



Hibrit Fotovoltaik Isıl PVT-su ve PVT-hava Güneş Kolektörlerinin İncelenmesi

Muhammet Öksüz^{1*}, Faruk Köse¹

¹Makine Mühendisliği, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversite, Konya, Türkiye

E-Posta: muhammet.oksuz@koski.gov.tr, fkose@ktun.edu.tr

Özet: Günümüzde kullanılan ticari güneş pilleri % 30'dan daha düşük bir verimle güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilmekte ve dönüşüm verimi, sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır.

Hızla nüfus ve sanayileşme artışıyla enerji ihtiyaçları da artmaktadır. Dünyada kısıtlı olan yakıtların tükenmesi hızla devam etmektedir. Enerji kaynaklarının sürdürülebilir biçimde yönetilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına başvurulmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi geleceğe umut verici bir kaynak olarak görülmektedir. Hibrit Fotovoltaik Termal (PVT) solar sistemleri son yıllarda elektrik ve termal enerjisi elde edilmek için dünya çapında yaygınlaşmaya başlamıştır. Piyasada bulunan güneş panelleri düşük verimle çalışırken sıcaklık arttıkça güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürme verimi de düşmektedir. Güneş panellerinde, elektrik enerjisi verimi artırmanın yanı sıra termal enerjisi elde edilmek için hibrit PVT solar sistemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada, hibrit solar sisteminde PVT-su ve PVT-hava kullanılarak güneş panellerinde elektrik ve termal enerjisinin verimleri araştırılmıştır. PVT-su ve PVT-hava sistemleri arasında karşılaştırma yapılarak uygunluğunu tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, güneş enerjisi, yenilenebilir enerji, hibrit PVT sistemi

Investigation of Hybrid Photovoltaic Thermal PVT-water and PVT-air Solar Collector

Abstract: Nowadays, the available commercial solar cells can convert solar energy into electrical energy with a yield of less than 30% and the conversion efficiency decreases inversely with the increase in temperature.

With the increase in population and industrialization rapidly, energy needs are also increasing. The depletion of limited fuels in the world continues rapidly. Renewable energy sources should be used for sustainable management of energy resources. Among renewable energy sources, solar energy is seen as a promising resource for the future. In recent years, Hybrid Photovoltaic Thermal (PVT) solar systems have become widespread worldwide to obtain electrical and thermal energy. While the solar panels on the market operate at low efficiency, the efficiency of converting solar energy to electrical energy decreases as the temperature increases. Hybrid PVT solar system has been developed to obtain thermal energy in addition to increasing electrical energy efficiency in solar panels. In this study, the efficiency of electrical and thermal energy in solar panels was investigated by using PVT-water and PVT-air in hybrid solar system. The compatibility between PVT-water and PVT-air systems has been discussed.

Key Words: Photovoltaic, solar energy, renewable energy, hybrid PVT system

GİRİŞ

Düz yüzeyli PVT-su kolektörleri için ilk çalışma Wolf ^[1] tarafından yapılmıştır. Elde edilen sonuçların doğrultusunda, PVT-su kolektörleri sistemin düşük maliyetli ve teknik olarak uygulanabilir olduğunu ortaya çıkarmıştır. Hendrie ^[2] tarafından yapılan bir çalışmada, üç adet tam boyutlu düz yüzeyli prototip PVT kolektörleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, kolektörlerin ısı veriminin %40 ve elektriksel veriminin %6,5 olarak kaydedilmiştir. Havanın kütleli debisinin 100-300 kg/h arasında ve suyun kütleli debisinin 40-120 kg/h arasında durumlarda bir kanal tip PVT kolektör Prakash ^[3] tarafından modellenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hava tipi kolektörlerde su tipi kolektörlere göre debinin artmasından dolayı verim artışı daha fazla olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Hong Kong tropikal iklim şartlarında Ji vd. ^[4] tarafından binalara bütünleşmiş PVT-su sistemi farklı hücre yapılarında incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ince film hücre ve mono kristal yapısına sahip PVT-su kolektörlerin elektriksel verimi sırasıyla %4,3 ve %10,3 ve ısı verimlerini ise sırasıyla %47,6 ve %43,2 olarak kaydedilmiştir. Hong Kong gibi tropikal iklimine sahip şehirlerde PVT sistemin geniş çaplı uygulama potansiyelini öngörülmüştür ^[4]. PVT kolektör kullanımı ile

*İlgili E-posta: muhammet.oksuz@koski.gov.tr

binalarda %38 oranında alandan tasarruf sağlayacağını belirlenmiştir ^[5]. Bu da çatılardaki bina başına düşen kullanılabilir alan bakımından önemlidir.

