



Pasif Güneş Enerjili Havalandırma Yöntemi Olarak Güneş Bacasının Binalarda Kullanımının Örnekler Üzerinden İrdelenmesi

Okay GÖNÜLOL^{1*}, Müjde ALTIN², Koray ÜLGEN³

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Doktora Programı, 35390, İzmir

²Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 35390, İzmir

³Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Enerji Teknolojisi Anabilim Dalı, 35100, İzmir

¹<https://orcid.org/0000-0002-3838-1844>

²<https://orcid.org/0000-0001-6948-9463>

³<https://orcid.org/0000-0002-9560-1727>

*Sorumlu yazar: okay.gonulol@gmail.com

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 11.04.2023

Kabul tarihi: 19.09.2023

Online Yayınlanma: 20.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Sürdürülebilir tasarım

Pasif güneş enerjili havalandırma

Güneş bacası

ÖZ

Basit ve pratik bir pasif güneş enerjili havalandırma ve soğutma sistemi olarak güneş bacaları; işletme maliyetinin azlığı, enerji gereksiniminin sifıra yakın oluşu ve karbondioksit emisyonuna olumlu katkısı nedeniyle hem ticari binalarda hem de konutlarda ısı yükünü azaltmak, doğal serinletme, havalandırma veya ısıtma sağlamak adına büyük ilgi görmektedir. Bu çalışmada pasif güneş enerjili sistemler ile ilgili kısa bir bilgi verildikten sonra pasif havalandırma ve mekân ısıtmasında kullanılan güneş bacalarının binalardaki kullanım yöntemlerine dair bilgiler verilmiş; çalışma prensibi, katmanları ve sınıflandırılması detaylı olarak anlatılmıştır. Son olarak pasif havalandırma ve serinletme amacıyla güneş bacası kullanımları üzerine yapılmış örnekler incelenerek değerlendirilmiştir.

Examination of the Use of Solar Chimney as a Passive Solar Energy Ventilation Method in Buildings through Case Studies

Review Article

Article History:

Received: 11.04.2023

Accepted: 19.09.2023

Published online: 20.12.2023

Keywords:

Sustainable design

Passive solar ventilation

Solar chimney

ABSTRACT

As a simple and practical passive solar ventilation and cooling system, solar chimneys attract intensive attention because of their low operating cost, near zero energy requirement and positive contribution to carbon dioxide emissions, ability to reduce heat load in both commercial buildings and residential and providing natural cooling, ventilation or heating. In this study, after giving a brief overview of passive solar systems, information about the use of solar chimneys used for passive ventilation and space heating in buildings is given and detailed information is given about the working principle of solar chimneys, their layers and classification. Finally, the examples studied on the use of solar chimneys for passive ventilation and cooling of the space were examined and discussed.

To Cite: Gönülol O., Altın M., Ülgen K. Pasif Güneş Enerjili Havalandırma Yöntemi Olarak Güneş Bacasının Binalarda Kullanımının Örnekler Üzerinden İrdelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(Ek Sayı): 624-644.

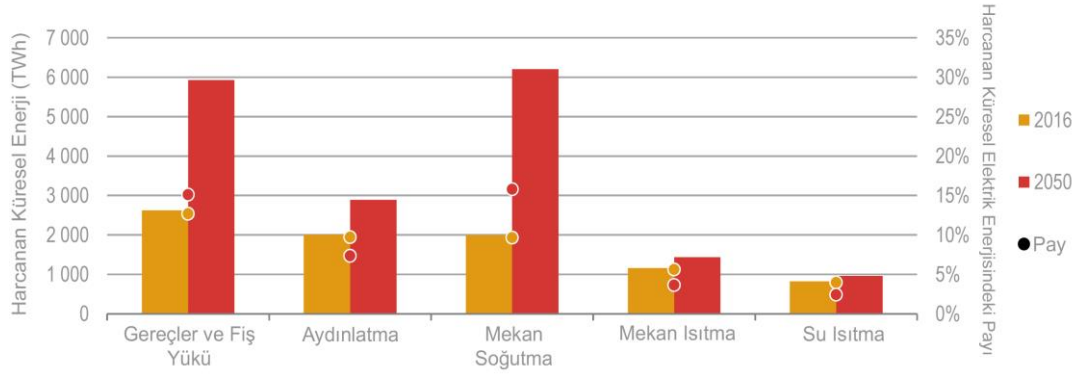
Giriş

Küresel iklim değişikliği; insan faaliyetlerinin sebep olduğu ve giderek artan sera gazı emisyonları sonucunda dünya çapında yükselen ortalama sıcaklık, deniz seviyesi yükselmesi, ekstrem hava

olayları ve biyoçeşitlilik kaybı gibi ciddi, geri dönüşü zor ya da imkânsız sonuçlara yol açmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için, dünya genelinde önemli çapta sera gazı emisyonu azaltımına gitmek gerekmektedir (Masson-Delmotte, 2021; World Health Organization, 2021; Pörtner, 2022). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, sera gazı emisyonlarının azaltılması ya da kontrol altına alınması ile ilgili pek çok yetki alanında çok az düzenleme yapılması veya hiç düzenleme yapılmaması ile bu sorun daha da artmaktadır (Bong ve ark., 2017; United Nations Environment Programme, 2022). Dünya nüfusunun artması ve yeni teknolojilerin hızla gelişmesi, enerji talebinin küresel çapta sürekli olarak artmasına neden olmaktadır. Fosil yakıtlar dünya çapında toplam enerji tüketiminin yaklaşık %82,4'ünü (%27 kömür, %31 petrol ve %24,4 doğal gaz) ve toplam elektrik üretiminin %61,4'ünü oluşturmaktadır (British Petroleum, 2022). Fosil yakıtların yakılması sonucu atmosfere salınan sera gazları; nitrojen ve kükürt oksitleri (NO_x ve SO_x) ile uçucu organik karbonlar gibi diğer kirleticilerin emisyonlarına yol açar. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, bu sorunların üstesinden gelinmesine yardımcı olabilir. Bu bağlamda güneş enerjisi yaygın olarak kullanılan, bol ve kirlilik içermeyen ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Twidell, 2021).

İnsan sağlığı ve konfor ile olan doğrudan ilişkisinden dolayı havalandırma; binalarda en önemli ihtiyaçlardan biridir. Buradan hareketle, hemen hemen tüm binalarda doğal veya mekanik havalandırma sistemlerinin kullanıldığı söylenebilir. Binalar başta ısıtma, soğutma, elektrik tüketimi ve iklimlendirme (HVAC) sistemi olmak üzere dünyadaki toplam enerji kullanımının %40'ından sorumludur (Omer, 2008; Lotfabadi, 2015). Günümüzde yaşanan küresel ısınma ve içinde bulunduğumuz iklim değişikliği nedeni ile bu enerjinin neredeyse yarısından fazlası mekanların soğutulması için harcanmaktadır (Yeang, 2006). Mekanların soğutulması için harcanan küresel enerjinin, 2050 yılında, 2016 yılındaki değerinin üç katına yükselmesi (2020 TWh'den 6200 TWh'e çıkması) beklenmektedir (Şekil 1). Bununla birlikte 2050 yılında mekânın soğutulması için harcanacak enerjinin, global elektrik kullanımındaki payının %16'ya çıkacağı ve binalarda kullanılan enerji kalemlerinde en yüksek orana (Şekil 1) sahip olacağı öngörülmektedir (IEA, 2018). Tüm bu veriler ışığında fosil yakıtların kullanımını azaltmak için en iyi yollardan birinin alternatif enerji kaynaklarını ya da doğal yolları kullanarak dolaylı ve direkt yoldan binalarda kullanımını azaltmak olduğu söylenebilir (Stern ve ark., 2016; Cabeza ve Chàfer, 2020; Mostafavi ve ark., 2021).

