

Endüstriyel Tesisler için Güneş Duvarı Performansının İncelenmesi

Hacer AKHAN^{*1}, Doğan ERYENER¹

¹Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne

Geliş tarihi: 03.05.2017

Kabul tarihi: 31.05.2017

Öz

Bu çalışmada, Türkiye’de uygulaması yapılan ilk hava sızdırmalı güneş duvarın saha performansının analizi yapılmıştır. 2012 yılında Çayırova-Kocaeli’nde bir otomotiv tesisinde ısıtma ve havalandırma amaçlı olarak uygulaması yapılan 770 m²’lik güneş duvarının performansı, iki yıllık bir süre zarfında kış dönemlerinde üçer aylık periyodlar halinde bina yönetim sistemi vasıtasıyla incelenmiştir. Ayrıca, sistemin teorik analizi, bir güneş duvarı simülasyon yazılımı kullanılarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar saha verileri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına benzer olarak, 2013 yılında 113,037 kWh enerji, 2014 yılındaki 246,924 kWh ısı enerjisi üretmiş ve dönemsel olarak %62 varan bir enerji tasarruf elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş duvarı, Güneş enerjisi ile hava ısıtma

Investigation of Solar Wall Performance for Industrial Facilities

Abstract

In this study, the performance of field tests of first unglazed transpired solar wall installation in Turkey is analyzed. The performance of the 770 m² solar wall in an automotive plant in Çayırova - Kocaeli in 2012, has been monitored for winter periods of two years via a building management system. In addition, the theoretical analysis of the system was made by a simulation software for solar wall and the results obtained were compared with the field data. Solar wall delivered 113.037 kWh thermal energy in 2013, 246.924 kWh thermal energy in 2014 and energy savings of up to 62% have been achieved, which are similar to simulated results.

Keywords: Transpired solar collector, Solar air heating

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Hacer AKHAN, hacera@trakya.edu.tr

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ve insan nüfusundaki artışla beraber enerji tüketimi artmaktadır. Mevcut enerji kaynaklarının tükeneceği düşüncesi, dönemsel olarak ortaya çıkan enerji krizleri, gün geçtikçe artan sera gazı emisyonları, çevre kirliliği ve iklim değişiklikleri, dünyanın her yerinde kaygı oluşturmaktadır. Küresel enerji talebi, iklim değişikliği ve çevre kirliliği, enerji verimli ve çevre dostu binaların inşasını son yıllarda gündeme getirmiştir. Genel olarak, binaların enerji ihtiyaçlarının tespit edilmesi, enerji türleri ve sera gazı emisyonları bakımından değerlendirilmesi, yeni veya mevcut binalar için bir minimum enerji performans düzeyinin belirlenmesi gerek ülkemizde gerekse dünyada çeşitli mevzuat, yasa ve yönetmeliklerle belirlenmiş ve bu konu geliştirilmeye devam etmektedir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının bina kullanımında mümkün olan en yüksek seviyede kullanımı, tüm bu yönetmeliklerde tavsiye edilmektedir.

Genel olarak, binalardaki enerji tüketiminin ülke enerjisinde önemli bir paya sahip olduğu uzun yıllardır bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla binaların enerji tüketimini azaltmak için konvansiyonel bazı önlemlerin yanı sıra yüksek verimli yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı önemlidir. Binalar için önerilen enerji kaynakları arasında en yaygın ve potansiyeli en yüksek olanlarından birisi güneş enerjisidir. Türkiye Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Raporuna göre Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyeli yaklaşık olarak yılda 380 milyar kWh/yıl'dır. Öte yandan, Uluslararası Enerji Ajansının raporuna göre [1], Türkiye, toplam 18.185.901 m²'lik güneş toplayıcısı ve yıllık 16.316 GWh güneşten enerji üretimi rakamları ile dünya genelinde özellikle güneşle su ısıtma alanında lider ülkelerden biridir. Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyeli diğer enerji türlerine kıyasla çok daha yüksek olmasına rağmen, uluslararası enerji ajansının raporunda da belirtildiği üzere, ülkemizdeki güneş toplayıcıları ağırlıklı olarak müstakil evlerde kullanma suyu ısıtması amacıyla limitli olarak kullanılmaktadır. Oysa, ülkemizde ısıtma amaçlı olarak binalarda tüketilen ithal doğal gazın yüksek miktarları

dikkate alındığında, Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin daha etkin bir şekilde kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu amaca hizmet eden binaya uygun yenilenebilir enerji teknolojilerinin pazara arzı da önemli bir başka parametredir. Günümüzde özellikle kuzey Amerika ve Avrupa'daki binalarda uzun yıllardır kullanılan farklı yenilenebilir enerji teknolojilerinin Türkiye'de son zamanlarda pazarda yer aldığı ve uygulamalarının yapıldığı görülmektedir. Bu ürünler arasında, en önemlilerinden birisi, güneş enerjisi ile mahal ısıtmasında uzun yıllardır kullanılan güneş duvarı sistemleridir. İlk olarak on dokuzuncu yüzyılda uygulanmaya başlanan güneş duvarları, binalardaki ısıtma ve havalandırma yükünü azaltmak için kullanılan, düşük maliyetli ve yüksek verimli genel yapısı itibarıyla basit enerji sistemleridir [2]. 20. yüzyıl ile birlikte gelişen güneş duvarı sistemleri arasında, özellikle geliştiricisinin adıyla anılan Trombe duvarı literatürdeki yerini almış, uzun yıllar güneş duvarı dendiğinde ilk akla gelen sistem olmuştur [3]. Doğal havalandırma tekniğini kullanarak pasif ısıtma yapan Trombe duvarları, uzun yıllar müstakil evlerde uygulanmış buna karşın modern binaların yeni cephe sistemlerinde uygulama zorluğu nedeniyle istenen ve beklenen ölçüde yaygınlaşmamıştır.

Teknolojinin gelişimiyle birlikte, Trombe duvarı evrimleşmiş ve yerini zorlanmış havalandırma ile aktif ısıtma yapan yeni güneş duvarı sistemlerine bırakmıştır. Yeni güneş duvar sistemleri arasında, özellikle hava sızdırma tekniği sahip olanlar oldukça ön plana çıkmış ve güneş duvarı uygulamalarını domine etmiştir. Bunun temel nedenlerinden birisi, sistemin ucuz ve basit yapısının yanı sıra hava sızdırma tekniği sayesinde çok noktadan emiş ile çok yüksek enerji dönüşüm verimliliğine ulaşılıyor olmasıdır. Hava sızdırmalı güneş duvarlarının en önemli özelliği, güneşle ısıtma işlemini taze hava kullanılarak gerçekleştiriyor olması ve böylece ısıtma ve havalandırma işlemlerinin bir arada yapılmasıdır. İlk olarak John Hollick [4] tarafından seksenli yıllarda geliştirilmiş olan hava sızdırmalı güneş duvarları, basit yapısına rağmen son derece karmaşık bir ısı transferi mekanizmasına sahiptir.