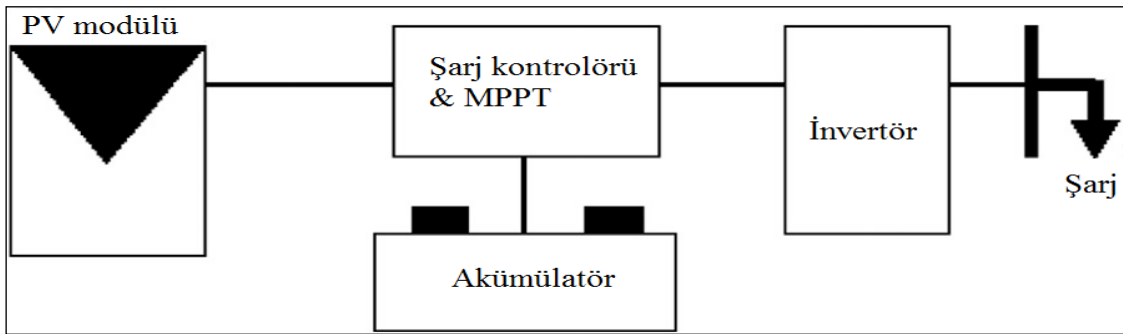
PVT sistemlerle su soğutmalı çalışma Tripanagnostopoulos vd.^[6] tarafından yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yıllık toplam elektrik üretimini 203,15 kWh, 165,92 kWh ve 198,26 kWh olarak sırasıyla standart fotovoltaiik (PV) modülü, sırlı PVT ve sırsız PVT kolektörü için elde edilmiştir. Sırlı PVT ve sırsız PVT kolektörü için, toplam ısı enerjisi üretimi sırasıyla 862,55 kWh ve 597,63 kWh olarak kaydedilmiştir. Standart PV modülü, sırlı PVT ve sırsız PVT kolektörü için elektriksel verimi sırasıyla %10,50, %8,57 ve %10,25 olarak elde edilmiştir. Sırlı PVT ve sırsız PVT kolektörü için ısı verimi sırasıyla %44,58 ve %30,89 olarak kaydedilmiştir ^[6].

Doğal sirkülasyonlu bir PVT-su kolektörü Ji vd.^[7] tarafından hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bu sistem ile %65 civarında enerji kazanımı sağlanabildiğini ortaya koymuştur. Kuzey Kıbrıs'ta iklimsel şartları dikkate alınarak PVT sistemden enerji üretimi için yapılan deneysel çalışma sonucunda, 2 adet 0,6 m²'lik PVT-su kolektörler kullanılarak 2,8 kWh/gün ısı enerjisi elde edilebilir. Bunun yanı sıra, 7 kWh/gün elektrik enerjisi 10 m² çatı alanı kullanılarak PV paneller ile sağlanması mümkündür ^[8]. PVT-hava ısıtıcı sisteminin gelecekteki ön ısıtma havası uygulamaları için umut verici olduğu bulunmuştur. Nano-parçacıkların ve suyun baz sıvı olarak kullanılmasının genel sistem verimliliğini artırdığı ileri sürülmüştür ^[9].

Bu çalışmada, hibrit solar sisteminde PVT-su ve PVT-hava kullanılarak güneş panellerinde elektrik ve termal enerjisinin verimleri araştırılmıştır. PVT-su ve PVT-hava sistemleri arasında karşılaştırma yapılarak uygunluğunu tartışılmıştır.

PVT PRENSİPLERİ VE PERFORMANSI

Genel olarak, PV modülleri farklı sistem konfigürasyonlarında özellikle bağımsız, şebekeye bağlı, hibrit ve izleme sistemleri şeklinde kullanılır. Genellikle, bir PV sistemi bir PV modül/dizi, şarj kontrolörü ve Şekil 1'de gösterildiği gibi invertör izleme maksimum güç noktası (MPPT) ve pil (isteğe bağlı) içerir. PV, giderek daha fazla ilgi görülerek günümüzde çeşitli uygulamalarda kullanılır. Çok sayıda araştırmacı PV tasarımını ve verimliliğin nasıl geliştirileceğini ve kullanılacak uygulamaları nasıl artırdığına dair araştırmalar yapmıştır. Solar sistemleri genellikle termal ve fotoelektrik iki ana türe ayrılabilir. Bununla birlikte, üçüncü bir sistem, PV ve PVT, ısı ve elektrik üretmek için birleştiren yeni hibrit sistemi de son zamanlarda geliştirilmiştir. PVT sistemlerinin gelecekte önemli bir rol oynaması beklenmektedir ^[9].