İnşaat sektörü, enerji tüketimini öncelikli olarak fosil yakıtlardan sağlaması sebebiyle, sera gazı emisyonlarına olumsuz yönde büyük katkı sağlamaktadır. İnşaat sektöründeki, enerji gereksinimlerinin tamamını olmasa da ısıtma, soğutma, elektrik temini ve iklimlendirme sistemi gibi hatırı sayılır bir kısmını karşılamak için güneş enerjisinden büyük ölçüde yararlanılması mümkündür (Hayat ve ark., 2019; Karimi ve ark., 2019).



Şekil 1. 2016'da ve 2050'de harcanması öngörülen küresel enerjinin tüketim kalemlerine ayrılmış gösterimi ve soğutma için harcanması ön görülen payı (IEA, 2018)

Konfor koşullarını sağlarken pasif tasarımdan yararlanmak bu amaçla kullanılan fan ve klima gibi elektrikli aletlerin kullanımını azaltacağından büyük bir enerji tasarrufu sağlamaktadır. Mekânın serinletilmesi ve havalandırılmasında doğal havalandırma yöntemlerinin kullanılması yaz döneminde enerjiden tasarruf etmenin etkin yöntemidir (Khanal ve Lei, 2014). Özellikle nemli sıcak iklimler gibi rüzgârı mekân içerisine almakta zorlanılan bölgelerde, etkin bir doğal havalandırma sağlayan sistemlerden biri de güneş bacasıdır (IEA, 2018; Moret Rodrigues ve ark., 2019). Bu çalışmada yaz döneminde havalandırma ve serinletme amacıyla etkin olarak kullanılan güneş bacalarının tasarımı, işleyişi ve performansı incelendikten sonra güneş bacalarının yapıdaki uygulamaları örnekler üzerinden değerlendirilecektir.

Aktif ve Pasif Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneş enerjisi sistemleri binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmıştır. Bu sistemler; aktif veya pasif yöntemlerle güneş enerjisini kullanılabilir forma dönüştürürler. Pasif güneş enerjisini elde etmek için bina kabuğu tasarımı kullanılırken, bir akışkanı ısıtmak için güneş enerjisi toplayıcısının kullanılması ise aktif güneş ısıyı sağlar (Dickinson, 2018; Singh, 2021). Binaların tasarım aşamasında mekânların ısıtılması ya da soğutulması için güneş enerjisinden faydalanılıyorsa pasif güneş sistemi, bu tasarıma eklenen her teknolojik ürün ise aktif güneş enerjisi sistemi olarak adlandırılır.

Aktif Güneş Enerjili Soğutma Teknolojileri

Aktif güneş enerjili soğutma sistemleri güneş ışınımını elektrik ve ısı enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemler çeşitli mekanik ve elektronik sistemlerin bir araya gelmesiyle oluşturulmaktadır. Güneşten elde edilen ısı enerjisi direkt olarak mekânın ısıtılması ya da soğutulması için kullanmazlar. Bunun yerine güneşten elde edilen ısı enerjisi önce bir akışkanda ya da depolama özelliği yüksek bir katıda depolanır. Daha sonra ısı enerjisi mekânın soğutulması veya ısıtılması için enerji kaynağı olarak kullanılır (Boero ve Agyenim, 2020; Goel ve ark., 2022). Endüstriyel süreçler yan ürün olarak bu sistemlerde kullanılabilir ve güneş enerjisine alternatif olabilecek atık ısı üretir.

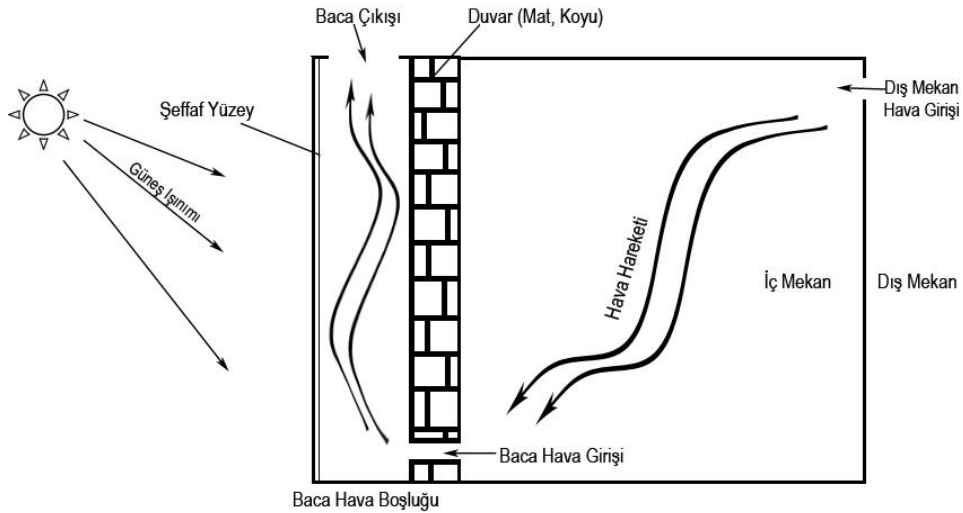
Yaygın olarak kullanılan aktif güneş enerjili soğutma sistemleri absorpsiyonlu, kurutuculu, ejektörlü ve adsorpsiyonlu soğutma sistemleridir.

Pasif Güneş Enerjili Isıtma ve Doğal Havalandırma Sistemleri

Pasif güneş enerjili doğal havalandırma ve ısıtma sistemleri benzer çalışma süreçlerine sahiptir. Bu sistemlerden kış aylarında ısı kazancı, yaz aylarında doğal havalandırma ve serinletme elde edilebilir. Pasif sistemler, tasarım aşamasında alınan planlama kararları ve kullanılan malzemeler ile kurgulanır. Bu sistemlerde binanın kabuğu aracılığı ile güneş ışınimleri toplanmakta ve depolanmaktadır. Elde edilen veya depolanan bu enerji daha sonra ısıtım, iletim ve taşınım ilkelerinden biri veya birkaçı kullanılarak iç mekânlara dağıtılmaktadır (Bevilacqua ve ark, 2019; Boero ve Agyenim, 2020; Goel ve ark, 2022). Giriş ve çıkıştaki havanın yoğunluk farkından dolayı oluşan kaldırma kuvveti etkisi her iki sistem için de itici (ya da çekici) güçtür. Isıyı yakalamak ya da depolamak için veya serinletme etkisi yaratmak adına havalandırma sağlayarak, hava hareketi oluşturmak için bina kabuğunda esnek seçenekler kullanılır. Yaygın kullanılan pasif güneş enerjisi sistemlerinden bazıları Trombe duvarı, camsız geçirgen güneş cephesi, güneş çatısı, güneş havuzu ve güneş bacasıdır.

