

ÇATI TİPİ PVT TOPLAÇLARIN ELEKTRİK VE SICAK SU ÜRETİMİNDE EN FAZLA EKSERJİ KAZANIMI İÇİN YERLEŞİM ÇÖZÜMLEMESİ

Analysis of Roof-Type Solar PVT System Layout for Maximum Exergy Output

Birol KILKIŞ

ÖZET

Çatı tipi güneşli PVT sistemlerinde güneş gözelerinin (PV) etkin soğutulmasından kazanılan toplam elektrik ve sıcak su ekserjisinin çatıdaki birim güneşlenme alanında en fazla olması arzu edilir. Ancak bu elektrik ve ısı güç ekserji çıktıları işletim açısından birbiri ile çelişmektedir. Örneğin, güneş gözelerinin soğutulması için su debisi arttırıldıkça elde edilen sıcak suyun sıcaklığı azalır. Bunu gidermek için ikinci bir panelde su sıcaklığı arttırılabilse de bu kez birim çatı alanından elde edilen toplam ekserji azalır. Bu çalışmada yan yana konan aynı ölçülerdeki iki PVT panelinin söz konusu çelişkiye karşın birim çatı alanındaki toplam ekserji kazanımının nasıl en fazla olabileceği tartışılmış ve bu iki PVT nin elektrik ve ısı ekserji çıkışlarını nasıl paylaşmaları gerektiğini çözümlen yeni bir model ile geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PVT panel, Ekserji

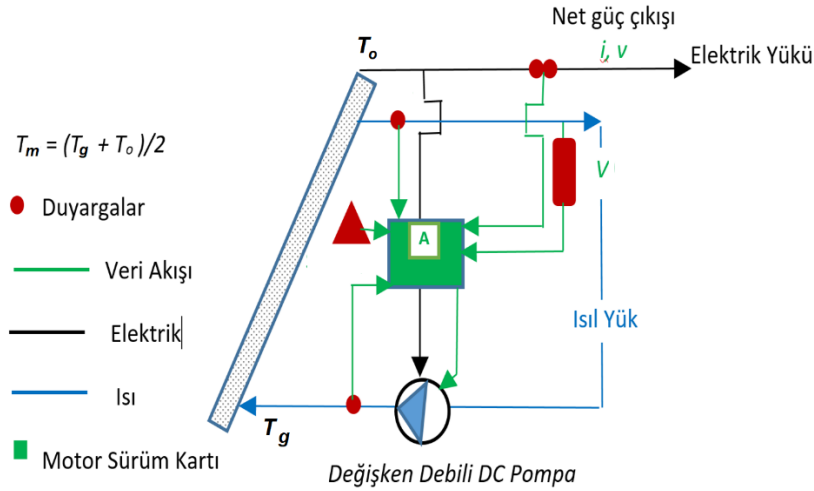
ABSTRACT

The maximization of the unit total exergy output, of roof-mounted PVT panels, which is the sum of net electrical power and thermal power outputs per unit roof area is desired. However, these two different power outputs with quite different unit exergy are in conflict. For example, when the flow rate of the coolant fluid is increased PV cells are effectively cooled with minimum efficiency decrease but at the same time, the temperature of the heat obtained decreases, which leads to a low exergy fluid with little use. In order to avoid this problem a second temperature peaking solar collector may be installed but this time the total exergy output per unit roof area decreases. In this study two similar PVT units installed side-by-side are considered. The second panel serves for temperature peaking with different piping circuitry and layout in the panel and generates moderate power, because its primary objective is to peak the coolant temperature. This paper introduces a new model, which is developed for optimizing the load share between the two panels for maximum total exergy output and demonstrates its use and benefits.