Şekil 1. Tipik PV sistemin bileşenleri ^[9]

Yapılan bir birçok çalışmada ^[10-13], yüksek sıcaklıkların, bir PV sisteminin açık devre voltajında bir düşüşe yol açtığını ve bunun da elektrik verimliliğinin azaldığını gösterilmiştir. Bir soğutucunun eklenmesi, sıcaklıkları düşürerek PV sisteminin genel verimliliğinde bir artışa neden olacaktır. Ayrıca, sistemin ısı olarak kaybedilen enerjinin bir kısmını geri kazanmasını sağlar. PVT sistemlerinde, cihazı soğutmak için su, hava veya her ikisi de kullanılabilir ^[14].

Bir PV sisteminin düşük maliyeti, birincil sistemin gerekli maliyetini belirlediği sürece çok önemlidir. PVT sisteminin verimlilik tahmini, kolektörden kazanılan ısıya kıyasla üretilen elektriğin değerini belirlemek için kritik öneme sahiptir. Atık ısı geri kazanımı, hibrit sistemin genel verimliliğini, herhangi bir PV sistemininkinden daha yüksek yapmasını sağlar ^[15]. Her ne kadar PVT sistemleri üzerine araştırmalar 1970'lerde başlasa da, bunlar hala başlangıçtaki gelişim aşamasında olup daha yüksek elektriksel güçleri ve potansiyel olarak düşük maliyetleri nedeniyle, bireysel PV

sistemlerine verimli ve verimli bir alternatif olacağını öngörülmüştür [16]. Araştırma ve geliştirme, çatıda mevcut alana bağlı olarak PV sistemlerinin binalarla entegrasyonuna odaklanmaktadır. Ana hedef, hem elektrik hem de termal enerji üreten PVT sistemlerini düşük ve kabul edilebilir maliyetlerle bulmaktır. Bu, tüm sistemin maliyetinin mümkün olduğu kadar düşük olması gerektiği anlamına gelir. Bu amaca, maliyeti düşürmek için uygun tasarım, uygun vizyon ve kantitatif üretim ile ideal bir sistem kullanılarak ulaşılabilir. Tüm bunlara ek olarak, sistem, binaların mimari tasarımını bütünleştirmek ve tamamlamak için güzel geometrik şekiller vererek tasarlanmalıdır [17].

PVT sistemlerinin ana yararları aşağıdaki gibidir [18]:

1. Hem PV hem de termal kolektör güneş spektrumunun farklı bir bölümünü kullanır. Kolektör kızılötesi dalgalar kullanır, güneş hücreleri ise görünür ışık dalgaları kullanır. İki sistemin birlikte kullanılması, tüm güneş spektrumunun daha etkin kullanılmasına neden olabilir.
2. Sistemin en önemli temel maliyeti, iki sistem arasında bölünecek olan ve iki ayrı sistemin kurulmasına kıyasla toplam maliyeti azaltan kurulum maliyetidir.
3. Kurulum için gereken toplam alan, her bir sistem için ayrı ayrı olduğundan daha az olacaktır.
4. PVT sistemi yaz aylarında yalıtımın ve yüzey gölgelemenmesinin artması ve termal yükün azaltılması avantajına sahiptir.
5. Binanın mimarı, PV panellerin tek dış cephede olacağı iki ayrı sistemi kullanmaya kıyasla binaların harika bir görünümü üretebilecek.

Yukarıdan, PVT sistemlerinin öneminin, daha sonra diğer kritik uygulamalarda kullanılabilen bazı termal kayıpların restorasyonu ile üretilen elektriğin kabul edilebilir bir düzeye çıkarılması ihtimaline bağlı olduğunu söyleyebiliriz.

Sistemin genel performansını değerlendirmek için toplam PVT verimliliği eşitlik (1) kullanılarak elde edilir:

$$\eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{termal}} + \eta_{\text{elektriksel}} \quad (1)$$

BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK ALT SİSTEMLERİ

Bağımsız PV sistemleri farklı elemanlardan oluşur; bu kısımda her birinin temel bir teknik açıklamasını sunulmuştur.

Modüller

PV dizilerindeki modüller genellikle büyük sistemler için 12V, 24V ve 48V'a kadar nominal DC voltaj verecek şekilde yapılandırılmıştır. Bu, modüllerin genellikle seri bağlandığı anlamına gelir. Modüllerin daha kolay bağlanmasını sağlamak için, fişli uçlu modüller yerine bağlantı kutularına sahip modüller kullanılmalıdır (ızgaraya bağlı dizilerdeki uzun şeritleri yapılandırmak için kullanılır).