Konuya ilişkin ilk teorik ve deneysel ısı transferi incelemeleri, Kutscher ve Christensen tarafından yapılmıştır [5]. Kutscher, güneş duvarı için ısı transferi denklemleri geliştirmiştir [6]. Cao ve arkadaşları, deneysel sonuçlara dayanarak, rüzgarlı koşul için oluklu geometriye sahip delikli paneldeki ısı değiştirme etkinliği bağıntısı ifade edilmiştir [7]. Pesaran, hava sızdırmalı güneş toplayıcılarını kurutmalı soğutmada kullanmıştır [8]. Kutscher, emme debisi yandan esen rüzgar etkisi, delik mesafesi ve delik çapı parametreleri için toplayıcı ısı değiştirici verimini hesaplamak amacıyla laboratuvar çalışması gerçekleştirmiştir [9]. Basınç kayıplarını ifade eden bir denklem bulmuştur. Van Decker, üç boyutlu akış için toplayıcı ısı değiştiricisi verimini incelemiştir [10]. Model, üç ısı transferi mekanizmasına sahiptir: Panelin ön yüzeyi, delik içi, panelin arka tarafı. Hava özellikleri, rüzgar hızı, ısı iletkenlik, delik çapı, gözeneklilik ve emme hızının fonksiyonu olarak ısı değiştiricisi verimi modellenmiştir. Van Decker ve arkadaşları, rüzgarsız koşul için kare veya üçgen mesafeli dairesel delikli toplayıcının verim denklemini geliştirmiştir [11, 12]. Toplayıcı içindeki akış dağılımını anlayabilmek için emme, hız profili, farklı kolektör yüksekliği, yüksekliklerinlik oranı, güneş ışınımı, kolektör alanı için debi değeri verim gibi önemli parametreleri etkisini incelemiştir. Campbell-Howe, hava sızdırmalı güneş toplayıcılarının ekonomik analizini ve ısıl simülasyonunu yapmıştır [13]. Dymond ve Kutscher, toplayıcı tasarımında kullanılan farklı geometrik konfigürasyonları içeren bilgisayar modeli geliştirilmiştir [14, 15]. Model, tüm ısı transferi mekanizmalarını ve basınç kayıplarını içermekteydi. Christensen, ısı iletkenliği düşük olan absorber panele sahip hava sızdırmalı güneş toplayıcısı üzerine çalışma yapmıştır [16]. Arulandanam, dairesel delikli kare mesafeli toplayıcının verimini hesaplayan CFD kodu kullanmıştır [17]. Model, rüzgarsız koşul için geliştirildi ve panelin arka tarafındaki ısı transfer hesaplamalarını da içermektedir. Gunnewiek ve arkadaşları, rüzgarın hava sızdırmalı güneş toplayıcısındaki akış dağılımına etkisini incelemiştir [18]. Gunnewiek, rüzgar etkisinin toplayıcı iç hacmindeki akışa etkisini incelemiştir [19]. Maurer, hava sızdırmalı güneş toplayıcılarının sıcak iklim koşullarındaki

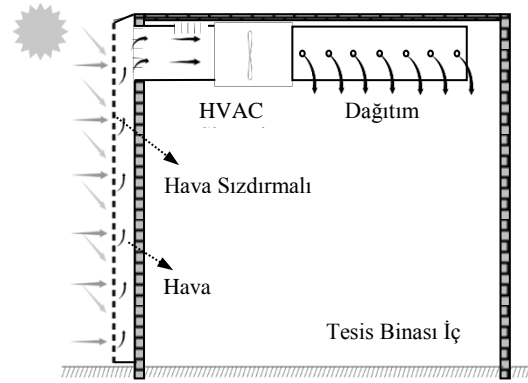
performansını incelemiştir [20]. Augustus ve Kumar, hava sızdırmalı güneş toplayıcılarının ısıl performans analizini ve matematiksel modellemesini geliştirmişlerdir [21]. Naveed ve arkadaşları, fotovoltaik modüllü hava sızdırmalı güneş toplayıcısının performans analizini yapmıştır [22]. Wang ve arkadaşları tarafından hava sızdırmalı güneş toplayıcılarının nümerik simülasyonu yapılmıştır [23]. Budig ve Vajen, hava sızdırmalı güneş toplayıcılarının teorik ve deneysel incelemesini geliştirmişlerdir [24]. Leon ve Kumar güneş enerjisi ile kurutma için güneş duvarının analizini yapmıştır [25]. Leon, Augustus ve Kumar, hava sızdırmalı güneş toplayıcısının ısıl performans analizini ve matematiksel modellemesini yapmışlardır [26]. Lixin ve Hua, Çinin kuzeyinde inşa edilen hava sızdırmalı güneş toplayıcısı uygulamasının ısıl analizini incelemiştir [27]. Motahar ve Alemrajabi, güneş duvarının ekserji analizini incelemiştir [28]. Li ve arkadaşları, güneş duvarına entegre edilmiş fotovoltaik sistemin performans analizini ve enerji modellemesini yapmışlardır [29, 30]. Vasan, rüzgarın güneş duvarı üzerindeki etkisini incelemiştir [31]. Chan ve Riffat, hava sızdırmalı güneş toplayıcılarının ısı transferi analizini incelemiştir [32]. Brown ve arkadaşları, güneş duvarı performansını etkileyen yönlendirme, eğim, ebat renk, kaplama türü ve bina türü gibi faktörleri dikkate alarak, İngiltere ve Galler'deki güneş duvarı kurulumları üzerine genel bir inceleme yapmıştır [33]. Zheng ve arkadaşları, soğuk iklim koşullarında hava sızdırmalı toplayıcı performansını arttırmak için yeni bir tasarım yapmışlardır [34]. Gao ve arkadaşları, soğuk iklim koşullarında kaplamalı hava sızdırmalı güneş toplayıcılarının hacim ısıtma performansını test etmiştir [35]. Augustus ve Kumar, güneş duvarının ısıl performansı için matematiksel modelleme yapmıştır [36]. Kozubal, ABD'deki farklı iklim koşullarındaki dokuz kent için güneş duvarı performansını simüle etmiştir [37]. Hall ve arkadaşları, hava sızdırmalı absorber panel üzerindeki seçici kaplamanın sistem üzerindeki etkisini incelemiştir [38]. Eryener, güneş ışınımının düşük olduğu koşullarda bir tamamlayıcı ısıtma sistemi olarak, kılcal boru ısı değiştiricisi ile desteklenmiş güneş duvarı geliştirmiştir [39].

Bu çalışmada, Çayırova Kocaeli’nde faaliyet gösteren bir otomotiv tesisinde kurulmuş olan Türkiye’nin ilk hava sızdırmalı güneş duvarının performansı teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. İnceleme, Şubat – Nisan 2013 ve Ocak-Mart 2014 dönemlerini kapsamaktadır. İki yıllık bir zaman diliminde kış dönemlerinde güneş duvarından sağlanan ve bina iç ortamına gönderilen enerji, bina yönetim sistemi izlenmiş ve elde edilen sonuçlar, güneş duvarı tasarımında kullanılan temel yazılım olan Retscreen verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu inceleme, hava sızdırmalı güneş duvarlarının Türkiye’de iklim koşulları için performans tespitini yapan ilk çalışma olması itibarıyla hava sızdırmalı güneş duvarlarının Türkiye’deki uygulanabilirliği hususunda temel bilgileri de içermektedir.

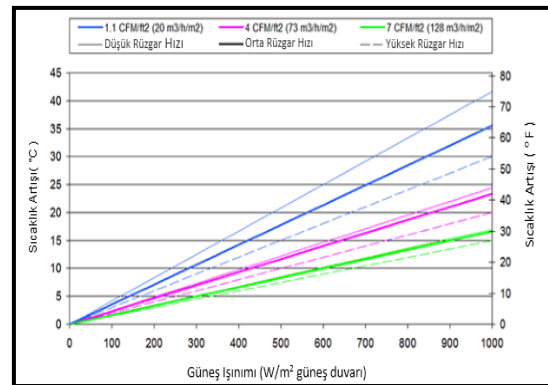
2. HAVA SIZDIRMALI GÜNEŞ DUVARI

Hava sızdırmalı güneş duvarı, Şekil 1’de gösterildiği üzere, metal malzemeden üretilmiş, uygulama tipine göre camlı veya camsız olarak binaların dış cephelerine monte edilen bir cephe kaplama sistemidir. Sistemin en önemli elemanı güneş enerjisini absorbe eden hava sızdırmalı absorber paneldir. Absorber yüzey, üzerindeki çok sayıda özel tasarımı milimetrik delikleri sayesinde, dış havayı güneş enerjisi ile ısıtarak iç ortama göndermektedir. Deliklerin çapı ısıtılacak hava miktarına bağlı olarak projeye özel tasarlanmaktadır. 1 m^2 absorber yüzeyde ortalama 2.500 adet hava sızdırma deliği bulunmaktadır. Sistemin diğer bir yapısal özelliği, absorber plakanın ön yüzünün güneş enerjisini emici özel bir kaplamaya sahip olmasıdır. Genel olarak koyu renklerden oluşan kaplama 0,95’e varan emicilik değerleri sağlamaktadır. Bina cephesine uygulaması yapılan güneş duvarında üretilen ısı enerjisi, havalandırma kanalları vasıtasıyla bina içine sevk edilir. Uygulama türüne bağlı olarak bazen tamamlayıcı bir ısıtma sistemi, güneş duvarına entegre edilerek kullanılır, bu şekilde güneş enerjisinin yetersiz olduğu durumlarda güneş duvarı ön ısıtma vazifesi görür ve enerji tasarrufu sağlar. Hava sızdırmalı güneş duvarları

yüksek verimli sistemlerdir. %80 ve hatta üzerine çıkabilen verim eğrileri mevcuttur. Şekil 2’de hava sızdırmalı güneş duvarının performans diyagramı yer almaktadır [40]. Verimin yüksek olmasının temel nedeni, absorber üzerinde hava akışının binlerce noktadan sızdırılarak sağlanması ve bu esnada sınır tabaka akış koşullarının oluşmasıdır, dolayısıyla klasik ısı geçişi sağlayan sistemlerde olduğu gibi, tek noktadan akışkan giriş ve çıkışı yerine, milyonlarca delikten giriş ve tek noktadan çıkış vardır. Dolayısıyla absorber yüzeyden dış ortama konveksiyonla ısı kaybı ihmal edilecek seviyede gerçekleşmektedir, bu da sistemin verimliliğini, diğer sistemlere nazaran daha yüksek yapmaktadır.