Güneş Bacası

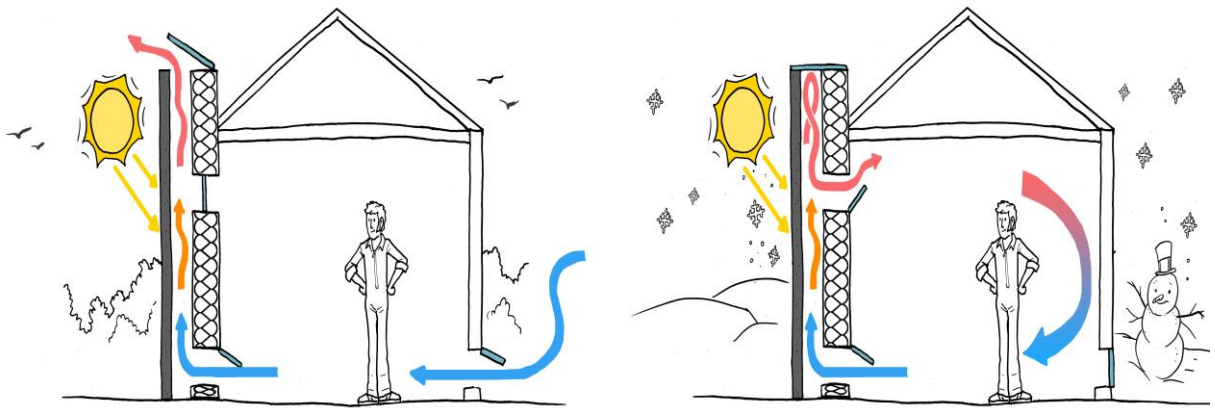
Binaların soğutulmasında veya ısıtılmasında pek çok teknik kullanılabilir. Güneş bacaları bu yöntemlerden biri olup etkin, güneş kaynaklı pasif havalandırma ve serinletme etkisiyle tercih sebebidir. Güneş bacaları pasif güneş havalandırma sistemleridir yani mekanik değildir, kaldırma kuvveti prensibi ile çalışan bir teknolojidir. Güneş bacası, aslında sıcak havanın çıkıp uzaklaşması için bacanın en yüksek ucunda bir açıklığı olan, içinde havanın hareket edebilmesi için bir boşluk bulunduran, iç yüzeyinde koyu renkli soğurucu yüzey veya metal içeren ve güneş ışınımını içeri almak için en az bir yüzeyi şeffaf, termal bir kütleden oluşur (Şekil 2). Güneş bacası çatı seviyesinde, duvar içinde veya bu iki seçeneğin birleştirilmesiyle kullanılabilir.



Şekil 2. Doğal havalandırma ve serinletmede kullanılan güneş bacasının şematik gösterimi

Güneş bacasının da kullandığı, pasif güneş enerjili havalandırmanın temel konsepti şu şekildedir; soğurucu, koyu renkli yüzey veya plaka güneş ışınımı tarafından ısıtılır, böylece bacadaki hava ısıtılarak, boşluk içinde daha yüksek hava sıcaklığı oluşturulur. Sıcaklık artışına bağlı olarak hava yoğunluğunun azalması da havanın yükselmesine neden olur. Isıtılan hava daha sonra güneş bacasının konumlandırıldığı mekândan, buradan açılan menfez yardımı ile değiştirilir. Hava değişiminin yarattığı çekim etkisi ve binanın kabuğunda oluşturulan kontrollü açıklık aracılığı ile dış ortamdan alınan hava odanın içinden geçer, bacaya açılan açıklıktan baca boşluğuna çekilir, son olarak bacanın tepesindeki açıklıktan çıkar (Awbi, 2003; Harris ve Helwig, 2007; Dimoudi, 2009). Bu değişim sırasında mekân içindeki hava hızının da artmasından dolayı, mekân içinde yaşayanlar hem bir serinleme hisseder hem de iyi bir havalandırma yapılarak iç hava kalitesi yükseltilir (Şekil 3). Yürüme esnasında oluşan hava hızı değeri olan 1m/s hava hızının, ortamda hissedilen sıcaklığı 3°C kadar düşürdüğü bilinmektedir (Yeang, 2006). Güneş bacası sistemi dört ana unsurdan oluşur. Bunlar; dış mekân hava girişi açıklığı, baca hava girişi açıklığı, baca hava boşluğu ve ısıl depo ya da termal soğurucudur.

Güneş bacalarının hangi amaçla kullanılacağı iklim koşullarına göre şekillenir; kuru-ılıman ve nemli-sıcak iklim koşullarında, yukarıda belirtilen şekilde kullanılıp iç mekânda artan hava hareketi yardımıyla ısıyı dağıtır ve kullanıcılar için ısıl konfor sağlar (Sudprasert ve ark., 2016). Bu kullanımdan ayrı olarak güneş bacaları, soğuk-yağışlı iklim koşullarında binaları ısıtmak için de kullanılabilir. Bu senaryoyu uygulamak için normalde sıcak havanın dış ortama bırakıldığı, bacanın en üst konumunda bulunan açıklık kapatılır ve iç mekânı güneş bacasına bağlayan menfezler açılarak sıcak havanın buradan tekrar binaya girmesi sağlanır (Şekil 3). Güneş bacası, bu kullanım ile mekân içindeki sıcaklığı artırmak amacıyla, ısıyı yeniden üretme ve depolama birimi olarak kullanılır (Godoy-Vaca ve ark., 2017; Wang ve ark., 2022; Zhang ve ark., 2023).



Şekil 3. Güneş bacasının mekânı soğutmak (solda) ve ısıtmak (sağda) için kullanım yöntemleri (Venturewell, 2022)

Güneş bacalarının mekanizması sadece doğal havalandırma ve mekânın ısıtılması için kullanılmamaktadır. Ayrıca güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için kullanılan mekanizmalardan biridir. Güneş bacalarının elektrik enerjisi üretmek için kullanıldığında, çalışma

prensibi en basit haliyle şöyledir: güneş ışınımı, ucu açık, üste doğru daralan bir kuleye alınarak, bu kulenin en üst kısmında sıcaklığa dayalı bir yoğunluk farkı oluşturur. Bu yoğunluk farkı, aşağıdaki soğuk havanın, kulenin üst ucuna doğru çekim hareketi ile hızlı bir şekilde yükselmesine neden olur. Bu çekim hareketinin enerjisi daha sonra kule içine yerleştirilmiş türbinler kullanarak mekanik enerjiye dönüştürülür ve mekanik enerji de elektriğe dönüştürülür (Guo ve ark., 2019; Pradhan ve ark., 2021; Cuce ve ark., 2022). Güneş bacaları; konumuna göre; dikey, eğimli ve dikey-eğimli, kabuktaki yerine göre; çatıya bitişik, duvara bitişik, çatı ve duvara bitişik, tutturulduğu binanın kat sayısına göre; çok katlı ve tek katlı, kullanım amacına göre; mekân ısıtma, serinletme (mekân havalandırması) ve enerji üretimi, içerdiği şeffaf yüzey sayısı; tek yüzeyde ve birden çok yüzeyde olarak sınıflanabilir. Güneş bacası birçok etkenin, kurgunun ve dış faktörlerin bir araya gelmesiyle çalışan bir sistem olduğu için verimini etkileyecek çok fazla unsur bulunmaktadır. Baca performansı çevresel faktörler, mevsimsel değişiklikler, cihaz-malzeme kalitesi ve coğrafi durum gibi diğer parametrelerden etkilenebilir. Güneş bacası sisteminin verimiyle doğrudan ilişkili olan etki parametrelerini bulmak için bazı çalışmalar yürütülmüştür (Bassiouny ve Korah, 2009; Shi ve ark., 2018; Abdeen ve ark., 2019; Duy ve Pham, 2021; Sengupta ve ark., 2022). Bu çalışmalardan biri olan, Shi ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmadan yola çıkarak ve geliştirerek, aşağıdaki faktörler ve onların alt içeriklerinin güneş bacası sisteminin veriminin artırılmasında daha baskın olduğu söylenebilir:

- Güneş bacasının yükseklik, derinlik, bu parametrelerin oranları ve sistemin giriş çıkış açıklıklarını içeren; sistemin geometrisi,
- Güneş bacasının eğim açısını, güneş kolektörü alanını, yerleşim yerini ve sistemdeki açıklıkların ebatlarını içeren; sistemin kurulumu,
- Güneş bacasının şeffaf yüzey alanı, soğurucu yüzey alanı, içerdiği yalıtım türü-alanı ve ısı depo kısmının özelliklerini içeren; malzeme seçimleri,
- Sistemin içinde bulunduğu alanın güneş ışınımı, rüzgâr hızı, sıcaklık farkı ve mevsimsel değişiklikleri içeren; çevresel faktörler (Şekil 4).