Keywords: Solar PVT panel, Exergy

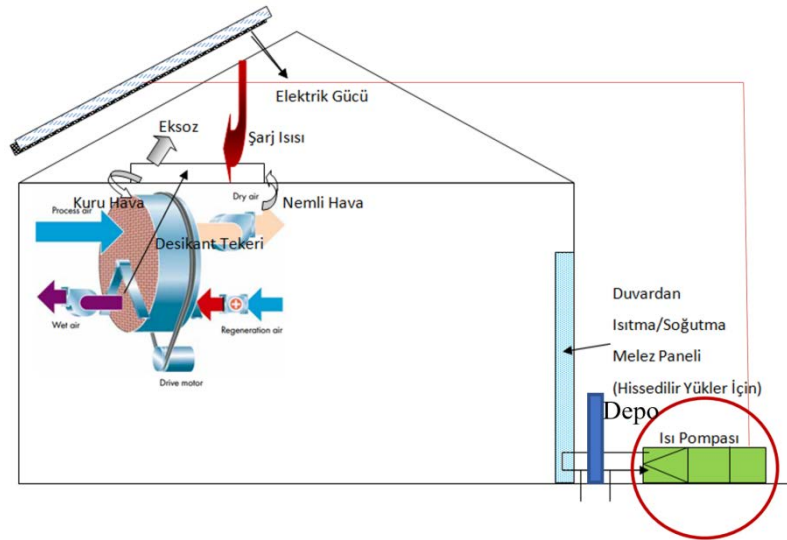
1. GİRİŞ

Foto-voltaik-termal (PVT) güneş gözelerinden oluşan paneller alt alta iki katmandan oluşur. İlk katman bilinen Güneş gözelerinin (PV modülünün) oluşturduğu güç üretim panelinden oluşur. Özellikle yaz aylarında ısınan PV modüllerinin güç üretim verimi azalır. Bunu önlemek için ikinci katmandan su (başka bir sıvı) veya hava dolandırılır. Bu işlemle de yararlı ısı elde edilebilir. Ancak soğutmanın etkin olabilmesi için dolaşım debisi yükseldiğinde elde edilen ısının sıcaklığı, dolayısı ile ekserjisi (Enerjinin yararlı iş ve katma değer üretme verimi). Toplam katma değer (Elektrik artı Isı) en fazla olması için dolaşım pompası veya fan debisinin anlık olarak gelen güneş ışınımı ve taleplere göre değiştirilmesi gerekir. Pompanın veya fanın talep edeceği güç de eki değer olarak hesaba katılmalıdır.



Şekil 1. Güneş Enerjili Güç ve Isı Üreten PVT Sistemi.

Şekil 1 PVT sisteminin ana hatlarını göstermektedir. Genelde elde edilen ısının sıcaklığı yeterli olmaz ve bu nedenle ikinci bir panele gerek olur. Ancak bu panelin eklenmesi ile pratikte kullanılan yüzey alanı iki kat olur ve birim alanda üretilen toplam katma değer daha az olabilir.

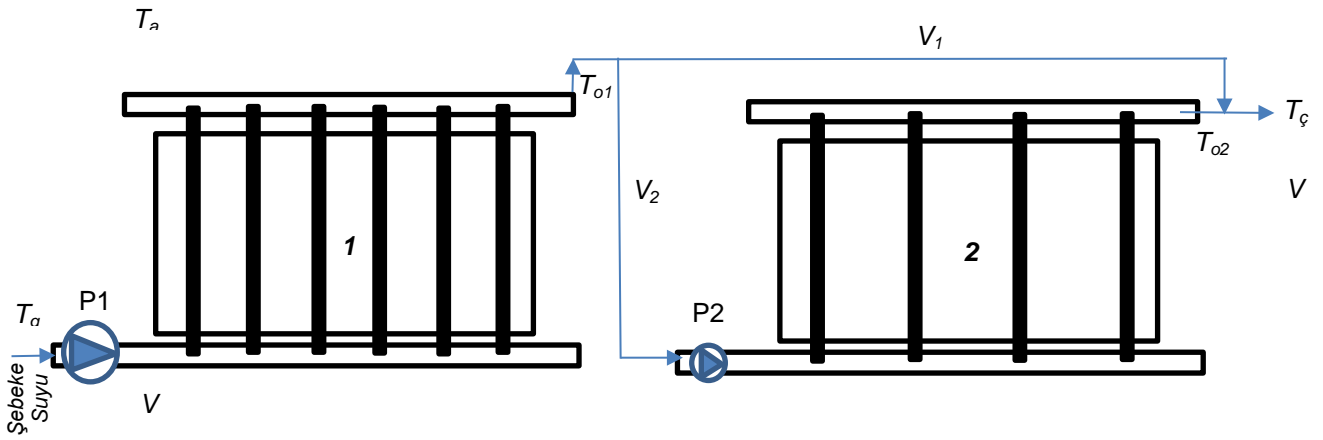


Şekil 2. Akdeniz İkliminde Çatıda PVT Uygulamalı Panel Soğutma ve Isı Pompası Sistemi [1]