Piller

Enerji üretimi ve talebi genel olarak çakışmadığından, çoğu bağımsız sistemde enerji depolaması gereklidir. Gün içerisinde üretilen güneş enerjisi akşama kadar çok gerekli değildir ve bu nedenle geçici olarak depolanmaları gerekir. Daha uzun süren bulutlu havalarda da enerji temini servisi yapılmalıdır. Bağımsız güneş enerjisi sistemlerinin çoğu, güneş enerjili su pompalama sistemleri dışındaki bataryalara sahiptir. Şarj edilebilir kurşun-asit batarya, bağımsız güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan en yaygın tiptir. Bunlar en uygun maliyetlidir ve büyük ve küçük şarj akımlarını yüksek verimle yönetebilir. PV sistemlerinde, depolama kapasiteleri genellikle 1-100 kWh arasında olup ancak MWh aralığında birkaç sistem da uygulanmıştır. Ticari olarak temin edilebilen diğer şarj edilebilir pil tipleri, nikel-kadmiyum, nikel metal hidrit ve lityum iyon pillerdir.

Şarj kontrol cihazı

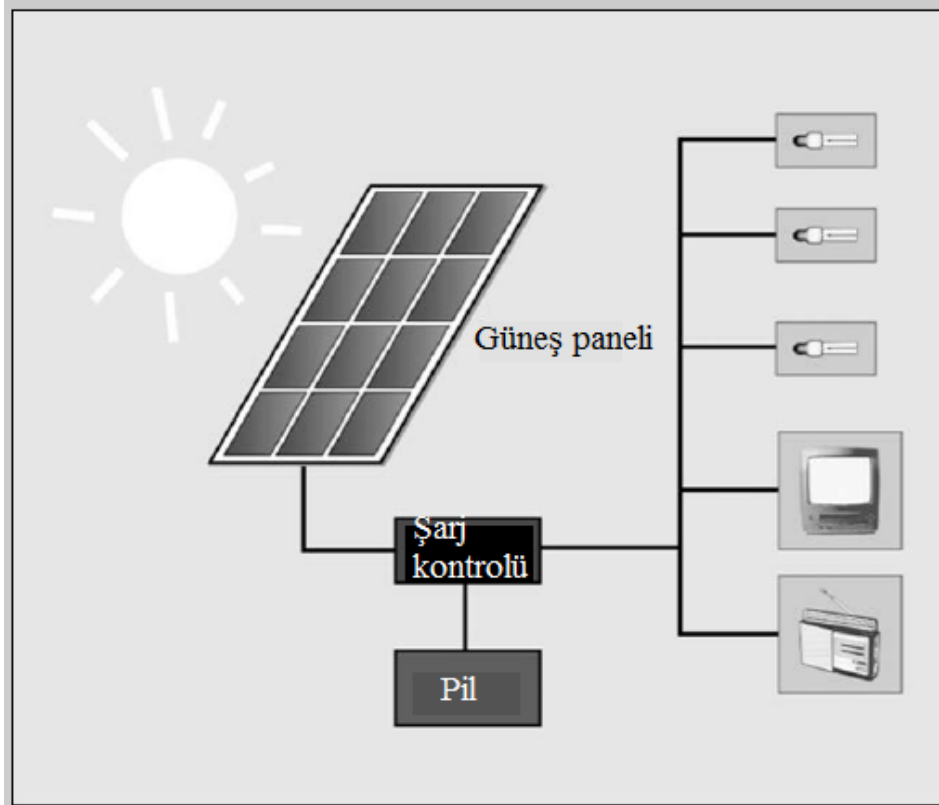
Bağımsız sistemlerde, PV dizisinin voltajı akülerinkine uygun olmalıdır; bu işlem şarj kontrolörü tarafından düzenlenir. Pillerin uygun şekilde şarj edilmesini sağlamak için bu cihazın çıkış şarjı ve nominal voltajı, akü voltajından yüksek olmalıdır. Öte yandan, kablolarda ve yüksek sıcaklıklarda yükselen diyot hattında, genellikle yaklaşık %1-%2 ile sınırlı bir voltaj düşümü vardır. Bu nedenle şarj kontrolörü akü voltajını ölçer ve aküyü aşırı şarj etmeye karşı korur. Düşük güneş ışınımı periyotları sırasında, PV gerilimi azalır, daha sonra akü dizi ile deşarj olur. Bunu önlemek için ters akım diyotu

kullanılır; Bu koruma elemanı genellikle şarj kontrol ünitesine entegre edilmiştir. Üç ana tip şarj kontrol cihazı vardır: seri, şönt (paralel kontrol cihazları) ve maksimum güç noktası (MPP).