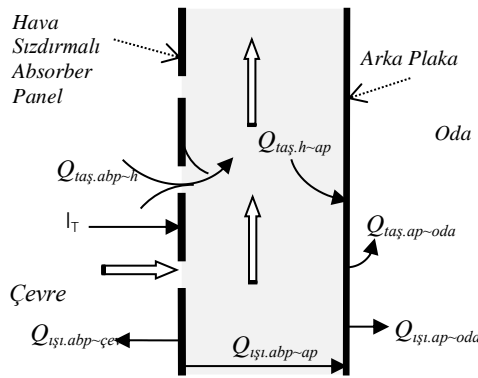
Şekil 1. Hava sızdırmalı güneş duvarı şematik resmi



Şekil 2. Farklı rüzgar şiddetleri için hava sızdırmalı güneş duvarının sıcaklık performans diyagramı [40]

3. GÜNEŞ DUVARI ENERJİ DENGE DENKLEMLERİ

Güneş duvarı için genel enerji denge denklemleri Şekil 3'te verilen ve ısı transferi mekanizmasını gösteren şematiğe dayanarak yazılabilir. Şekil 3'te görüldüğü üzere, güneş duvarı, üç ayrı bileşene ayrılmaktadır ve her bir bileşen için literatürde önerilen ısı transferi denklemleri aşağıda verilmektedir [5, 6, 26].



Şekil 3. Güneş duvarındaki ısı transferi mekanizması

3.1. Absorber Panel

Absorber panel için sisteme enerji girişi, güneş ışınımı ile gerçekleşen ısı transferi ile olmaktadır. Sistemdeki net kayıplar, arka plakadan ve absorber panelden ışınım ve taşınım ile ısı transferi sebebiyle gerçekleşmektedir.

$$m_{abp} \times c_{p,abp} \times (dT_{abp}/dt) = (\alpha_{abp} \times I_T \times A_{abp}) - (Q_{tas.abp-h} + Q_{ısı.abp-ap} + Q_{ısı.abp-cev}) \quad (4)$$

$Q_{tas.abp-h}$ terimi, absorber panelden havaya (absorber ön yüzeyinden, delik ve arka plakadan toplayıcı iç ortam havasına yapılan ısı transferini içeren) ısı kazancını ifade etmektedir. $Q_{ısı.abp-ap}$, absorber panelden arka plakaya olan ışınım ile ısı transferini ifade etmektedir. $Q_{ısı.abp-cev}$, absorber yüzeyden çevreye olan ışınım ile ısı kaybıdır. m_{abp}

absorber panelin kütlesi, $c_{p,abp}$ absorber panelin özgül ısınma ısısı, T_{abp} absorber panel sıcaklığıdır.

3.2. Güneş Duvarı Boşluk Havası

$$(\dot{m}_h \times dt) \times c_{p,h} \times (dT_h/dt) = (Q_{tas.abp-h} - Q_{tas.h-ap}) \quad (5)$$

Denklem 8'deki $Q_{tas.h-ap}$, toplayıcı içindeki hava akımı ile arka plaka arasındaki ısı transferi ifadesidir. m_h toplayıcı iç ortam havasının debisi, $c_{p,h}$ havanın özgül ısınma ısısı, T_h toplayıcı iç ortam havası sıcaklığıdır.

3.3. Arka Plaka

$$m_{ap} \times c_{p,ap} \times (dT_{ap}/dt) = (Q_{tas.h-ap} + Q_{ısı.abp-ap} - Q_{tas.ap-oda} - Q_{ısı.ap-oda}) \quad (6)$$

$Q_{tas.ap-oda}$, arka plakadan mahal iç ortamına taşınım ile gerçekleşen ısı transferini ifade etmektedir. $Q_{ısı.ap-oda}$, arka plakadan mahal iç ortamına ışınım ile transfer edilen ısıdır. m_{ap} arka plakanın kütlesi, $c_{p,ap}$ arka plakanın özgül ısınma ısısı, T_{ap} arka plaka sıcaklığıdır.

Enerji denklemlerine ilişkin genel ısı transferi korelasyonları ilgili literatürde mevcuttur ve [5, 6, 9, 26, 41, 42, 43, 44] nolu kaynaklarda ayrıntılı şekilde verilmektedir.

4. TÜRKİYE'DEKİ HAVA SIZDIRMALI GÜNEŞ DUVARI UYGULAMALARI

Hava sızdırmalı güneş duvarı sistemleri son dönemde Türkiye enerji pazarında satışa sunulmuştur. O tarihten bu yana çeşitli endüstriyel, ticari binalar ve konutlar için çok sayıda uygulaması yapılmıştır. Türkiye'de ilk güneş duvarı uygulaması, Kocaeli-Çayırova bir otomotiv üretim tesisinde 2012 yılında yapılmıştır. İlk uygulamadan bu yana geçen zaman zarfında endüstriyel uygulamaların yaygınlık kazandığı gözlemlenmektedir. Çizelge 1'de Türkiye'de hava sızdırmalı güneş duvarı kurulumunun yapıldığı başlıca endüstriyel binalar ve sistem özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 1. Türkiye’de endüstriyel tesislere uygulaması yapılan hava sızdırmalı güneş duvarı sistemleri

#	Konum	Alan [m ²]	Yön [-]	Renk [-]	Hava Debisi [m ³ /h]	Bina tipi
1	Çayırova	770	G	Antrasit	63 720	Otomotiv endüstrisi
2	Çayırova	800	GB	Antrasit	84 000	Otomotiv endüstrisi
3	Gebze	200	G	Siyah	30 000	Kontrol sistemi üretimi
4	Dilovası	1040	GD ve GB	Gri	108 000	Elektronik ürün üretimi
5	Hendek	100	G	Siyah	7 500	Otomotiv endüstrisi
6	Bursa	310	G	Siyah	35 000	Otomotiv endüstrisi
7	Gebze	100	GD	Mavi	15 000	Kimya endüstrisi
8	İstanbul	400	G	Siyah	37 500	Silah üretimi
9	Dilovası	400	G	Siyah	70 000	Kimya endüstrisi
10	Dilovası	100	G	Kahverengi	7 500	Kimya endüstrisi
11	Çerkezköy	2100	GD ve GB	Siyah	252 000	Makine elemanları üretimi
12	Ankara	360	G	Siyah	40 000	Havacılık endüstrisi

5. TÜRKİYE’DEKİ İLK HAVA SIZDIRMALI GÜNEŞ DUVARI UYGULAMASI

5.1. Bina Özellikleri

Gebze TOSB sanayi bölgesinde yer alan tesis, iki katlı imalat atölyesi, ofis binası, bir depo, bir yardımcı servis binası, binanın batı ve güney sınırlarını çevreleyen açık otoparktan oluşmaktadır. Proje, iki katlı, toplam 12.275 m² alana sahip fabrikanın ısıtma-havalandırma sistemine destek olacak şekilde tasarlanmıştır. Güneş duvarı sistemi, havalandırma havası ısıtması, hava dengesinin sağlanması ve konfor koşullarının iyileştirilmesi, ısı kayıplarının geri kazanımı, yardımcı ısıtma sisteminin yakıt tüketimini azaltılması için tasarlanmıştır.