Şekil 2 de ise PVT isteminin Akdeniz ikliminde ısı pompası ile birlikte kullanımı gösterilmiştir [1]. BU şekilde göre çatıya yerleştirilmiş PVT sisteminden elde edilen güç kısmen evde kullanılırken bir kısmı da toprak kaynaklı ısı pompasında tüketilerek ısıtma veya soğutma duvar panelleri ile gerçekleştirilerek düşük sıcaklıktaki (ısıtma) veya yüksek sıcaklıktaki (soğutma) akışkan ile konfor sağlanmaktadır. Bir depo ile de tepe yükler törpülenmektedir. PVT de elde edilen ısının bir kısmı ise desikant tekerinin şarj edilmesinde kullanılmaktadır. Sıcaklığı arttırmak için ikinci birer benzer PVT tandem olarak kullanılmaktadır.

Çatıya monteli yan-yan konumlandırılmış iki benzer PVT panelli Şekil 3 de gösterilmiştir. Her PVT paneli A_{PVT} ışınım alanına sahiptir. Çatıda kapladıkları alan ise yaklaşık $1.1 A_{PVT}$ dir. Elektrikle çalışan pompaların talep edecekleri elektrik gücünün en az olabilmesine yardımcı olmak üzere ısı transfer boruları paralel ve kısa seçilmiştir. Bu nedenle PVT boyutları yüksekliği eninden daha fazla olacak şekildedir. Böylelikle arka arkaya sıralanacak panellerin gölgeleme etkileri de azalmış olmaktadır.

Ancak çatı boyutlarına göre enin fazla olması aynı sıraya yerleştirilebilecek panel adedini de kısıtlamaktadır. Dolayısı ile panel boyutlarının optimum oranlarda seçilmesi de ayrı bir eniyileme modeline gerek duyar. 1 sayılı panelin ana amacı PV gözelerin en iyi şekilde soğutulmasıdır ve bu amaçla P1 pompa debisi yüksektir. İkinci PVT panelin ana amacı ise birinci PVT panelinde yeterince ısıtılmamış suyu istenen sıcaklığa yükseltmek, bu arada verimi çok yüksek olmayan (iyi soğutulmadığı için) PV gözelerden olabildiğince ek elektrik gücü üretmektir. Bu paneldeki P2 pompa debisi suyun ısıtılması amacı ile azdır. Bu iki debi oransal olarak 1 ve 2 PVT panellerin toplam ekserji çıktısına olan paylarını düzenler. İki benzer panel aslında içerdikleri ısı transfer borusu sayıları bakımından ayırdır. 1 numaralı PVT panelde borular daha sıktır. Bunun nedeni debinin yüksek olması nedeni ile basınç düşüşünü azaltmak için her borudan geçecek su hızını azaltmaktır. Bu ise T_{o1} su çıkış sıcaklığını artırır ki bu 1 numaralı panelde arzu edilmeyen bir durumdur. Aksi halde PV gözeler iyi soğutulamaz. Ayrıca, boru sayısı arttıkça boyutsal olarak boru çaplarının küçültülmesi gerekir ki bu da basınç düşüşünün tekrar artmasına neden olur. Bu üç çelişik etmenin ayrıca eniyilemesi gerekir. İki numaralı PVT panelde ise daha az sayıda ve daha büyük çaplı borular bulunmaktadır. Bu sayede ve düşük debide T_{o2} yani nihai su çıkış sıcaklığı iyice artırılmış olur.