Şarj regülatörünün görevleri şunlardır: akü şarjının optimizasyonu; aşırı yüklenmeye karşı koruma; istenmeyen boşalmanın önlenmesi; derin deşarj sınırlaması; ve pillerin şarj durumuna ilişkin bilgilerin sağlanması.

İnvertörler

Bağımsız bir PV sisteminde, inverter, DC'yi alternatif akıma (AC) dönüştürerek geleneksel AC yüklerini sağlayan elektrikli cihazdır. Bağımsız bir invertörün amacı, çok çeşitli yüklerin çalışmasını sağlam inşaat aletlerinden ev aletlerine, aydınlatma ve tuz giderme ünitelerine kadar sağlamaktır. Sinüs dalgası, modifiye sinüs dalgası ve kare dalga üç farklı tipte invertör mevcuttur. Şebeke dışı (off-grid) fotovoltaik dizileri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Şebeke dışı (off-grid) fotovoltaik dizileri ^[19]

HİBRİT PVT KAVRAMI

Genel olarak, PVT cihazının kullanma en önemli amacı, solar enerjisini sürekli olarak ısıya dönüştürerek elektrik üretiminde kullanmaktır. Buna ek olarak, yaz mevsiminde büyük ölçüde PV montajı doğrudan binanın ön veya eğimli tepesine yapılırsa istenmeyen binanın ısıtılmasından kaçınır. Çok çeşitli PV paneller vardır. Bunlar arasında şekilsiz silikon (a-Si), polikristalin silikon (pc-Si) veya kristalin silikon (c-Si), sırasıyla %5-%14 arasında etkinlik gösterdikleri için bina entegrasyonu için en çok kullanılan ve erişilebilir PV modülleridir ^[20]. Genel olarak performansları sıcaklık artışıyla artmakta ancak daha yüksek sıcaklıkta çalışmaya başladığımızda azalmaktadır. Sonuç olarak, daha yüksek bir sıcaklık seçtiğimizde, elektrik üretimi kesinlikle istenmeyen bir sonuç olan önemli miktarda azalmaktadır. Dolayısıyla, arzu edilen miktarda elektrik üretimi elde etmek istiyorsak, başka bir amaç için kullanılacak bir miktar ısı çıkartmalı ve PV modülünün ısı ekstraksiyon ünitesini makul bir yeterlilik seviyesinde tutmalıyız. PVT hibrit kolektörlerinin solar soğutma sistemleri için avantaj ve dezavantajları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. PVT hibrit kolektörlerinin solar soğutma sistemleri için avantaj ve dezavantajları ^[21]

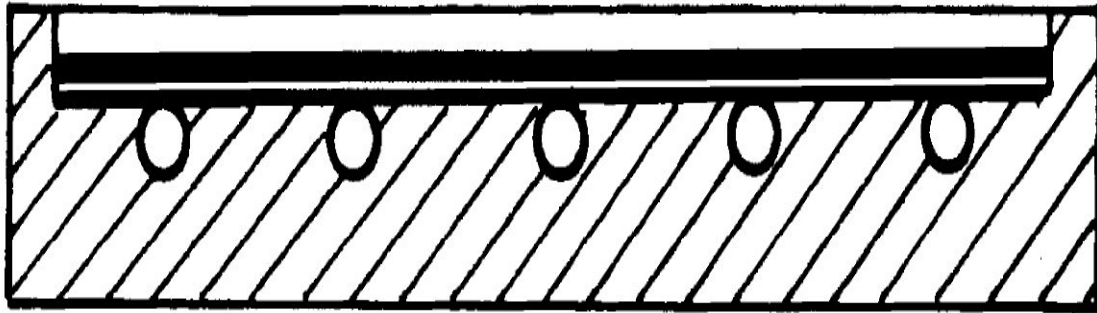
Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> Paralel ısı ve enerji üretimi 	<ul style="list-style-type: none"> PV hücre performansı nedeniyle besleme sıcaklığı sınırlıdır Standart termal kolektörden daha düşük verim Şeffaf PV panel, donuk panellerden daha düşük verime sahiptir Kurulumun karmaşıklığı