(a)

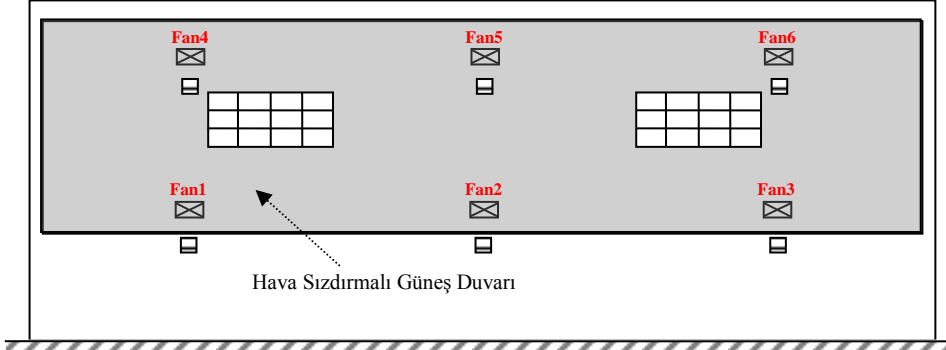
5.2. Hava Sızdırmalı Güneş Duvarı Özellikleri

Hava sızdırmalı güneş duvarı tesis binasının güney cephesinde 770 m² alan büyüklüğünde monte edilmiştir. Bir katta üç adet olmak üzere güneş duvarı sisteminde altı adet tamamlayıcı ısıtma ve havalandırma santrali yer almaktadır. Her santral 2,95 m³/s debi ile taze hava sağlamak ve fan kanalında güneş ışınımı yetersiz olduğu zamanlarda kullanılmak üzere yardımcı ısıtma sistemi bulundurmaktadır (Çizelge 2). Şekil 4’te otomotiv üretim tesisi güneş duvarı ve güneş duvarına bağlı çalışan tamamlayıcı santral ünitesi görülmektedir. Şekil 5’te güneş duvarı planının ön görünüşü ve Şekil 6’da hava sızdırmalı güneş duvarı sisteminin ölçüm noktalarının şematik resmi yer almaktadır.

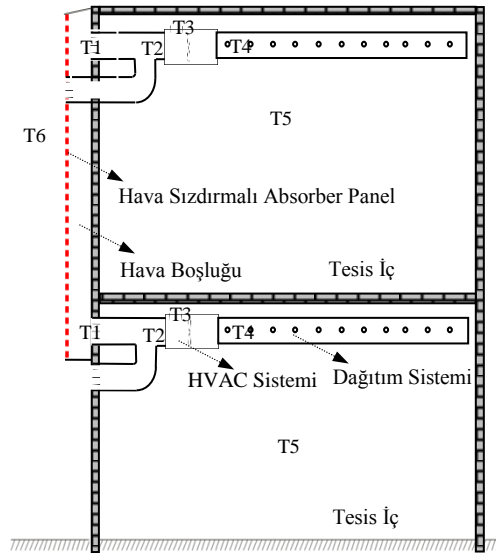


(b)

Şekil 4. Otomotiv üretim tesisi güneş duvarı sistemi (a) Güneş duvarı (b) Güneş duvarı hava kontrol ünitesi



Şekil 5. Güneş duvarının ön görünüşü şeması



Şekil 6. Otomotiv üretim tesisi hava sızdırmalı güneş duvarı ölçüm noktalarının şematik resmi

Çizelge 2. Sistem sıcaklık ölçüm noktaları

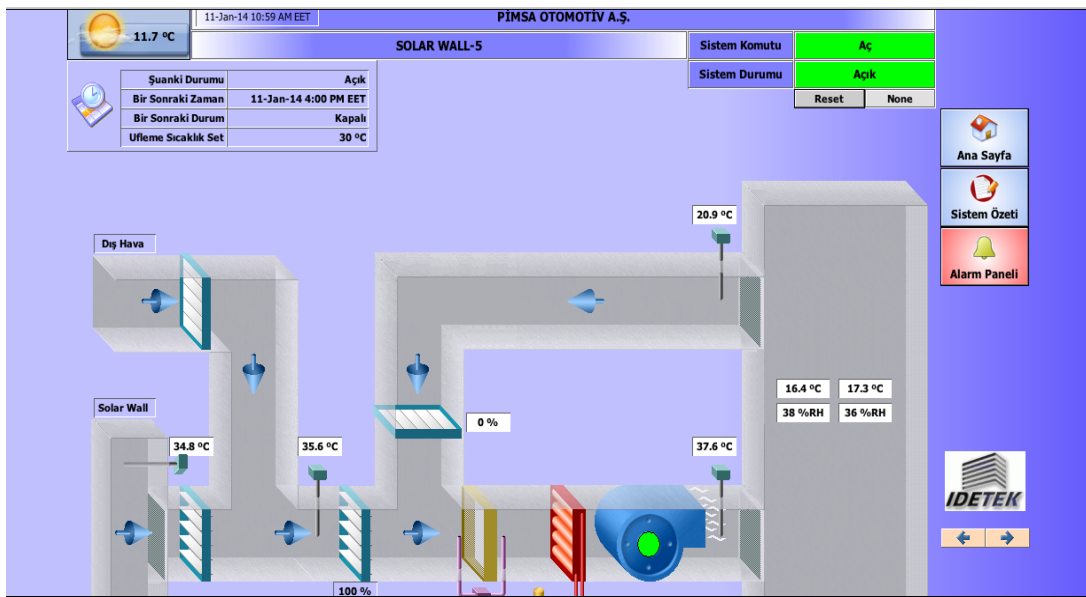
Ölçüm yeri	
T1	Güneş duvarı boşluk havası sıcaklığı
T2	Güneş duvarı çıkışı hava sıcaklığı
T3	Bina iç ortam sirkülasyon havası sıcaklığı
T4	Hava dağıtım kanalı sıcaklığı
T5	Bina iç ortam sıcaklığı
T6	Dış ortam sıcaklığı

5.3. Ölçüm ve İzleme

Otomotiv üretim tesisi, bina yönetim sistemi olarak adlandırılan bilgisayar kontrollü bina otomasyon sistemi kullanılmaktadır. Bina yönetim sistemi, binalarda yaşanan ve çalışılan iç ortamların gereksinimlerini karşılayan, ısıtma, havalandırma, soğutma, enerji ve su dağıtımını, aydınlatma ve güvenlik sistemlerinin işletimini sağlayan, bilgisayar kontrollü otomasyon sistemidir. Bu sistem, bina işletimini kusursuz olarak gerçekleştirerek optimum işletim sağlamaktadır. Binadaki tesisat ve sistemlere yerleştirilen sensörler, vana ve damper motorları,

açma kapama ekipmanları ve kontrol panelinden alınan bilgiler, yazılımın öngördüğü gibi değerlendirilmekte ve sistemin kontrolü yapılmaktadır. Sonuçlar internet aracılığı ile anında kullanıcıya iletilmektedir. Bina yönetim sistemi, operatörün ayarladığı parametrelere göre uzun veya kısa dönem verilerini hafızaya kaydederek sistem performansını değerlendirebilmektedir. Tesiste ofis binasının beş katına yerleştirilmiş otuz dokuz sıcaklık sensörü,

güneş duvarı sisteminde kullanılan yirmi dört sıcaklık sensörü, imalat bölümündeki iç ortam sıcaklığını ölçen iki sensör, dış ortam hava sıcaklığını ölçen iki sensör ve güneş duvarının hava aktarım kanallarında yer alan yirmi dört damper bina yönetim sistemi kontrolündedir. Şekil 7’de, güneş duvarının performans ölçümünü için kullanılan altı fandan biri olan 5 nolu fana ait bina yönetim sistemi verileri görülmektedir.