Şekil 3. Yan yana iki Benzer PVT Paneli

2. MODEL

Aşağıdaki eşitlikler şebeke suyu sıcaklığından başlayıp ikinci PVT panel çıkışındaki su sıcaklığına kadar olan parkurdaki performans ölçütlerini vermektedir.

$$T_{o1} = \frac{I_n A_{pvt} (1 - \eta_{PV1})}{\rho_w C_{pw} \eta_{sc1}} + T_g \quad (1)$$

$$T_{o2} = \frac{I_n A_{pvt} (1 - \eta_{PV2})}{\rho_w C_{pw} \eta_{sc2}} + T_{o1} \quad (2)$$

$$T_{m1} = \frac{T_g + T_{o1}}{2} \quad (3)$$

$$T_{m2} = \frac{T_{o2} + T_{o1}}{2} \quad (4)$$

$$\eta_{pv1} = \eta_{pvo} \left[1 - b(T_{m1} + 15K - T_a) \right] \quad (5)$$

$$\eta_{sc2} \square \eta_{sco} \left[1 - \alpha(T_{m2} - 5K - T_a) \right] \quad (6)$$

Burada (\square) alt simgesi PV gözelerinin altındaki soğutma katmanını simgeler

$$T_\zeta = XT_{o1} + (1 - X)T_{o2} \quad (7)$$

$$X = \left(\frac{V_1}{V} \right) \quad (8)$$

Elde edilebilecek toplam ekserji kazancı her iki panelin X değerine bağlı olarak toplam elektrik gücü ve ısı gücü eşittir.

Isıl Ekserji:

$$E_{XH} = \rho_w C_{pw} V (T_\zeta - T_g) \left(1 - \frac{T_g}{T_\zeta} \right) \quad (9)$$

Elektrik Ekserjisi:

$$E_{XE} = I_n A_{pVT} (\eta_{PV1} + \eta_{PV2}) \quad (10)$$

Toplam Ekserji:

$$E_{XT} = E_{XE} + E_{XH} \quad (11)$$

En son olarak birim çatı alanında elde edilecek net toplam ekserji, E_{XTA} pompaların ekserji talebi çıkarıldıktan bulunur:

$$E_{XTA} = \frac{E_{XT} - E_{XP1} - E_{XP2}}{2.2 A_{pVT}} \quad (12)$$

Görüldüğü üzere bütün değişkenler V ye ve X e bağlıdır. Belli bir V değerine karşılık gelen optimum X değeri bulunabilir. V değeri de değiştirilerek de en uygun V değerine ulaşılır.

$$E_{XP} = \frac{\rho_w g \left(\frac{V}{3600} \right) H}{100 \eta_p} \cdot (1 \text{ W/W}) \quad (13)$$

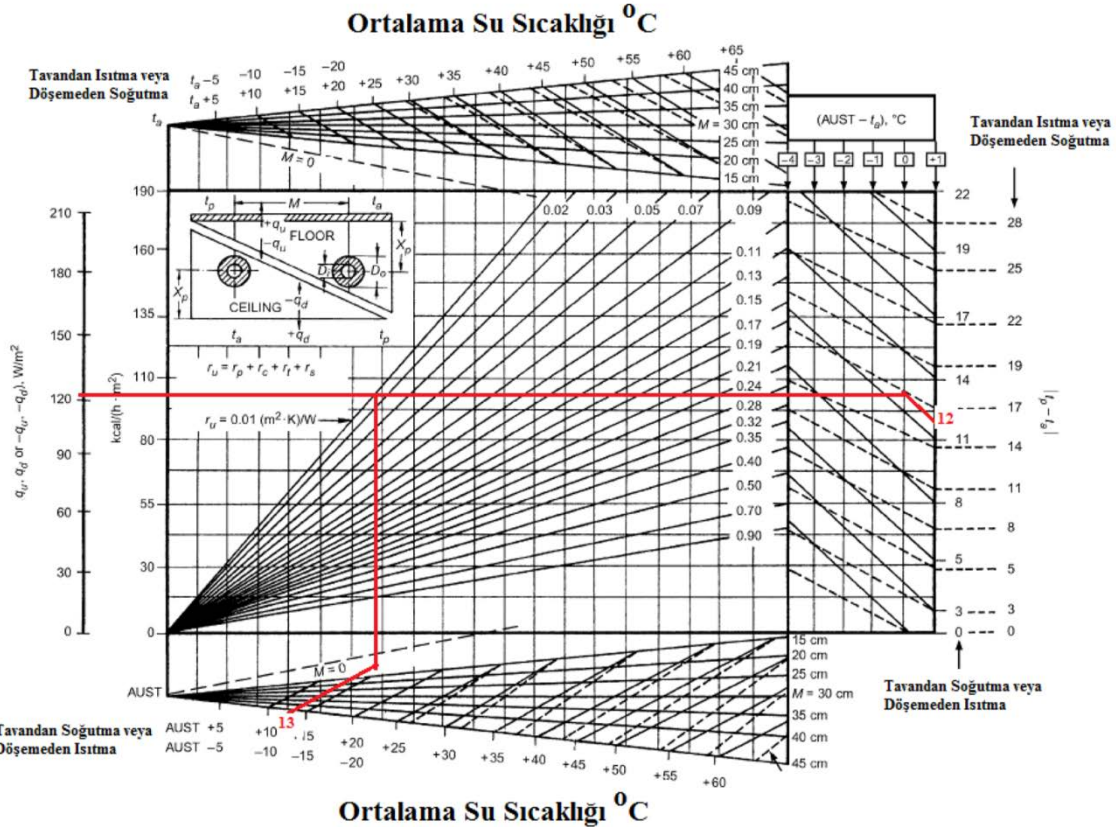
Elektrik enerjisinin birim ekserjisi 1 W/W alınmıştır. H soğutucu devresindeki metre su sütunu cinsinden basınç kaybıdır. η_p ise pompa ve elektrik motorunun toplam verimidir. Görüldüğü üzere bütün değişkenler V ye ve X e bağlıdır. Belli bir V değerine karşılık gelen optimum X değeri bulunabilir. V değeri de değiştirilerek de en uygun V değerine ulaşılır. Dolayısıyla ile, en uygun X değerinin aranması V debisinin değişik değerlerinin sınaması ile olur. Başlangıç değeri olarak T_{o1} sıcaklığının T_g den 10 K daha sıcak olduğu varsayılır. Bu varsayım debinin sınamasındaki başlangıç değeri V' yi verir:

$$V' = \frac{I_n A_{PVT} \eta_{sc}}{10 \rho_w C_{pw}} \quad (14)$$

Bu değerle başlanan eniyileme işleminde Eşitlik 12 ye göre en yüksek değeri veren X bulunur.

4. DÜŞÜK EKSERJİLİ UYGULAMA: PANEL ISITMA

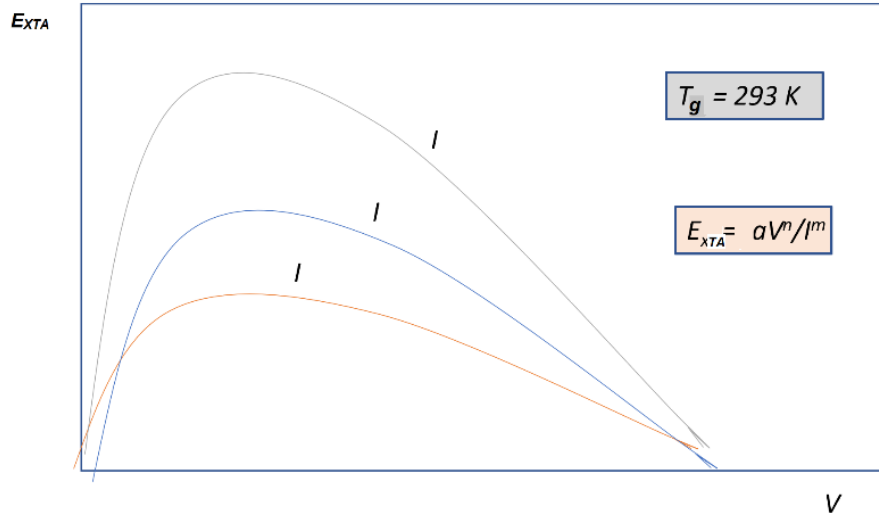
Kış aylarında her ne kadar elde edilen ısının miktarı ve sıcaklığı az ve PV gözelerin soğutulmasına çok gerek olmasa da bu sistem düşük ekserjili panel sistemlerinde kullanılmaya devam edebilir. Bu amaçla düşük sıcaklıkta konfor ısıtması oluşturabilen ışınımsal paneller kullanılabilir. Örneğin, Şekil 4 de gösterildiği gibi 120 W/m² ısı yük yoğunluğunda, iç mekânın AUST değerinin sadece 13°C üzerindeki bir ortalama akışkan sıcaklığı yeterli olabilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Işınımsal Panel Isıtma Tasarım Abağı [1].