PV modülleri, dış ortamlarda bulunur ve bu da çevresel koşullara maruz kalmasını sağlar. PV paneli, her zaman elektrik üretmek için gerekenden daha fazla ısıya sahiptir. PV modülleri, modülün daha yüksek verimle çalışmasını sağlamak için atılması gereken atık ısı üretir. Bu atık ısı, hava ısıtma, evsel su ısıtma ve buna benzer diğer uygulamalarda kullanılabilir. PV'nin atık ısı geri kazanım sistemi ile kombinasyonuna hibrit sistem adı verilir ve her iki sistemin de gereksinimlerini karşıladığı için faydalıdır. Böylece, hibrit PVT sistemi, istenmeyen panelleri PV panellerinden kurtarır ve başka amaçlar için kullanır. PVT sistem uygulamalarında kullanılan üç çeşit soğutma sıvısı (hava, su ve soğutucu) vardır ^[9]. Hava ve su PVT sistemleri düşük işletme maliyetlerine ve minimum malzeme kullanımına sahip olup bununla birlikte, bu sistemler elektriksel dönüşüm veriminin azalması ile karakterize edilir. Çift kanallı PVT kolektörü çoğu araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Bu sistem daha iyi termal verime ve daha geniş uygulamalara sahiptir.

Temel olarak iki tip Hibrit PVT sistemi PVT-su ve PVT-hava sıkça kullanılmaktadır. Bunlar aşağıda sırasıyla detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

PVT-su sistemi

Bu sistemlerde sıvı olarak su, PVT sistemin ısını kontrol etmek için kullanılır. PV hücreleri doğrudan absorber veya çekirdekte dielektrik malzemeli bir kapak plakası üzerinde düzenlenir. PV hücreleri ve absorber veya alçı plaka arasındaki tek temasın yüksek bir termal temas olduğunu göstermektedir. Isı ileten akışkan, absorber üzerindeki kanalların ortasından geçip bundan ısıyı toplar. Hücreler absorber yapılandırılırsa, PV hücrelerinin ısı da ayrılır, bu da PV hücrelerinin önemli bir elektriksel verimi ile sonuçlanır. PVT-su kolektörleri, su akış prototipine göre ayırılır. Bunlar, aşağıdaki Şekil 3'te gösterildiği gibi tabaka, boru, kanal, serbest akış ve iki absorber tipine göre ayrılır.

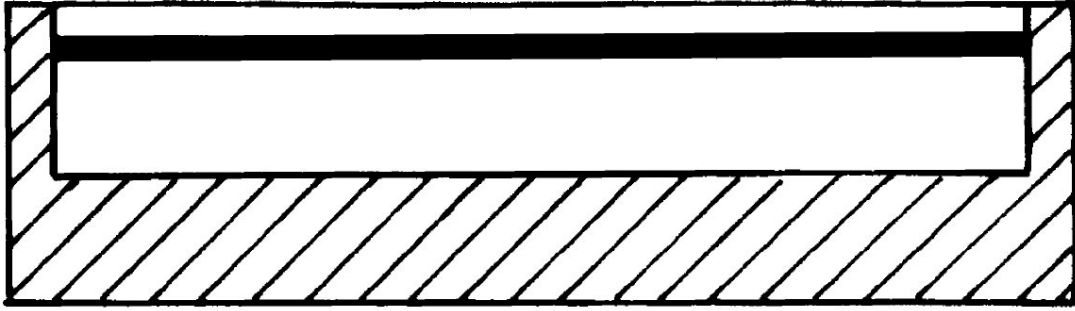


Şekil 3. PVT-su sistemi kesiti ^[22]

Su, düşük fiyatı, bulunabilirliği ve soğutma özellikleri nedeniyle PVT sistemlerinde soğutma için kullanılan en yaygın sıvı tipi olarak düşünülebilir ^[23]. PVT kolektörü, benzer su solar düz plaka kolektöründe kullanılan parçalarla aynı parçalardan oluşur; tek fark, düz kolektörünün üstündeki şeffaf camın, kolektörün üzerine kurulu tahta PV ile yerleştirilmiş olmasıdır. PV paneli, kolektöre termal enerjiyi kolaylaştıran etilen vinil asetat ve Tedlar'ın bir absorpsiyon katmanından oluşan yapışkan bir malzeme ile yerleştirilir ^[24]. PV altında kolektörün varlığı ısı çekmeyi amaçlayıp böylece çıkış voltajlarını ve akımı iyileştirir. Aynı zamanda, bu ısıtmadan kullanım suyu ısıtması veya alan ısıtması gibi farklı amaçlar için yararlanır ^[25].