Şekil 4. Güneş bacasının verimliliğine etki eden etmenler

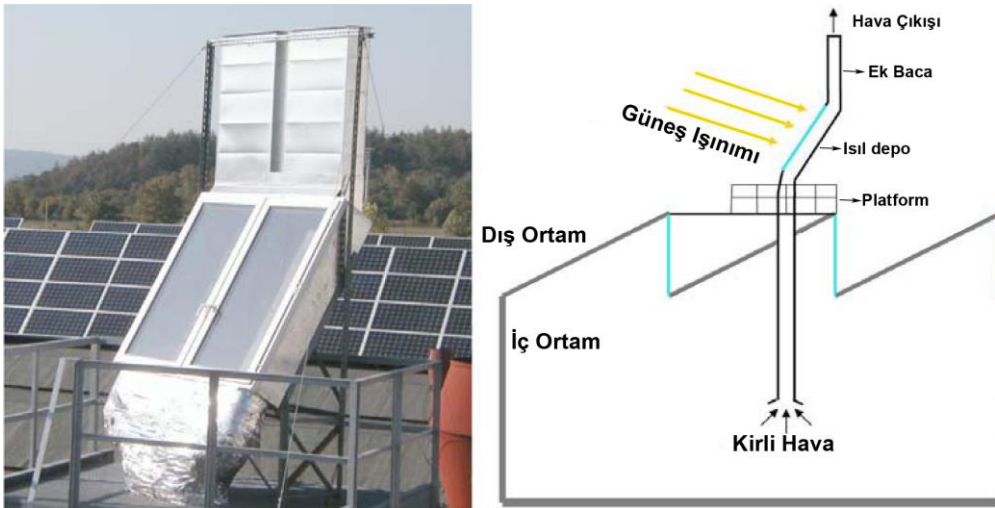
Örnek Güneş Bacası Çalışmaları

Bu çalışma kapsamında güneş bacası ile havalandırma üzerine günümüze kadar gerçekleştirilmiş uygulamalardan bazıları örneklendirilerek irdelenmiştir. Bu örnekler; Brno Teknoloji Üniversitesi Laboratuvarı (Brno T.U.L.), Bangkok'ta Çok Katlı Konut (Bangkok Ç.K.K.), P+ Binası, İskenderiye'de Konut Binası (İskenderiye K.B.), Kuching'de Konut Binası (Kuching K.B.), Khosravi Evi'dir. Bu örneklerin ortak özellikleri güneş bacası yardımıyla mekanın havalandırılmasını sağlamalarının yanında, yukarıda belirtilen ve sisteminin verimliliğini etkileyen bir ya da birkaç etmeni odağına alması ve bu etmenleri geliştirmek ya da iyileştirmek üzerine çalışmalar yapılmasıdır.

Brno Teknoloji Üniversitesi Laboratuvarı

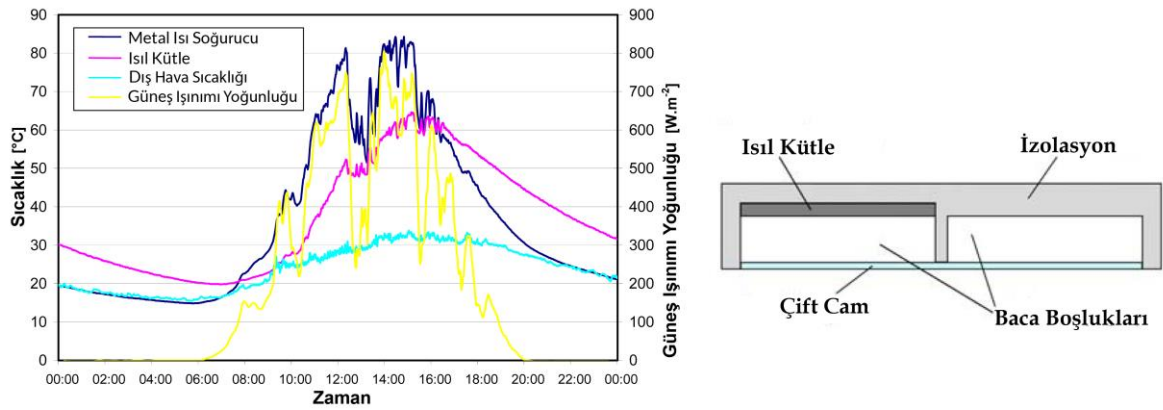
Charvat ve ark. (2004), güneş bacasında ısı soğurucu türünün, güneş bacasının havalandırma performansına etkisini irdelemek için, nemli karasal iklime sahip, Çekya'nın Brno bölgesinde, Brno Teknoloji Üniversitesi Termodinamik ve Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarı çatısına bir güneş bacası düzeneği kurmuş ve sonuçları gözlemlemişlerdir.

Binanın çatısına konumlandırılan bacanın dış strüktürü yalıtımlı metalden oluşturulmuştur. Birbirleri ile aynı ölçülerde iki parçadan oluşan bacanın ısı deposu 75x150x20 cm ebatlarında ve 30° eğimlidir. Isıl deponun bir kısmında ısı soğurucu olarak 5 cm kalınlığında, yüzeyi siyaha boyanmış beton blok kullanılmıştır. Diğer bölümde ise siyah yüzeyli metal bir tabaka kullanılmıştır. Isıl deponun şeffaf yüzeyini çift camlı pencereler oluşturmaktadır. Şeffaf yüzeyi güneşe yönlendirilen ısı depo, laboratuvar çatısında oluşturulan bir platformun üstüne yerleştirilmiştir (Şekil 5). Isıl depo bölümünün üst kısmına, 1,5 m uzunluğunda ve dikey konumlu bir baca daha eklenmiş ve laboratuvar ile olan bağlantısı, yerleştirildiği platformun alt tarafından, 5 m uzunluğundaki dikey bir boru ile yapılmıştır.



Şekil 5. Brno Teknoloji Üniversitesi laboratuvarının çatısına yerleştirilen güneş bacasının ısı deposu (solda) ve (sağda) bacanın çalışma sistemi ile parçalarının şematik gösterimi (Charvat ve ark., 2004)

Güneş bacasıyla yürütülen deneyde; kış, sonbahar ve erken ilkbahar dönemlerinde, bacanın çalışması için yeterli sıcaklığın elde edilemediğinden dolayı dikkate değer bir değişim ya da fark olmamıştır. Yaz günlerinde ise gündüz saatlerinde metal tabakalı güneş bacasının sıcaklığı hızlı bir şekilde 80 °C seviyesine yükselirken beton blok içeren bacanın sıcaklığı yavaş bir ivmeyle sadece 60 °C'lere ulaştığı gözlemlenmiştir (Charvat ve ark., 2004). Gündüz bu durumda olan baca içi sıcaklık değerleri, güneşin batmasıyla; metal tabakalı güneş bacasında hızlı bir şekilde dış ortamla aynı seviyeye ulaşırken termal kütle içeren güneş bacası ısısını koruyarak yavaş bir seyirde soğuduğu görülmektedir (Şekil 6). Bu durum ısıl kütleli güneş bacasının gece de çalışmasını ve buna bağlı olarak ortam sıcaklığını daha da azalmasını sağlamaktadır.



