers. Manage. 47 (2006) 3368–3382.
- [4] Reddy vd., A review of PV-T system: Thermal management and efficiency with single phase cooling., Int. J. Of Heat and Mass Transfer 91 (2015) 861-871.

- [5] V.V. Tyagi, S.C. Kaushik, S.K. Tyagi, Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology, *Renewable Sustainable Energy Rev.* 16 (2012) 1383–1398.
- [6] T.T. Chow, G.N. Tiwari, C. Menezo, Hybrid solar: a review of photovoltaic and thermal power integration, *Int. J. Photoenergy* (2012) 307287.
- [7] K. Moradi, M. Ali Ebadian, C. Lin, A review of PV/T technologies: effects of control parameters, *Int. J. Heat Mass Transfer* 64 (2013) 483–500.
- [8] S.B. Riffat, E. Cuce, A review of hybrid photovoltaic/thermal collectors and systems, *Int. J. Low Carbon Technol.* 6 (2011) 212–241.
- [9] Zondag HA, vd., The yield of different combined PV-thermal collector designs. *SolEnergy* 2003;74:253–69.
- [10] Micheal vd., Flat plate solar photovoltaic – thermal (PV/T) systems: A reference guide.
- [11] Hegazy Adela., Comparative study of the performances of four photovoltaic/thermal solar air collectors. *Energy Convers Manag* 2000;41:861–81.
- [12] Kamthania vd., Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal double pass facade for space heating. *Energy Build* 2011;43.9:2274–81.
- [13] Yang vd., A study of design options for a building integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) system with glazed air collector and multiple inlets. *SolEnergy* 2014;104:82–92.
- [14] Agrawai vd., Optimizing the energy and exergy of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems under cold climatic conditions. *Appl Energy* 2010;87:417–26.
- [15] Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M., Ruslan, I., Kazem, H., 2014. Performance Analysis of Photovoltaic Thermal (PVT) Water Collectors. *Energy Conversion and Management*, 78, s641-651.
- [16] Anderson vd., Performance of a building integrated photovoltaic/thermal (BIPVT) solar collector. *Sol Energy* 2009;83:445–55.
- [17] Mishra vd., Energy and exergy analysis of hybrid photovoltaic thermal water collector for constant collection temperature mode. *Sol Energy* 2013;90:58–67.
- [18] Fu HD vd., Experimental study of a photovoltaic solar-assisted heat-pump / heat-pipe system. *Appl Therm Eng* 2012;40:343–50.
- [19] Chen Hongbing vd., Experimental study on a hybrid photovoltaic / heat pump system. *Appl. ThermEng* 2011;31:4132–8.
- [20] Jie Ji, vd., Experimental study of photovoltaic solar assisted heat pump system. *SolEnergy* 2008;82.1:43–52.
- [21] Wang vd., Experimental study on a novel PV/T air dual-heat-source composite heat pump hot water system *Gang Energy and Buildings* 108 (2015) 175–184.
- [22] Minglu vd., Experimental study on the operating characteristics of a novel photovoltaic/thermal integrated dual-source heat pump water heating system. *Applied Thermal Engineering* 94 (2016) 819–826.
- [23] Zhang vd., Characterization of a solar photovoltaic/loop-heat-pipe heat pump water heating system. *ApplEnergy* 2013;102:1229–45.
- [24] Kundakçı B., 2010, Model Bir PV/T Trombe Duvarın Enerji Analizi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [25] Bernardo vd., Performance evaluation of low concentrating photovoltaic/thermal systems: a case study from Sweden. *SolEnergy* 2011;85:1499–510.
- [26] Garg, H.P., and Adhikari, R.S., 1999, System performance studies on a photovoltaic/thermal (pv/t) air heating collector, *Renewable Energy*, 16, 725- 730p.
- [27] Othman, M.Y.H., Yatima, B., Sopian, K. and Bakar, M.N.A, 2005, Performance analysis of a double-pass photovoltaic/thermal (PV/T) solar collector with CPC and fins, *Renewable Energy*, 30, 2005–2017p.
- [28] Canan Kandilli, Performance analysis of a novel concentrating photovoltaic combined system. *Energy Convers Manag* 2013;67:186–96.
- [29] Xu vd., Experimental study on the operating characteristics of a novel low-concentrating solar photovoltaic/thermal integrated heat pump water heating system. *ApplThermEng* 2011;31:3689–95.
- [30] Engin D., Çolak M., 2008. Yarı Saydam Güneş Pili/Termal Toplayıcı (PV/T) Hibrit Sistemin İzmir Koşullarında Analizi. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2, s1-13.

Serdar UYAR



Serdar UYAR, 1991'de Samsun'da doğdu. 2009 yılında Samsun Fen Lisesi'nden mezun oldu. Lisansını Kayseri'de Elektrik-Elektronik Mühendisliği üzerine 2014 yılında tamamladı. 2020 yılında Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesinde Elektrik-Elektronik Mühendisliği alanında yüksek lisans çalışmalarını tamamladı. Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesinde Elektrik-Elektronik Mühendisliği doktora bölümünde eğitimine devam ediyor. Uzmanlık alanları yenilenebilir enerji, elektrik işleri proje hazırlanması ve kontrollük yapılmasıdır.

Atabak NAJAFİ



1982 İRAN doğumludur. 2009 yılında İran Tahran Üniversitesinden Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Eylül 2016'da Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden Doktora derecesi aldı. Uzmanlık alanları elektrik makineleri, güç elektroniği, arıza tespiti ve makine öğrenmesidir. Dr.Najafi çeşitli KOSGEB ve sanayi proje kapsamında görev almıştır.