PVT-hava sistemi

Diğer PVT kolektör tipi hava bazlı bir sistemdir. Su yerine hava, ısıyla yer değiştiren sıvı olarak kullanılır. PV hücreleri, sargı levhasının içine veya bir emiciye bağlanır. Sisteme hava, doğal dolaşım veya zorlamalı dolaşım ile havalandırılabilir. PVT kolektörlerinin hava tipi ayrıca havanın akış düzenine göre ayırt edilir. Bunlar, tek ve çift geçişte absorberin her iki tarafındaki absorberin altındaki, absorberin altındaki havanın akışına ilişkin olarak farklılaşır. Su tipi PVT sistemleri yıl boyunca etkili bir şekilde kullanılabilir. Ayrıca, bu sistem hava tipi sistemlerden daha maliyetlidir. Alternatif olarak, gün boyunca dış ortam sıcaklığı neredeyse yarım yıl boyunca 20 °C'nin üzerinde olup bu nedenle hava tipi PVT sistemlerinin etkili elektrik üretimi açısından azalan bir dönemsel uygulanmasını engeller [26]. PVT-su sistemleri ayrıca binaların elektrik giderlerine de enerji sağlayabilir. Bu nedenle, PVT-su sistemleri açıkça tüm açılarından PVT-hava sistemlerinden daha iyi bir seçenek olarak görülür. PVT-hava sistemi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. PVT-hava sistemi kesiti [22]

Hava bazlı PVT inovasyonu, günümüzde %20-%40 arasında değişen ve bazen daha fazla genel verimliliğine PVT sahip olup bu nedenle, bu teknoloji günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kristalin silikon hücrelerin verimi %10-12 iken, geri kalan verim termal kısımdan gelmektedir [9]. Güneş enerjisi sistemleri için hava kolektörlerin avantajları ve dezavantajları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Güneş enerjisi sistemleri için hava kolektörlerin avantajları ve dezavantajları [21]

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none">▪ Yapımı basit▪ Kolay kurulum▪ Durma sırasında durgunluk problemi yok	<ul style="list-style-type: none">▪ Kullanım sıcak suyu üretimi ancak ek ısı eşanjörü ile mümkündür▪ Hava kanalları binadaki su borularından daha fazla alan gerektirir▪ Hava fan gücü, sıvı nakli için pompa gücünden daha büyük

SONUÇLAR

Hibrit PVT güneş sistemi kullanılarak binalarda büyük bir miktarda enerji tasarrufu sağlanması mümkündür. PVT-su PVT-hava solar sistemine göre daha sık kullanılır. Bunun sebebi, PVT-su güneş sistemi kullanılarak daha yüksek elektriksel ve ısıl veriminin elde edilmesidir.

Yüksek sıcaklıkların, bir PV sisteminin açık devre voltajında bir düşüşe yol açtığını ve bunun da elektrik verimliliğinin azaldığını gösterilmiştir. Bir soğutucunun eklenmesi, sıcaklıkları düşürerek PV sisteminin genel verimliliğinde bir artışa neden olacaktır. Ayrıca, sistemin ısı olarak kaybedilen enerjinin bir kısmını geri kazanmasını sağlar.

Güneş panellerinde, elektrik enerjisi verimi arttırmanın yanı sıra ısıl enerjisi elde edilmek için hibrit PVT güneş sistemi sıkça kullanılmaktadır. PVT-su kolektörleri sistemin düşük maliyetli ve teknik olarak uygulanabilir olduğu için tercih edilir. PVT-hava tipi kolektörlerde su tipi kolektörlere göre debinin artmasından dolayı verim artışı daha fazla olduğunu ortaya çıkarmıştır. Su, düşük fiyatı, bulunabilirliği ve soğutma özellikleri nedeniyle PVT sistemlerinde soğutma için kullanılan en yaygın sıvı tipi olarak düşünülebilir. PVT-su sistemleri ayrıca binaların elektrik giderlerine de enerji

sağlayabilir. Bu nedenle, PVT-su sistemleri açıkça tüm açılardan PVT-hava sistemlerinden daha iyi bir seçenek olarak görülür.