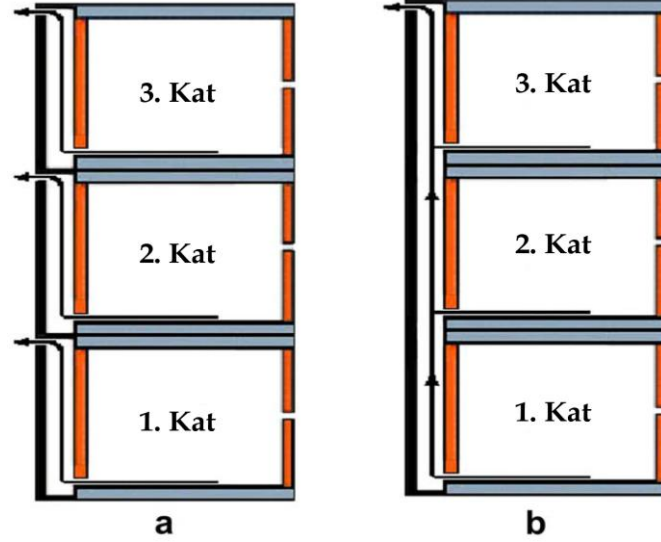
Şekil 6. Güneş bacalarında kullanılan ısıl soğurucuların sıcaklık değişimi (solda) ve (sağda) ısıl deponun kesiti (Charvat ve ark., 2004)

Bacalarla bir başka deney ise şeffaf yüzey üzerine yapılmıştır. Bir tarafın şeffaf yüzeyi yalıtım ile kapatılmış ve bu tarafın normal bir baca olarak çalışması sağlanmıştır. Bu deneyin sonunda ise normal bacanın yine havalandırma işlemini yerine getirdiği ama hava hızı bakımından güneş bacasından %20 oranında daha düşük kaldığı gözlemlenmiştir.

Bangkok'ta Çok Katlı Konut

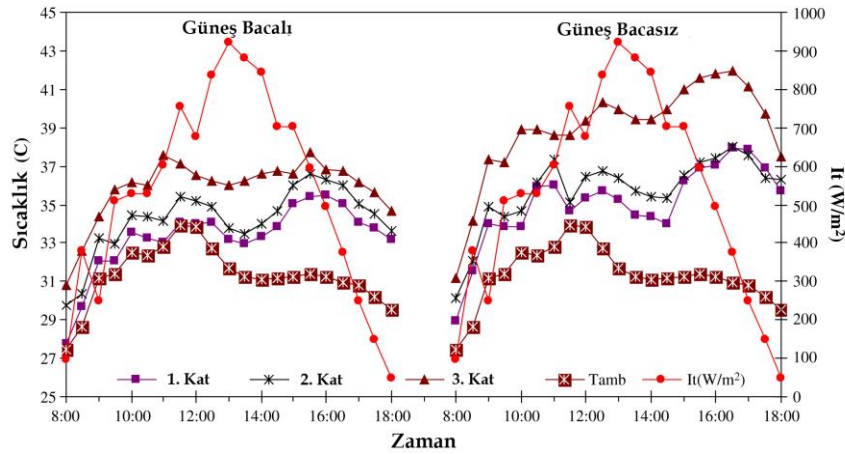
Punyasompun ve ark. (2009), tropikal savana iklimine sahip Bangkok'ta inşa ettikleri birbirlerinden ayrı üç adet üç katlı ve her bir katının ölçüleri 1,2x2x1 m olan apartman maketleriyle karşılaştırmalı bir çalışma yapmıştır. Bu maketlerden ilki sadece üç birimin üst üste konulduğu kontrol maketidir. Güney cephesine 0,2x1,2 m ebatlarında güneş bacası yerleştirilen diğer iki apartman maketinin biri her katta dış ortamdan ayrı hava giriş ve çıkışı olan, her katta 1 m yüksekliğe sahip, toplamda üç tane (ayrılmış) güneş bacası içermektedir. Diğer apartman maketi ise her katta dış ortamdan hava girişi olan ama güneş bacasında sadece üçüncü katın en üstünden dış ortama hava çıkışı olan, apartman maketinin üç katı boyunca (3 m) uzanan, güneş bacasının uzun (sıralanmış) versiyonunu içermektedir (Şekil 7). Deney üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, ayrılmış güneş bacası içeren apartman maketi ile kontrol maketi karşılaştırılmıştır. Bulgular, ayrılmış güneş bacası içeren apartman maketinin iç mekan sıcaklığının dış hava sıcaklığından 6 °C daha yüksek, kontrol maketinin iç mekan sıcaklığından 4 °C

daha az olduğunu ortaya koymuştur. Aynı aşamada, güneş bacalarının içindeki hava akış hızları ölçülmüştür. Üçüncü kattaki güneş bacası çıkışında en yüksek akış hızı 0,043 m³/s olarak belirlenmiştir.



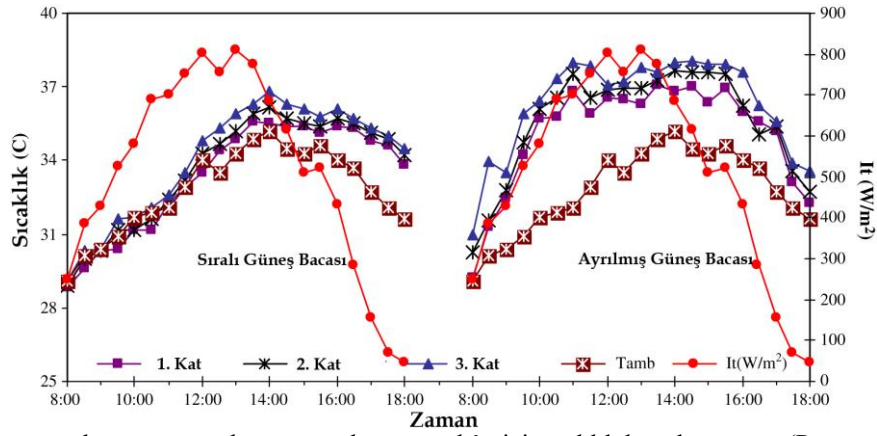
Şekil 7. Ayrılmış güneş bacası (a) ve (b) sıralı güneş bacasının şematik gösterimi (Punyasompun ve ark, 2009)

İkinci aşamada da sıralı güneş bacası içeren maket ile kontrol maketi karşılaştırılmış ve sıralı güneş bacasının iç mekân sıcaklığının, dış mekân sıcaklığından 2 °C daha fazla, kontrol maketine göre 4 °C daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8). Üçüncü kattaki güneş bacası çıkışındaki en yüksek akış hızı 0,045 m³/s olarak kaydedilmiştir.



Şekil 8. Sıralı güneş bacalı maket ve güneş kontrol maketinin iç mekân sıcaklıkları (Punyasompun ve ark, 2009)

Üçüncü ve son aşamada, iki farklı güneş bacası kurgusuna sahip maketlerin iç mekân sıcaklıkları karşılaştırılarak incelenmiştir. Sıralı güneş bacası kurgusuna sahip maketin iç mekân sıcaklığının, ayrılmış güneş bacası kurgusuna göre 5-6 °C daha düşük olduğu bulunmuştur (Şekil 9). Bu sonuçlar, sıralı güneş bacasının iç mekan hava sıcaklığını düşürmede daha etkili olduğunu ve kesintisiz uzunluğu sayesinde daha yüksek hava akışı sağladığını göstermektedir.

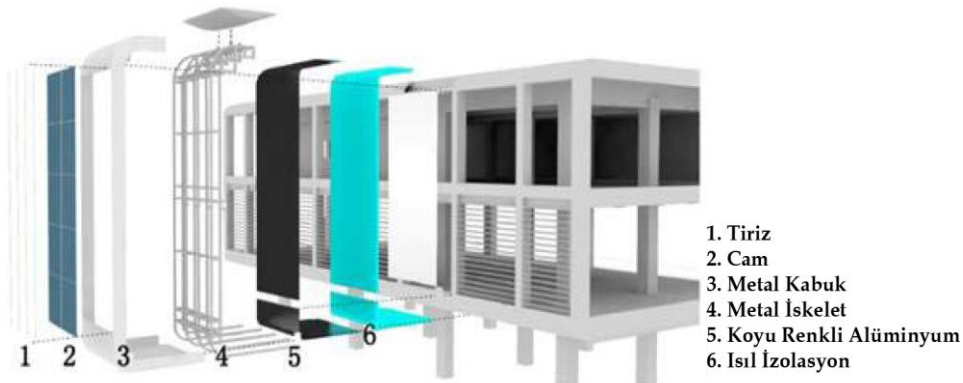


Şekil 9. Sıralı güneş bacası ve ayrılmış güneş bacası mekân içi sıcaklık karşılaştırması (Punyaşompun ve ark, 2009)

P+ Binası

Zha ve ark. (2017) çalışmalarında; nemli alt tropikal iklime sahip Çin'in Şangay bölgesi, Cangzhou kentinde inşa edilmiş P+ binası üzerine önce 6,2x2,8 m x0,35 m ebatlarında bir güneş bacası eklemiş ve bu bacanın performansını incelemişlerdir. Bacanın performansı incelendikten sonra çıkan sonuçlar teorik hesaplamalar ve numerik simülasyon ile karşılaştırılmıştır. Son olarak deneyde elde edilen veriler bir programa işlenerek binanın enerji simülasyonu yürütülmüştür.