Şekil 7. 5 nolu fan sistemine ait güneş duvarı bina yönetim sistemi verileri

6. RETSCREEN ANALİZİ

Retscreen Temiz Enerji Proje Analiz Yazılımı, ilk olarak Kanada Hükümeti CANMET Enerji Araştırma Laboratuvarı tarafından sunulmuş, sanayiden ve akademik çevrelerden sayısız uzmanın katkısıyla geliştirilen bir enerji üretim sistemleri analiz programıdır. Ücretsiz elde edilebilen bu yazılım çeşitli konvansiyonel ve yenilenebilir enerji biçimlerinin üretim miktarlarını, çevreye etkilerini, teknik ve ekonomik uygulanabilirliklerini değerlendirmek üzere kullanılmaktadır [43]. Retscreen Microsoft Excel programı altyapısını kullanarak çalışmaktadır. Proje tipi olarak enerji verimliliği önlemleri, elektrik, ısıtma, soğutma, kombine

ısıtma ve güç, kombine soğutma ve güç, kombine ısıtma ve soğutma alanlarında analiz imkanı sunmaktadır. Teknoloji türü olarak, güneş enerjili hava ısıtma, güneş enerjili su ısıtma, ısı pompası, güneş ısı enerjisi, jeotermal enerji, rüzgar türbini, hidroelektrik santral, su türbini, yakıt hücresi, pistonlu motorlar, fotovoltaik sistemler üzerine proje analizi yapılabilmektedir. Program, güneş duvarı analizi ve boyutlandırmasında tercih edilen bir yazılımdır. Retscreen ile enerji modeli oluşturma, maliyet analizi, emisyon analizi ve ekonomik analiz yapılabilmektedir. Retscreen iklim veri bankasında enlem, boylam, rakım değerleri, aylara göre hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu, atmosferik basınç, rüzgar hızı, yer sıcaklığı, ısıtma ve soğutma ihtiyaçları değerleri görülebilmektedir.

Türkiye’de uygulaması yapılan ilk hava sızdırmalı güneş duvarının enerji tasarrufu, Retscreen analiz programı kullanılarak hesaplanmıştır. Retscreen simülasyon sonuçlarına göre iki yıllık zaman dilimindeki kış döneminde sistemden, 2013 yılında 95,165 kWh ısı enerjisi, 2014 yılında 138,337 kWh ısı enerjisi üretilmiştir. Retscreen simülasyon sonuçları, 2013-2014 döneminde bina yönetim sisteminden alınan gerçek ölçüm verileri ile doğrulanmaktadır. Retscreen analizine göre, otomotiv üretim tesisi hava sızdırmalı güneş duvarı sera gazı emisyonlarını yılda 193,64 ton CO₂ azaltmaktadır (Çizelge 3-5).

Çizelge 3. Tasarım parametreleri

Parametre	Değer
İç mekan set sıcaklığı	20°C
Hava sıcaklığı-maksimum	45°C
Güneş duvarı alanı	770 m ²
Güneş duvarı boşluk derinliği	0,35 m
Hava debisi	63.720 m ³ /h
Güneş duvarı absorpsiyonu	0,92
Azimut	0,0
Eğim	90° duvar
Bina taban alanı	9.720 m ²
R-değeri-çatı	2,0 m ² .°C/W
R-değeri-duvar	1,5 m ² .°C/W
İklim verisi yeri	Çayırova
Çalışma saati/günü	7/24

Çizelge 4. Ortalama aylık güneş ışıını

Ay	Ortalama aylık güneş ışıını-yatay kWh/m ² /ay	Ortalama aylık güneş ışıını- 90° kWh/m ² /ay
Ocak	2,402	4,658
Şubat	2,482	3,088
Mart	2,757	2,237
Nisan	2,845	1,722
Mayıs	2,781	1,671
Haziran	2,637	1,638
Temmuz	3,018	1,677
Ağustos	3,274	1,834
Eylül	3,311	2,408
Ekim	2,898	3,191
Kasım	2,702	4,894
Aralık	2,437	5,531
Yıllık	2,402	4,658

Çizelge 5. Retscreen simülasyon özeti

	Ortalama Değer	Birim
Güneş enerjisi ile ısıtma	Ocak	70,617 kWh
	Şubat	43,127 kWh
	Mart	33,242 kWh
	Nisan	27,446 kWh
Yıllık net sera gazı emisyonu azalması	193,64	tCO ₂

7. HAVA SIZDIRMALI GÜNEŞ DUVARI PERFORMANSI

Çayırova’daki otomotiv üretim tesisine kurulumu yapılan hava sızdırmalı güneş duvarında, iki yıllık bir süre zarfında mahal ısıtması yapılan kış dönemlerde üçer aylık periyodlarla ölçüm yapılmıştır. Sonuçlar, güneş duvarının çalıştığı Şubat-Nisan 2013 ve Ocak-Mart 2014 dönemlerine ait ölçüm verileri kullanılarak elde edilmiştir. Bina yönetim sisteminin ölçtüğü veriler ile güneş duvarından sağlanan enerji ve bina iç ortamına gönderilen enerji hesaplanmıştır.

Çizelge 6’da kWh cinsinden güneş duvarının sağladığı ısı enerjisi değerleri görülmektedir. Sonuçlar, Retscreen simülasyon sonuçları ile uyumludur. Otomotiv üretim tesisine kurulumu yapılan güneş duvarı izleme yapılan kış döneminde, 2013 yılında 113.037 kWh enerji, 2014 yılındaki 246.924 kWh ısı enerjisi üretmiştir. 2013 ve 2014 yıllarında üretilen enerji arasındaki fark güneş duvarının toplam çalışma saatlerinin farkından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 6. Hava sızdırmalı güneş duvarının sağladığı enerji

Ay	Güneş duvarı enerji üretimi, 2013, kWh	Güneş duvarı enerji üretimi, 2014, kWh
Ocak	-	105,741
Şubat	30,918	83,117
Mart	36,861	58,066
Nisan	45,258	-

Çizelge 7’de tesise kurulumu yapılan güneş duvarından elde edilen aylık ortalama enerji tasarrufunun, bağıl tasarrufun, aylık ortalama ısıtma ihtiyacının ve aylık çalışma saatlerinin aylara göre değişimi yer almaktadır. Sistemden

%62 tasarruf elde edilmiştir. Ayrıca sistem, gece saatlerinde ve güneş ışınımının olmadığı saatlerde de duvardan ısı geri kazanımı ile ön ısıtma yaparak tasarruf yapmaktadır.

Çizelge 7. Tesisteki aylık ortalama enerji tasarrufu ve ısıtma ihtiyacı

Tarih	Aylık çalışma saati (saat)	Aylık Ortalama Isıtma İhtiyacı (kWh)	Aylık Ortalama Enerji Tasarrufu (kWh)	Bağlı Tasarruf (%)
Aralık 2012	5,58	73.331,39	40.064,27	54,63%
Şubat 2013	5,25	54.745,89	30.918,52	56,48%
Mart 2013	7,21	68.835,79	36.861,74	53,55%
Nisan 2013	8,07	73.264,58	45.258,05	61,77%
Aralık 2013	16,37	253.484,73	105.403,83	41,58%
Ocak 2014	19,49	229.873,61	105.741,72	46,00%
Şubat 2014	18,59	211.781,12	83.117,42	39,25%
Mart 2014	20,49	171.273,54	58.066,02	33,90%

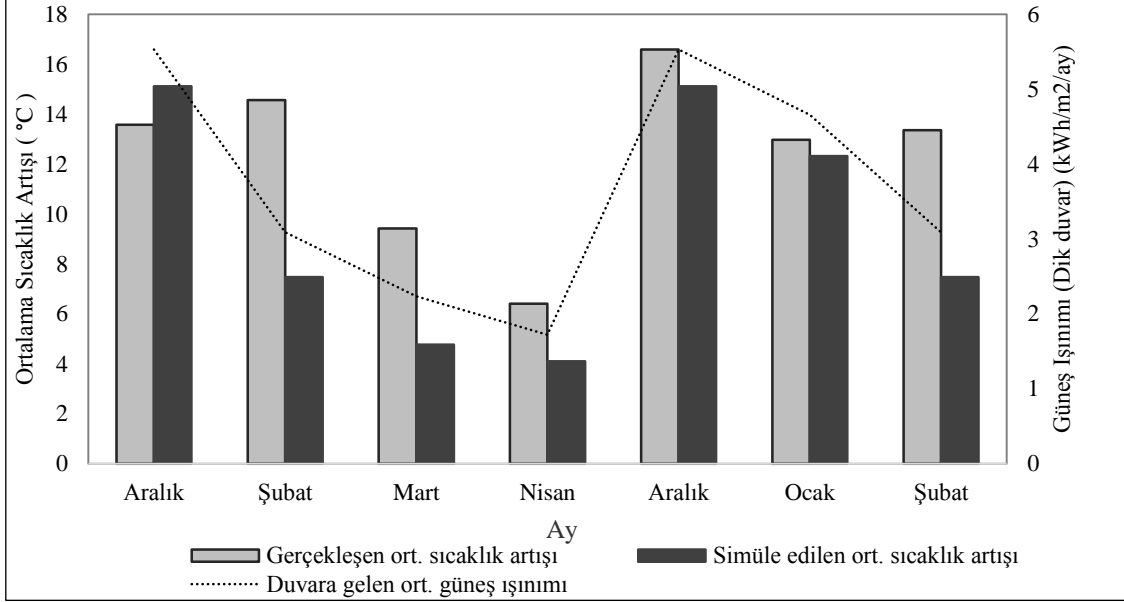
Şekil 8-12, güneş duvarının performansını göstermektedir. Aşağıdaki şekillerde hava sızdırmalı güneş duvarının kış aylarında etkin ısıtma sağladığı ve performansının yüksek olduğu görülmektedir. Güneşli günlerde sıcaklık artışının 45°C'ye ulaştığı ve %100 ısıtma tasarrufu sağladığı ölçülmüştür. Şekil 8'de, Retscreen simülasyon sonuçlarından elde edilen ve hava sızdırmalı güneş duvarından ölçülen ortalama sıcaklık farkı değerlerinin arasında farklılıklar görülmektedir. Retscreen ortalama ışınım değerlerine göre hesaplama yaptığı için simülasyon değerleri, güneş duvarından ölçülen sıcaklık farkı değerlerinden daha düşüktür. Tesisteki hava sızdırmalı güneş duvarından ölçülen sıcaklık farkı ise sistemin çalışma saatlerindeki güneş ışınımıyla, dolayısıyla hava açıklık oranıyla ilgilidir. Bu farklılık ölçüm yapılan saatlerdeki güneş ışınım şiddetinin, günlük ortalama ışınım şiddetinden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Güneş duvarı havanın açık olduğu zamanlar çalıştırıldığı için elde edilen sıcaklık artışı daha yüksektir.