KAYNAKLAR

- [1] Wolf, M., 1976, Performance analysis of combined heating and photovoltaic power systems for residences, *Energy Conversation Management*, (16), 79–90.
- [2] Hendrie, S. D., 1982, Final Report, *Report*, MIT.
- [3] Prakash, J., 1994, Transient analysis of a photovoltaic-thermal solar collector for co-generation of electricity and hot air/water, *Energy Conversation Management*, (35), 967–972.
- [4] Ji, J., Chow, T. ve He, W., 2003, Dynamic performance of hybrid photovoltaic/thermal collector wall in Hong Kong, *Building and Environment*, (38), 1327-1334.
- [5] Elswijk, M. J., Jong, M. J. M., Strootman, K. J., Braakman J. N. C., Lange, E. T. N. ve Smit, W. F., 2004, Photovoltaic/thermal collectors in large solar thermal system, *19th European PV Solar Energy Conference and Exhibition*, 7-11 June 2004, Paris, France.
- [6] Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., Battisti, R. ve Corrado, A., 2005, Energy, cost and LCA results of PV and hybrid PV/T solar systems, *Progress in Photovoltaics: Research and applications*, 13(3), 235-250.
- [7] Ji, J., Lu, J. P., Chow, T. T., He, W. ve Pei, G., 2007, A sensitivity study of a hybrid photovoltaic/thermal water-heating system with natural circulation, *Applied Energy*, (84), 222-237.
- [8] Erdil, E., Ilkan, M. ve Egelioglu, F., 2008, An experimental study on energy generation with a photovoltaic (PV)-solar thermal hybrid system, *Energy*,(33), 1241– 1245.
- [9] Al-Waeli, A. H., Sopian, K., Kazem, H. A. ve Chaichan, M. T., 2017, Photovoltaic/Thermal (PV/T) systems: Status and future prospects, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 109-130.
- [10] Kazem, H. A. ve Chaichan, M. T., 2016, Effect of environmental variables on photovoltaic performance-based on experimental studies, *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science (IJCMES)*, 2(4), 1-8.
- [11] Gasparin, F. P., Bühler, A. J., Rampinelli, G. A. ve Krenzinger, A., 2016, Statistical analysis of I–V curve parameters from photovoltaic modules, *Solar energy*, 131, 30-38.
- [12] Kapsalis, V. ve Karamani, D., 2015, On the effect of roof added PVs on building's energy demand, *Energy Build*, 108,195–204.
- [13] Al-Sabounchi, A. M., Yalyali, S. A. ve Al-Thani, H. A., 2013, Design and performance evaluation of a photovoltaic grid-connected system in hot weather conditions, *Renewable energy*, 53, 71-78.
- [14] Sandnes, B. ve Rekstad, J., 2002, A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate, Experimental study and analytical model, *Solar Energy*, 72(1), 63-73.
- [15] Chow, T. T., He, W., Chan, A. L. S., Fong, K. F., Lin, Z. ve Ji, J., 2008, Computer modeling and experimental validation of a building-integrated photovoltaic and water heating system, *Applied Thermal Engineering*, 28(11-12), 1356-1364.
- [16] Sardarabadi, M., Passandideh Fard, M., Sardarabadi, H. ve Zeinali Heris, S., 2012, Computer modelling and Experimental Validation of a Photovoltaic Thermal (PV/T) Water Based Collector System, *In 2nd International Conference on Power and Energy Systems (ICPES2012)*.
- [17] Bazilian, M. D., Leenders, F., Van Der Ree, B. G. C. ve Prasad, D., 2001, Photovoltaic cogeneration in the built environment, *Solar Energy*, 71(1), 57-69.
- [18] An, W.T. ve Liu, Y.F., 2007, The study of PV/thermal integrated buildings solar system, *Applied Energy Technology*, 23(11), 33–9.
- [19] Seifried, D. ve Witzel, W., 2010, Renewable energy: the facts, *Routledge, Taylor & Francis*, 52-60.
- [20] Tripanagnostopoulos, Y. ve Tselepis, S., 2003, Hybrid solar/wind (PVT/WT) building integrated systems, *In Proc. 2nd International European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference*, Kassel, Germany,25-26, Sep,329-333.
- [21] Kohlenbach, P. ve Jakob, U., 2014, Solar cooling: the earthscan expert guide to solar cooling systems, *Routledge*, 5-19.

- [22] Mojumder, M. S. S., Uddin, M. M., Alam, I. ve Enam, H. K., 2011, Study of hybrid photovoltaic thermal (PV/T) solar system with modification of thin metallic sheet in the air channel, *Journal of Energy Technologies and Policy*, 3, 47-55.
- [23] Tyagi, V. V., Kaushik, S. C. ve Tyagi, S. K., 2012, Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1383-1398.
- [24] Chow, T. T., 2003, Performance analysis of photovoltaic-thermal collector by explicit dynamic model, *Solar Energy*, 75(2), 143-152.
- [25] Zhang, X., Zhao, X., Smith, S., Xu, J. ve Yu, X., 2012, Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 599-617.
- [26] Charalambous, P. G., Maidment, G. G., Kalogirou, S. A. ve Yiakoumetti, K., 2007, Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review, *Applied Thermal Engineering*, 27(2-3), 275-286.