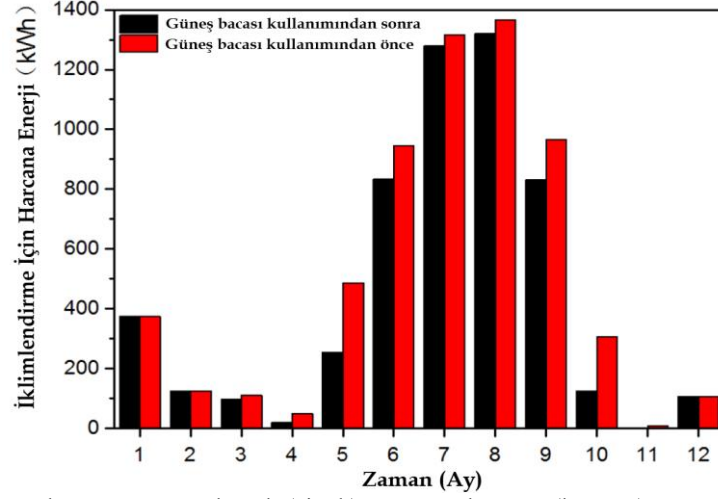
Katmanları ve kurgusu Şekil 10'da verilen bacanın performansını ve çevresel etmenleri ölçmek için bir deney yürütülmüştür. Bu yürütülen deneyde güneş bacasının hava boşluğundaki hava hızının 0,02 m/s'den 0,45 m/s'ye yükseldiği bilgisi verilse de iç mekan sıcaklık değişimi hakkında herhangi bir bilgi verilmemiştir. Bu deneyden elde edilen bilgiler teorik hesaplamalar ve nümerik simülasyon ile karşılaştırılmış, gerçekleştirilen deneyde alınan hava hızı değerlerinin diğer iki yöntemle elde edilenlerden daha az olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 10. P+ Binası ve binada kullanılan güneş bacasının katmanları ve kurgusu (Zha ve ark, 2017)

P+ Binası'nda yürütülen ilk deneyden elde edilen veriler bir modelleme programa işlenmiş ve burada enerji simülasyonu yürütülmüştür. Yürütülen enerji simülasyonu neticesinde, Şangay koşullarında Nisan ayından Ekim ayına kadar kullanımı uygun olan güneş bacası, en fazla 0,467 m³/s havalandırma

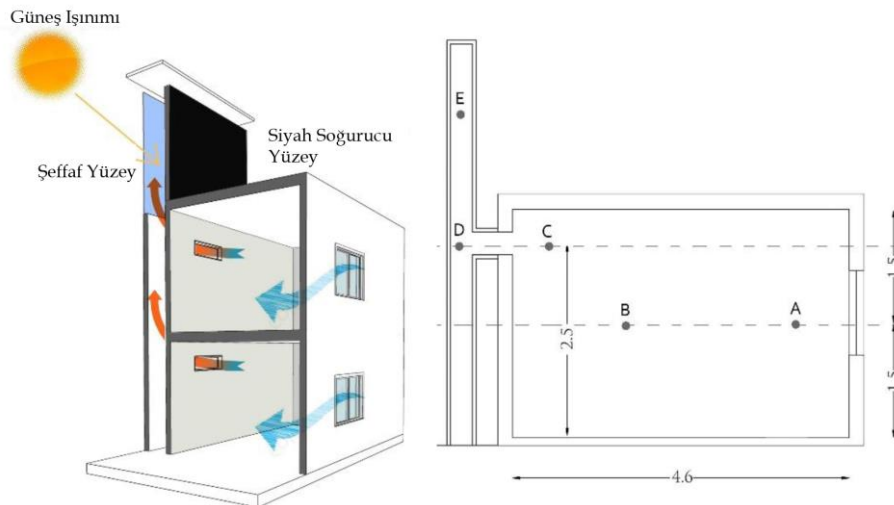
seviyesine ulaşmıştır. Elde edilen veriler ışığında; yıllık enerji tasarrufun %12,9, soğutma sezonu olarak adlandırılan Nisan – Ekim ayları arasında harcanan enerjiden edilen tasarrufun ise %14,5 olduğu bilgisi verilmiştir. Güneş bacası sayesinde soğutma için harcanan enerjiden en fazla Mayıs ayında tasarruf edildiği bilgisi de eklenmiştir (Şekil 11). Bu ayda tasarruf edilen enerji miktarı 232,2 kWh'dir.



Şekil 11. P+ Binası'nın aylara göre güneş bacalı (siyah) ve güneş bacasız (kırmızı), soğutma için harcadığı enerji (Zha ve ark., 2017)

İskenderiye'de Konut Binası

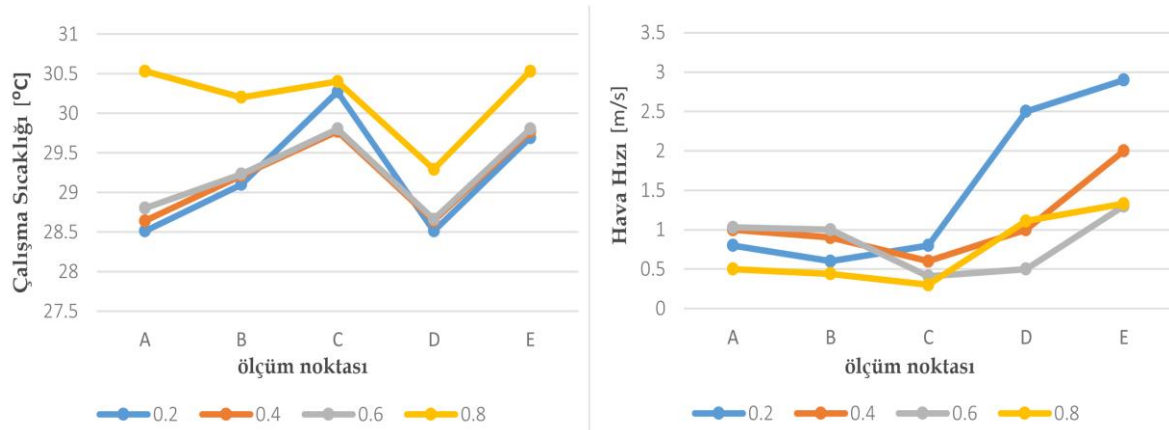
Mekkawi ve Elgendy (2016) çalışmalarında; sıcak çöl iklimi hakim olan Mısır'ın İskenderiye kentinde, iki katlı konut binasının güney cephesine bir güneş bacası yerleştirilerek modellenmiş (Şekil 12) ve güneş bacasının performansını hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizi yöntemi yardımıyla gözlemlenmiştir. Güneş bacasının performans verileri alındıktan sonra, derinliği artırılarak, baca verimi ile ilgili alınan sonuçlar ortaya konulmuştur.