Sıcaklık artışı, güneş duvarı absorber plakasına gelen güneş ışınımı ve dış ortam hava sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Isıtmasının yapıldığı kış aylarında dik duvara gelen ışınım, diğer aylara göre daha yüksek değerdedir. Dolayısıyla Aralık ayından Nisan ayına doğru ilerleyen günlerde dik duvara gelen günlük ortalama güneş ışınımında ve hava sızdırmalı güneş duvarındaki sıcaklık farkında azalma görülmektedir.

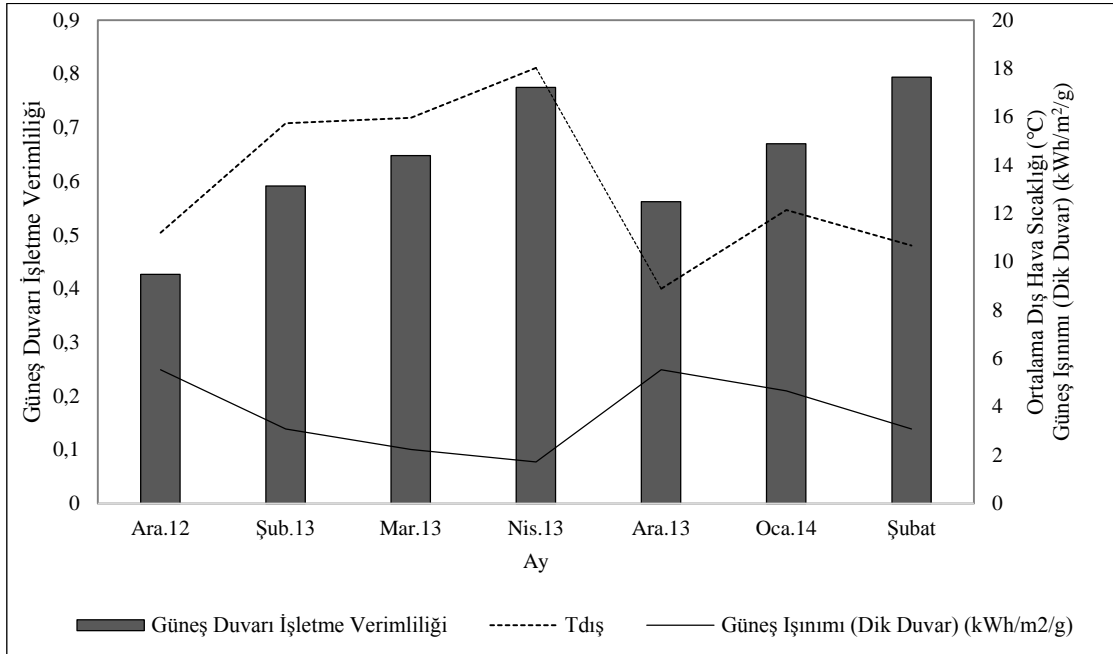
Şekil 11'de görüldüğü gibi güneş duvarı, kış ayları boyunca çok verimli bir ısıtma sağlamaktadır. Güneşli günlerde 16°C-45°C aralığında sıcaklık artışına ulaşılmaktadır. Şekil 10'da, dış hava sıcaklığı 3°C değerindeyken mahal iç ortamına 45°C'de taze hava transferi yapılabilmektedir. Sistem, yılda 500-700 kWh/m²'lik ısı üretimini sağlamaktadır.

Hava sızdırmalı güneş duvarı verimi %60 - 80'dir. Isıtma ve havalandırma işlemleri için enerji tüketimini ortalama %40 oranında azaltmaktadır.

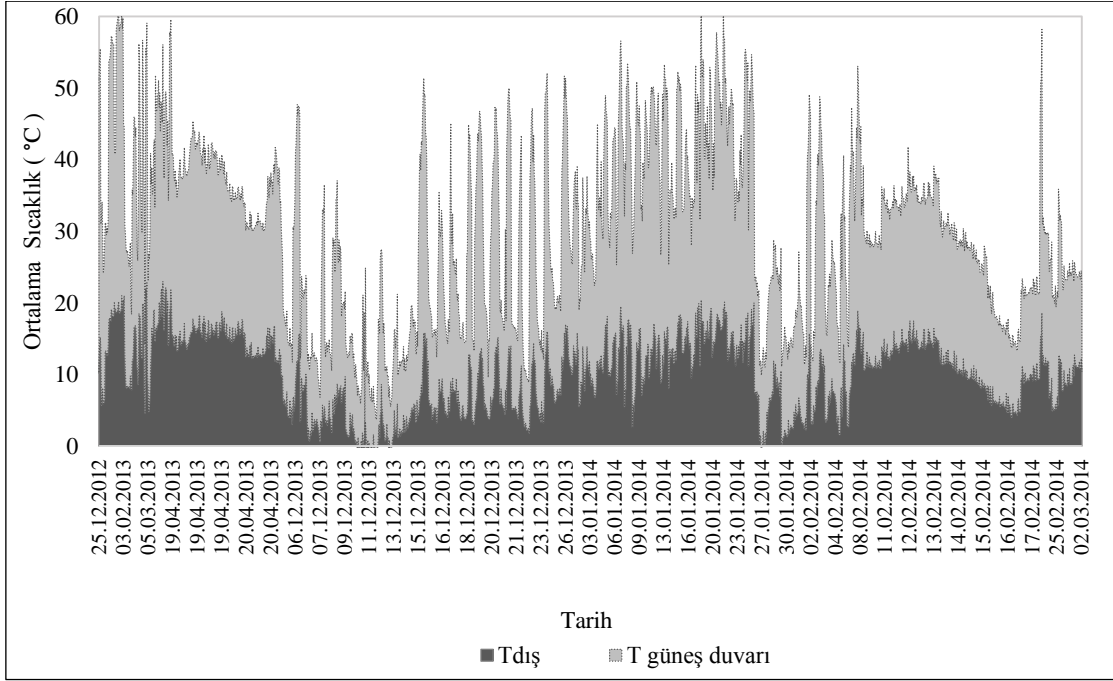
En önemli özelliklerinden biri, ısıtma yaparken havalandırma işlemleri bir arada yapılmaktadır. taze hava kullanılmasıdır. Böylece ısıtma ve