4. DEĞERLENDİRME

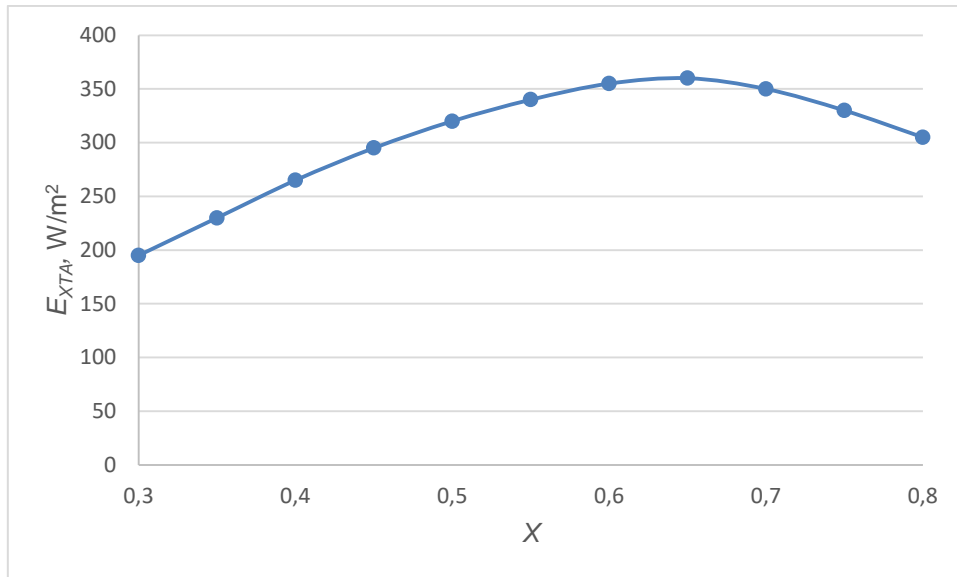
PVY panellerin henüz bir değerlendirme ve tasarım standardı yoktur, hatta terim ve tarifler standardı da yoktur. Bu eksikliğin giderilerek bu tür sistemlerin özellikle ülkemiz açısından önem arz etmesi nedeni ile tasarım ve uygulamanın yaygın ve etkin bir çerçeveye oturtulması gerekmektedir. Şekil 5 de yapılacak özgün deneyler sonrasında bir PVT panelin performans sonuçları gösterilmekte ve E_{XTA} değerinin ne şekilde optimize ve hangi işletme koşullarında optimize edilebileceği ampirik bir eşitliğe dayandırılmaktadır [2].



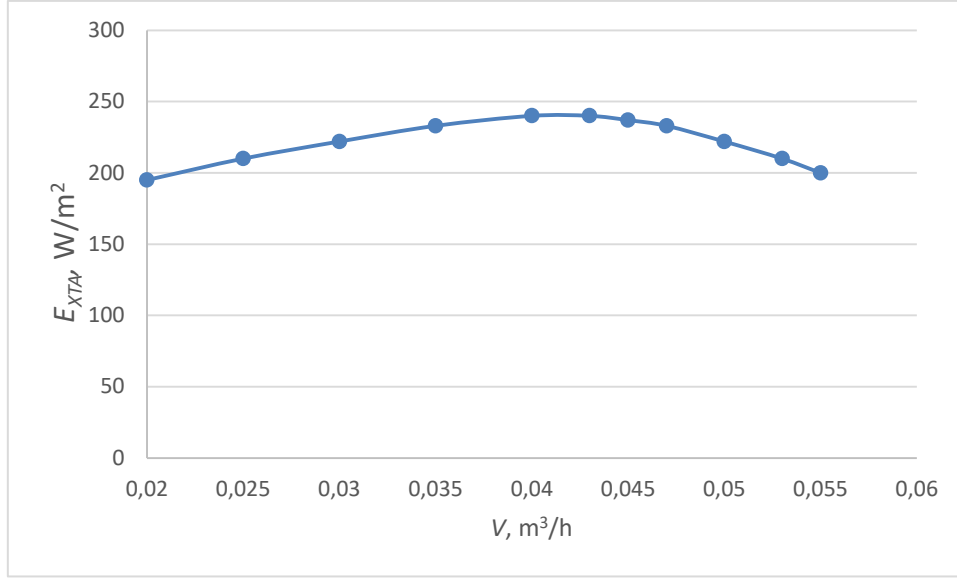
Şekil 5. PVT Panel Deneysel Performans Abağı [2].