Şekil 12. İskenderiye'deki konut modelinin kesiti ve ısı, sıcaklık ve hava hızı ölçüm noktalarının konumları (Mekkawi ve Elgendy, 2016)

Modellenen evin güneş bacası 8x1,5x0,2 m ebatlarındadır. Güneş bacasının bina bitiminden sonraki iki metrelik kısmı, ısı deposu olarak kullanılması için güney yönüne bakan yüzeyinde cam kullanılmış, aynı kısmın kuzeye bakan yüzeyinde ise binanın duvarı devam ettirilip siyah renge boyanmıştır. Baca üst katta yatak odasına, alt katta ise yemek odasına 0,8x0,4 m ebadında menfezlerle bağlanmıştır. Her iki katta da sisteme taze hava girişi, kuzey cephesinde konumlanmış, 1x1,2 m ebatlarında pencerelerden sağlanmaktadır. Güneş bacası ile havalandırılacak mekanların iç mekan sıcaklıkları ortalama 29,86 °C'dir. Belirlenen güneş bacası kurgusu ve iklim koşullarında CFD simülasyonu yapıldığında, iç ortam sıcaklığında 0,94 °C bir düşüş görülmüştür. İç mekandaki hava hareketinin ise %32 arttığı gözlemlenmiştir.

Yürütülen bu simülasyondan sonra, güneş bacasının derinliğinin performansına etkisini irdelemek için, güneş bacasının derinliği 0,4 m, 0,6 m ve 0,8 m olarak belirlenerek, her derinlik için simülasyon tekrar yapılmış, belirlenen noktalardaki hava hareketleri ve sıcaklıklar gözlenmiştir. Ölçüm noktalarını ve sonuçları gösteren grafikler Şekil 12 ve Şekil 13'te sunulmuştur. CFD simülasyonlarının sonuçları incelendiğinde hem sıcaklık hem de hava hareketi olarak en iyi değerlerin 0,4 m ve 0,6 m derinliğe sahip güneş bacalarından alındığı, bu derinliklerde sırası ile 28,64 °C ve 28,66 °C hava sıcaklıkları elde edildiği görülmüştür. Yine aynı derinlikteki boşlukların A ve B noktalarındaki hava hızını %50 kadar arttırdığı görülebilmektedir.

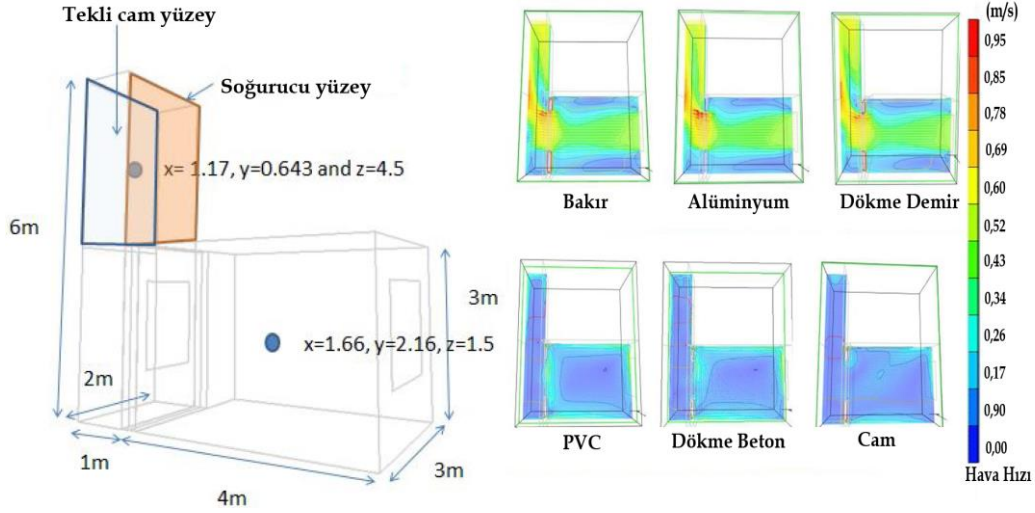


Şekil 13. İskenderiye'de Konut Binasının sıcaklık ve hava hızı ölçüm sonuçları (Mekkawi ve Elgendy, 2016)

Kuching'de Konut Binası

Leng ve arkadaşları (2014), tropikal yağmur ormanı iklimine sahip Doğu Malezya'nın Kuching şehrinde olduğunu varsayıldıkları bir evi modelleyip çalışmalarını bu model ev üzerinde yapmışlardır. Modellenen evin güney cephesine yerleştirilen 6x1x2 m ebatlarındaki güneş bacası, evin 4x3x3 m ebatlarındaki yatak odasına, 1,5x1,2 m boyutlarında bir pencere ile bağlanmıştır. Bu odaya dış mekandan taze hava, kuzey cephesinden dış ortama açılan, aynı ebatlardaki bir pencere ile sağlanmıştır. Güneş bacasının şeffaf yüzeyini oluşturan cam yüzey güneye bakmaktadır (Şekil 14).

Bu çalışmada sadece güneş bacası ve test odası olarak seçilen, güneş bacasının bağlandığı yatak odası modellenmiş ve güneş bacasının çeşitli malzemelerle desteklenen havalandırma performansı incelenmiştir. CFD analizi kullanılarak yapılan deneyde, güneş bacasının şeffaf yüzeyi karşısındaki yüzeyde, güneş ışınımından elde edilen ısıyı arttırmak adına mekân yüksekliği olan 3m'den sonra güneş bacasının çıkışına kadar olan, bulunduğu yüzeyi kaplayacak şekilde yerleştirilen ve “ısı soğurucu yüzey” olarak adlandırılan yüzeyde farklı materyaller kullanarak, güneş bacasının performansı incelenmiştir.



Şekil 14. Varsayımsal mekân ve güneş bacasının ebatları (solda) ve (sağda) CFD analizi ile elde edilen, materyallerin kullanımında, mekandaki hava hızı ile hava akış desenleri (Leng ve ark., 2014)

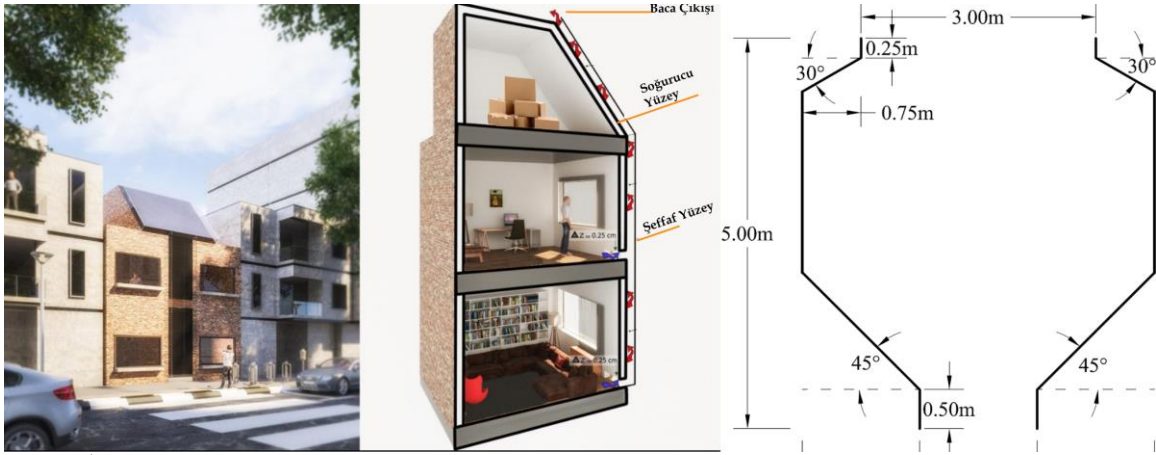
“Isı soğurucu yüzey” olarak deneyde; bakır, dökme demir, PVC, dökme beton, alüminyum ve cam CFD analizlerinde denenmiştir ve en etkin olanının bakır olduğu belirtilmiştir (Şekil 14). Isı emicisi olarak bakırın kullanıldığı CFD analizinde; güneş bacasının boşluğundaki hava sıcaklığını, diğer malzemelere göre daha yüksek sıcaklıklara çıkardığı, en yüksek ısının olduğu 15:00 saatinde, iç hava sıcaklığını 7,7 °C düşürebildiği ve son olarak iç hava hızını da 1,16 m³/s’ye çıkardığı bildirilmiştir.