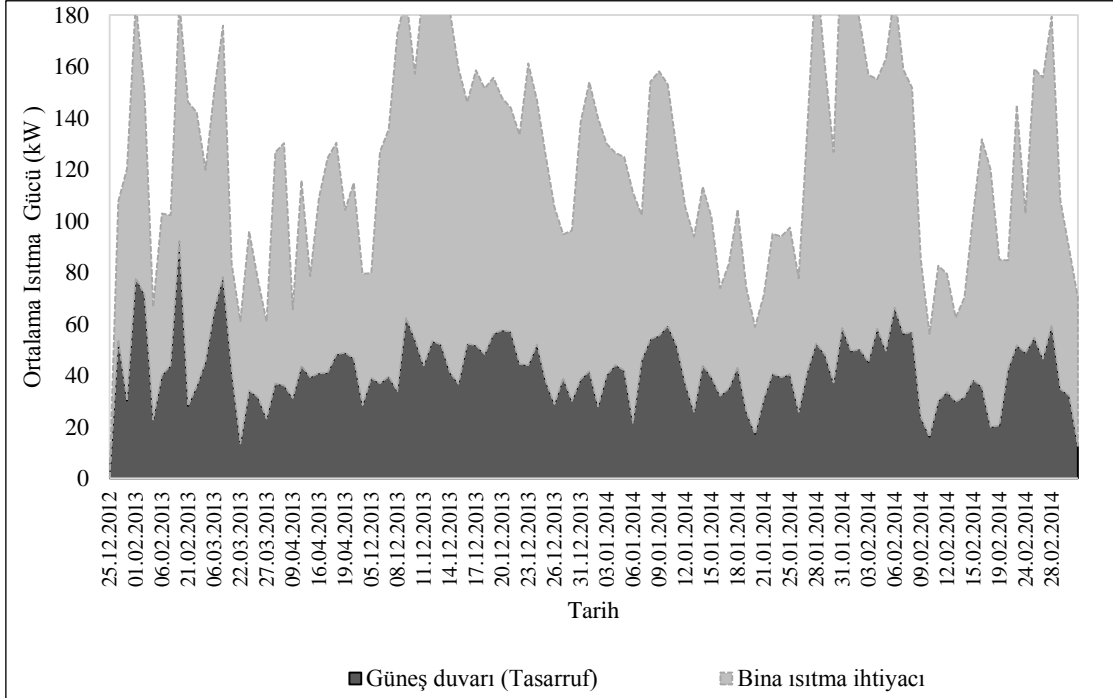
Şekil 8. Tesis verileri ve Retscreen analizi ile elde edilen güneş duvarı ortalama sıcaklık artışının dik yüzeye gelen güneş ışınımı ile değişimi



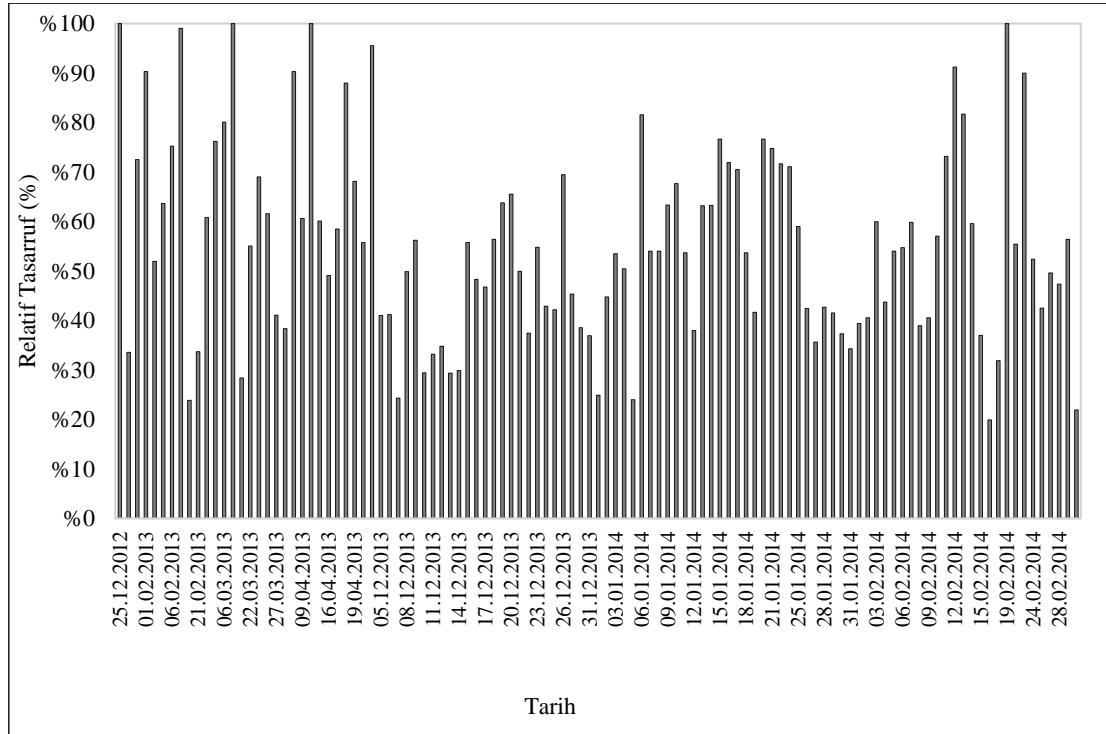
Şekil 9. Deney yapılan süreçte, güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı ve güneş duvarı işletme verimliliği değişimi



Şekil 10. Güneş duvarı ortalama çıkış sıcaklığının ve dış hava sıcaklığının zamanla değişimi



Şekil 11. Otomotiv üretim tesisi güneş duvarı ile tasarruf edilen ortalama ısıtma gücünün ve bina ısıtma ihtiyacının zamanla değişimi



Şekil 12. Otomotiv üretim tesisi güneş duvarı ile sağlanan günlük relatif tasarrufun zamanla değişimi

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, hava sızdırmalı güneş duvarı sisteminin Türkiye iklim koşullarında endüstriyel binalardaki uygulamasının uygulanabilirliği incelenmiş ve deneysel olarak performans analizi yapılmıştır. Bu kapsamda, Çayırova'da otomotiv üretim tesisine kurulumu yapılan sistem verileri iki yıllık bir dönem boyunca incelenmiş ve sistemin ısıtma kapasitesi, etkinliği belirlenmiştir. Bu çalışmadaki, güneş duvarı ile elde edilecek etkinlik değeri % 75-80'e yakın değerlerdedir. Sistemde ısıtma yaparken taze havanın kullanılmasıyla, ısıtma ve havalandırma işlemleri bir arada yapılarak enerji tüketimini azaltılmaktadır. Hava sızdırmalı güneş duvarı sıcak hava üretimi ve yüksek düzeyde yalıtım sağlamaktadır. Güneş enerjisi olmadığı zamanlarda da enerji korunumuna devam etmektedir. Sistem aynı zamanda yaz aylarında, gündüz pasif, gece ise aktif soğutma ile tasarruf sağlamaktadır. Sistem hem ısıtma hem de enerji tasarrufu yapmakta ve

enerji maliyetini azaltmaktadır. Bütün özellikleriyle hava sızdırmalı güneş duvarı, çevresel sorunları önleyebilecek, enerji tüketimini azaltıp tasarruf sağlayacak olan güneş enerjisi ile hava ısıtma sistemi olarak ön plana çıkmaktadır. Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyeli diğer enerji türlerine kıyasla çok daha yüksek olmasına rağmen, güneş toplayıcıları ağırlıklı olarak müstakil evlerde su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Hava sızdırmalı güneş duvarı, tüm dünyada sıcak hava üretimi için yaygın olarak kullanılmasına rağmen, Türkiye'de nispeten bilinmeyen ve az uygulaması olan bir teknolojidir. Bu çalışma, hava sızdırmalı güneş duvarının Türkiye'de başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir.