5. ÖRNEK ÇÖZÜMLEME

Her birinin güneş ışınımı alan yüzey alanı 1.5 m^2 olan iki benzer PVT çatıya konmuştur. Belli bir günde yüzeylere dik gelen anlık güneş ışınımı, I_n 800 W/m^2 dir. PV ve alt katmandaki ısı değiştirgeçlerinin verim ve standart performans değerleri bellidir. T_g 288 K olarak alınmıştır. Suyun (veya başka bir ısı transfer sıvısının) özgül ısı ve yoğunluğu sabit alınmıştır. Çözüm için başlangıç debisi $0.02 \text{ m}^3/\text{h}$ dir (Eşitlik 13). Bu değer sabit tutulup yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak en yüksek E_{XTA} Şekil 2 de özetlenen eğri üzerinden elde edilmiştir. Bu sonuca göre V debisinde en uygun X oranı 0.65 dir. Debi değerleri değiştirildiğinde en uygun X değeri 0.55 , V değeri $0.043 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 6. PVT İkisinin Çözüm Başlangıç Debisinde (V) Optimum Debi Paylaşımı.



Şekil 7. PVT İkili sisteminin Optimum Giriş Debisi. X = 0.55.

6. TARTIŞMA

Bu çalışmada piyasada mevcut PVT sistemlerindeki soğutma akışkanının optimum dolanımında ve ekserji kazanımında yeterli çalışma yapılmadığı görülmüştür [1, 3]. Genelde PVT sistemleri pompasız satılmakta ve pompayı kullanıcının seçmesi beklenmektedir. Halbuki sistemin birim çatı alanına en fazla ekserji kazandırabilmesi için ikili PVT sistemini seri olarak yan yana konması ve değişken debili pompalar yardımı ile kapasite paylaşımının sürekli bir biçimde optimum noktada tutulmasının gerekli olduğu bu çalışmada gösterilmiştir. BU çalışmada verilen formüller kullanılarak değişken debili bir sistem kurulumu ile katma değeri yüksek güneş enerjili uygulamalar gerçekleştirilmiş olacaktır [4, 5]. PVT panellerin yaz aylarında absorpsiyonlu soğutma makineleri ile birlikte konfor soğutmasında değerlendirilmesi daha akılcıdır. Bunun nedeni yaz aylarında güneş enerjisinin daha yoğun, günlerin daha uzun olmasına karşın PV gözelerin daha çok ısınarak verimlerinin azalması ve soğutulmalarına daha çok gerek olurken üretilen ısının da daha yüksek olması nedeniyle absorpsiyonlu sistemlerin tesir katsayılarının artmasıdır. Yaz aylarında üretilen ısı açık devreli bir sıcak su tüketiminde kullanılacaksa Lejyoner hastalığı riski daha azalacaktır. Kış aylarında bu risk daha fazladır ve mutlaka ikinci PVT panele gerek vardır. Buna karşılık, sıcaklık tepelemesine fazla gerek olmayacağından sıcak iklimlerde ikili PVT istemine gerek kalmayabilir.

SİMGELER

A	Panel alanı, m ²
AUST (Panel)	Işınimsal Panel Isıtma/Soğutma Sisteminde alan ağırlıklı iç mekân yüzey sıcakları yüzeyleri hariç), K
b	Soğutma panelinin verim katsayısı
C _p	Özgül ısı, kJ/kgK
g	Yer çekimi ivmesi, m/s ²
H	Basınç kaybı, metre su sütunu
I	Akım, amper
I _n	Yüzeye dik ışınım, W/m ²



q	Birim Isıtma gücü, W/m^2
T	Sıcaklık, K
V	Debi, $m^3/saat$
V'	Sayısal çözümün başlangıç debi değeri, $m^3/saat$
v	Elektriksel potansiyel, volt
E_x	Ekserji, kW