9. KAYNAKLAR

1. Mauthner, F., Weiss, W., Spörk-Dür, M., 2016. SHC International Energy Agency, Solar Heat Worldwide-Markets and Contribution to the

- Energy Supply 2014, IEA Solar Heating & Cooling Programme.
2. Balcomb, J. D., 1992, *Passive Solar Buildings*, MIT Press.
 3. Hordeski, M. F., 2002, *New Technologies for Energy Efficiency*, The Fairmont Press, Marcel Dekker, New York and Basel, ISBN 0-88173-369-5.
 4. Hollick, J.C., 2003. *Unglazed Solar Wall Air Heaters*, Conservall Engineering Inc., 200 Wildcat Rd. Downsview, Ontario M3J 2N5, Canada,
 5. Kutscher, C.F., 1993. *An Investigation of Heat Transfer for Air Flow Through Low Porosity Perforated Plates*, University of Colorado, Boulder, s.289.
 6. Kutscher, C.F., Christensen, C., Barker, G. 1993. *Unglazed Transpired Solar Collectors: Heat Loss Theory*. ASME Journal of Solar Engineering, Cilt. 115, s. 182–188.
 7. Cao, S., Hollands, K.G.T., Brundrett, E., 1993. *Heat Exchange effectiveness of unglazed transpired-plate solar collector in 2D flow*. In: *Proceedings of ISES Solar World Congress 1993, Budapest, Hungary, Vol. 5*, pp. 351–366.
 8. Pesaran, A.A., Wipke, K., 1994. *Use of unglazed transpired solar collectors for desiccant cooling*. Solar Energy Journal 52 (5); 419-427.
 9. Kutscher, C.F., 1994. *Heat Exchanger Effectiveness and Pressure Drop for Airflow Through Perforated Plates, With and Without Cross Wind*. ASME Journal of Heat Transfer 116, 391–399.
 10. Van Decker, G.W.E., Hollands, K.G.T., Brunger, A.P., 1996. *Heat Exchange Effectiveness of Unglazed Transpired-plate Solar Collector in 3D Flow*. In: *Goietzburger, A., Luther, J. (Eds.), Proceedings of Euro Sun 96, Freiburg, Germany. DGS–Sonnenenergie Verlags GmbH, Munchen, Germany*, pp.130–846.
 11. Van Decker, G.W.E., Hollands, K.G.T., 1999. *An Empirical Heat Transfer Equation for the Transpired Solar Collectors, Including no-wind Conditions*. In: *Proceedings of the ISES 99 Solar World Congress, Australia*.
 12. Van Decker, G.W.E., Hollands, K.G.T., Brunger, A.P., 2001. *Heat Exchange Relations for Unglazed Transpired Solar Collectors With Circular Holes on a Square or Triangular Pitch*. Solar Energy 71 (1), 33–45.
 13. Campbell-Howe, R., 1996. *Thermal Simulation and Economic Assessment of Unglazed Transpired Collector Systems*, The 1996 American Solar Energy Society Annual Conference, Asheville, North Carolina, April 13-18.
 14. Dymond, C., Kutscher, C., 1997. *Development of a Flow Distribution and Design Model for Transpired Solar Collectors*. Solar Energy, 60 (5); 291-300.
 15. Dymond, C., Kutscher, C.F., 1997. *Development of a Flow Distribution and Design Model for Transpired Solar Collectors*. Solar Energy, 60(5):291–300.
 16. Christensen, C., 1998. *Transpired Collectors (Solar Preheaters for Outdoor Ventilation Air)*, In: *Program FEM*.
 17. Arulanandam, S.J., Hollands, K.G.T., Brundrett, E., 1999. *A CFD Heat Transfer Analysis of the Transpired Solar Collector under No-wind Conditions*. Solar Energy 67 (1–3), 93–100.
 18. Gunnewiek, L.H, Brundrett, E., Hollands, KGT., 1996. *Flow Distribution in Unglazed Transpired Plate Solar Air Heaters of Large Area*. Solar Energy, 58; 227-37.
 19. Gunnewiek, L.H., Hollands, K.G.T., Brundrett, E., 2002. *Effect of Wind on Flow Distribution in Unglazed Transpired-plate Collectors*. Solar Energy, Cilt:72, s.317-25.
 20. Maurer, C.C., 2004. *Field Study and Modeling of an Unglazed Transpired Solar Collector System*, Yüksek Lisans Tezi, Mechanical and Aerospace Engineering, North Carolina State University.
 21. Gawlik, K., Christensen, C., Kutscher, C., 2005. *A Numerical and Experimental Investigation of Low-conductivity Unglazed, Transpired Solar Air Heaters*. Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME.; Cilt. 127: s.153-5.
 22. Naveed, A.T., Kang, E.C., Lee, E.J., 2006. *Effect of Unglazed Transpired Collector on the Performance of a Polycrystalline Silicon Photovoltaic Module*, Journal of Solar Energy Engineering, 128, pp. 349–353.

23. Guan, W., Wang, Z.H., 2006. Numerical Simulation Study on Transpired Solar Air Collector, Renewable Energy Resources and Greener Future, ICEBO2006, Shenzhen, China.
24. Frank, E., Budig, C., Vajen, K., 2006. Experimental and Theoretical Investigation of Unglazed Transpired Air Collectors in a Multicomponent Solar Thermal System, Proc. Eurosun 2006, Glasgow (UK), 27.-29.6.06.
25. Augustus Leon, M., Kumar, S., 2007. Mathematical Modeling and Thermal Performance Analysis of Unglazed Transpired Solar Collectors, Solar Energy, 81, 62-75.
26. Augustus Leon, M., Kumar, S., 2007. Mathematical Modeling and Thermal Performance Analysis of Unglazed Transpired Solar Collectors. Augustus. Solar Energy (0038-092X)1/1/. Cilt. 81, Iss.1; s.62-75.
27. Lixin, G., Hua., B., 2009. Study on the Application Potential of Solar wall System in Northern China. Power and Energy Engineering Conference, APPEEC 2009. Asia-Pacific (978-1-4244-2486-3), s.4-4.
28. Motahar, S., Alemrajabi, A.A., 2010. An Analysis of Unglazed Transpired Solar Collectors Based on Exergetic Performance Criteria, International Journal of Thermodynamics. Cilt: 13, s. 153-60.
29. Li, S., Karava, P., 2014. Energy Modeling of Photovoltaic Thermal Systems With Corrugated Unglazed Transpired Solar Collectors–Part 2: Performance Analysis, Solar Energy, Cilt. 102, s. 297–307.
30. Li, S., Karava, P., Currie, S., Lin, W. E., Savory, E., 2014. Energy Modeling of Photovoltaic Thermal Systems With Corrugated Unglazed Transpired Solar Collectors–Part 1: Model development and validation, Solar Energy, Cilt. 102, s. 282–296.
31. Vasan, N., Stathopoulos, T., 2014, Experimental study of Wind Effects on Unglazed Transpired Collectors, Solar Energy, Cilt. 101, s. 138–149.
32. Chan, H.Y., Zhu, J., Riffat, S., 2013. Heat Transfer Analysis of the Transpired Solar Facade, Energy Procedia, Cilt 42, s. 123–132.
33. Brown, C., Perisoglou, E., Halla, R., Stevenson, V., 2014. Transpired Solar Collector Installations in Wales and England, Energy Procedia, Cilt. 48, s.18–27.
34. Zheng, W., Li, B., Zhang, H., You, S., Li, Y., Ye, T., 2016. Thermal Characteristics of a Glazed Transpired Solar Collector With Perforating Corrugated Plate in Cold Regions, Energy, Cilt. 109, s. 781-790.
35. Gao, L., Bai, H., Mao, S., 2014. Potential Application of Glazed Transpired Collectors to Space Heating in Cold Climates. Energy Conservation and Management, Cilt. 77, s. 690-699.
36. Augustus Leon, M., Kumar, S., 2007. Mathematical Modelling and Thermal Performance Analysis of Unglazed Transpired Solar Collectors. Solar Energy, Cilt:81, s.62-75.
37. Kozubal, E., Deru, M., Slayzak, S., Norton, P., Barker, G., McClendon, J., 2008. Evaluating the Performance and Economics of Transpired Solar Collectors for Commercial Applications. Proceedings of 2008ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA, USA.
38. Hall, R., Blower, J., 2016. Low-emissivity Transpired Solar Collectors, Energy Procedia, Cilt. 91, s. 56–63.
39. Eryener, D., 2009. Metal Cladding System with a Heat Exchanger System, Turkish Patent Institute.
40. www.solarwall.com
41. Kramer, K.S., 2013. IEA-SHC TASK 43: Solar Rating and Certification Procedures, Solar Heating & Cooling Programme International Energy Agency.
42. Summers David, N., 1996. Thermal Simulation and Economic Assessment of Unglazed Transpired Collector System. Wisconsin Energy Bureau, University of Wisconsin, USA,
43. Cengel, Y.A., Turner, R.H., 2001, Fundamentals of thermal-fluid sciences, McGraw-Hill, Boston, 609.
44. Martin, M., Berdahl, P., 1984. Characteristics of infrared sky radiation in the United States,