Semboller

η	Birinci Yasa verimi
α	PV verimi sıcaklık katsayısı
ρ	Yoğunluk, kg/m^3

Alt Simgeler

a	Dış ortam (Hava)
sc	Isıl toplaç (PVT nin ikinci katmanı)
ϕ	Çıkış
E	Elektrik
g	Giriş
H	Isı
m	Ortalama
o	PVT çıkışı
p	Pompa, panel (yüzeyi)
sc	Isıl toplaç (PVT nin ikinci katmanı)
w	Sıvı

Kısaltmalar

PVT

KAYNAKÇA

- [1] Kılış, B. ve Kılış, Şiir. 2015. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Birleşik Isı ve Güç Üretimi, Kitap, TTMD Yayın No: 32, Birinci Bası, ISBN: 978-975-6263-25-9, 371 sayfa, Doğa Yayınevi.
- [2] G. Çakır, B. Kılış, A. Bıykoğlu, PV/T Sistemlerinin Performans Deneyleri İçin Standart Geliştirilmesi, Isı Bilimi ve Tekniği Konferansı, Tebliğler Kitabı, ULİBTK17, 21-23 Eylül 2017, Çorum.
- [3] Kilkis, B. 2016. Optimum Operation of Solar PVT Systems: An Exergetic Approach, Solar TR2016 Conference and Exhibition, 6-9 December, 2016, Paper No: 0025, Proceedings, pp. 72-79, Istanbul.
- [4] Kılış, B., Özgür, E. 2018. Güneş Enerjisinin Akılcı Değerlendirilmesinde PVT Sistemleri, Bölüm 12.2. Türkiye'nin Enerji Görünümü, sayfa 373-381. Makine Mühendisleri Odası, Oda Raporu, No: MMO/691, Nisan 2018, Ankara. ISBN:978-605-01-1198-9.
- [5] Kılış, B. 2017. Değişik Bina Tipolojilerinde ve İklim Bölgelerinde Güneş Enerjisinden En Etkin Yararlanma Yöntemleri, 7. Güneş Enerjisi Sempozyumu ve Sergisi, 22-23 Eylül, Mersin, MMO.
- [6] Kılış, B. ve Kılış, Ş. 2017. Düşük Ekserjili Binalarda Güneş ve Rüzgâr Enerjisi ile Birlikte Isı ve Güç Üretim Senaryoları, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve SODEX Fuarı, TESKON 2017 19-22 Nisan 2017, Tesisat Mühendisliğinde Bütünleşik Performans, Cilt 1, Binalarda Enerji Performansı Sempozyumu Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No: E/MMO/667-1, sayfa: 681-694, ISBN ISBN 978-605-01-1011-1, İzmir.



ÖZGEÇMİŞ

Birol KILKIŞ

1949 yılında Ankara da doğdu. ODTÜ Makina Müh. Bölümünden 1970 yılında Yüksek Şeref derecesi ile mezun oldu. 1971-1972 yıllarında TÜBİTAK NATO bursu ile Brüksel NATO von Karman Enstitüsünde akışkanlar mekaniği ve aerodinamik konularında çalışarak şeref derecesi ile mezun oldu. 1973 yılında Y. Lisans ve 1979 yılında Doktora derecelerini aldı. 1981 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü sahibi Kılkiş, 1999 da ODTÜ Makine Müh. Bölümü Profesör kadrosundan emekli oldu. ASHRAE nin değişik teknik komitelerinde görevlidir. 2003 yılında uluslararası başarılarından dolayı ASHRAE Fellow üyeliğine yükseltilen Kılkiş 2004 yılında da *Distinguished Lecturer* seçilmiştir. 2008 yılında ise *Distinguished Service* ve *Exceptional Service* ödülleri almıştır. Yeşil ve sürdürülebilir binalar konusunda uzman olup, karbon dioksit salımları, enerji performansı ve bölge enerji sistemleri üzerinde ekserji tabanlı çözümleri bulunmaktadır. Yeni Nesil Melez Güneş Enerjisi Sistemleri ve Isı Pompaları üzerinde patentleri mevcuttur. AB Başkanlığına karbon dioksit azaltımı konusunda raporlar hazırlamaktadır. 2017-2019 yılları arasında Türk Tesisat Mühendisleri Derneğinin Yönetim Kurulu Başkanlığını yürütmüştür.