Khosravi Evi

Khosravi ve ark. (2019), iki katlı, her katı 8,5x5x3,65 m boyutlarında olan varsayımsal bir konut binasının güney cephesine bir güneş bacası eklemişlerdir. Bu güneş bacası düz ve eğimli olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Düz kısım binanın güney cephesindeki dış duvar boyunca 1,5x7,3x0,25 m ebatlarındadır. Eğimli kısım ise 4,5x5x0,25 m ebatlarında ve konutun çatısı ile bitişiktir (Şekil 15). Her iki kısmın ön cephesinde 2 mm kalınlığında şeffaf yüzey, arka cephesinde ise sırasıyla 16 mm kalınlıkta ısı izolasyonu ve siyaha boyanmış, 4 mm kalınlıkta metal tabaka bulunmaktadır.

Bu çalışmada güneş bacasının eğimli kısmı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada ilk olarak eğimli bölümün en iyi performansı verebilmesi için, eğiminin kaç derece olması gerektiği, 35, 40, 45 ve 50 derecelik açılar ile CFD analizi yapılarak irdelenmiştir. Yapılan bu analizde 50 derecelik açının iki

katın havalandırma açıklıklarında da en etkin hızı verdiği görülmüştür. Daha sonra 50 derecelik eğim açısı sabit tutularak, eğik güneş bacasının kenar duvarlarının tabanı ile yaptığı açı; 0, 15, 25 ve 35 derece olacak şekilde değiştirilmiş, bu şekilde bacadan çıkan hava akış oranının nasıl değiştiği gözlenmiştir. Buradaki amaç; dik açılı yan duvarların havayla sürtünme katsayısı daha fazla olduğu için, bu açılar daha aşılabilir şekle getirebilmektir. Denenen açılarda, oluşan şekillerin yine simetrik olmasıyla sürtünme (ya da geri tepme) katsayısı yine yüksek bulunmuştur. Bunun üzerine bir tarafı 45 diğer tarafı 30 derece olan bir şekil “geliştirilmiş tasarım” olarak öne sürülmüş ve bu tasarımdan en yüksek verim alınmıştır (Şekil 15). Bunun yanında eğik güneş bacasının uzunluğunun hava hızına etkisinin olup olmadığını öğrenmek için 5m’den 10m’ye kadar uzunluklar test edilmiştir ve bunun üzerine sadece birinci kattaki açıklıktan geçen hava hızını arttırdığı, ikinci katta ise bir değişikliğin gözlenmediği bildirilmiştir.



Şekil 15. İki katlı bina ve eğimli güneş bacasının görselleştirilmiş hali (solda), güneş bacasının kesitini gösteren şema (ortada) ve (sağda) “geliştirilmiş tasarım” olarak öne sürülen tasarım (Khosravi ve ark., 2019)

Tüm bu düzenlemelerden sonra binanın ortalama doğal havalandırma oranı %24 artmıştır. İç mekanda ise 0,626 m/s hava hızı elde edilmiştir. Son saatlik hava hızı değişim (ACH) değerleri birinci kat için 3,04’den 3,42’ye, ikinci kat için ise 2,38’den 3,51’e yükselmiştir.

Tartışmalar ve Değerlendirme

Örnek güneş bacası çalışmaları bölümünde irdelenen örneklerin buldukları ülke, iklim çeşidi, kullandığı yapı türü ve örneklerde yürütülen deneylerin türleri Tablo 1’de, içerdikleri güneş bacalarının sınıflandırılması Tablo 2’de, ele aldığı verimlilik etmeni ve elde edilen sonuçlar Tablo 3’te irdelenmiştir.

Tablo 1’den görülebileceği üzere irdelenen örnek güneş bacası çalışmaları kuru sıcak ya da nemli sıcak iklimlerde yapılmıştır. Bunun nedeni güneş bacalarının nemli sıcak iklimler gibi iç hava sıcaklığı ile dış ortam hava sıcaklığı arasında 5 °C’den az farklar oluşan iklimlerde, etkin bir havalandırma ve serinletme yöntemi olmasıdır. İçeride yaratılan yüksek hava hareketi içerdeki nemi azaltır ayrıca insan

teni üzerinde serinlik hissi yaratır. Böylece dış hava sıcaklığı ile iç hava sıcaklığının arasındaki dar hava farkı aralığı, hissedilen sıcaklığın düşürülmesiyle açılmış olur. İrdelenen örnekler bir bacanın sadece bir iklim koşulundaki performansını incelemişlerdir. Özellikle simülasyon yardımı ile yapılan çalışmalarda farklı iklim bölgelerinden alınan güneş bacalarının verimliliğinin karşılaştırılması açısından değerli olmaktadır.

Yine Tablo 1'den hareketle görülmektedir ki seçilen örneklerde yürütülen deneylerin sadece %33'ü saha çalışması olarak, gerçek binalar üzerinde yürütülmüştür. Diğer taraftan bakıldığında ise örneklerin yarısı simülasyon üzerinden yani bilgisayar destekli programlar kullanılarak yapılmıştır. Geri kalan %17 ise ölçekli maket üzerinden çalışmalarını sürdürmüştür. Bu dar bir örneklem üzerinden edinilen bir veri olsa da aslında güneş bacası ve verimi üzerine yapılan çalışmaların genelini kapsamaktadır. Hatta simülasyon aracılığı ile yapılan çalışmaların oranı bu çalışmada çıkandan fazla çıkması olasılığı yüksektir. Simülasyon aracılığı ile yapılan çalışmalar her ne kadar maliyet, zaman ve iş gücünden tasarruf sağlasa da sisteme (açıklıktan geçen hava hızı değerleri, ısı soğurucuya düşen ışınım değerine vb.) müdahale edilebilirliği açısından şüpheyle yaklaşılabilir. Maket veya gerçek bir binada, dış ortamda direkt temas ile yapılan çalışmaların gerçek güneş radyasyonu altında ve kontrol edilemez olarak yapıldığı unutulmamalıdır. Bu çalışma özelinde, özellikle Khosravi Evi bulunduğu iklim verisi ve konum verilmediği için bu duruma örnek teşkil etmektedir.

Tablo 1. Örnek çalışmaların ülke, iklim, yapı türü ve deney türü bakımından sınıflandırılması

Örnek	Bulunduğu Ülke	İklim	Yapı Türü	Deney Türü
Brno T.U.L.	Çekya	Nemli karasal	Eğitim	Saha çalışması
Bangkok Ç.K.K.	Tayland	Tropikal savana	Konut	Maket üzerine
P+ Binası	Çin	Nemli alt tropikal	Eğitim	Saha çalışması
İskenderiye K.B.	Mısır	Sıcak çöl	Konut	Simülasyon
Kuching K.B.	Malezya	Tropikal yağmur ormanı	Konut	Simülasyon
Khosravi Evi	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Konut	Simülasyon

Tablo 2'den de görülebileceği üzere incelenen örneklerin hepsi güneş bacasını serinletme amaçlı kullanmakta ve güneş bacalarında bir şeffaf yüzey içermektedir. Yine tüm örneklerde kullanılan güneş bacalarının şeffaf yüzeyleri güneşi daha iyi alabilmek için güneye yönlendirilmiştir. Bu örneklerde sadece bir yüzeyde şeffaf yüzey kullanılmasının amacı opak yüzeylerin bacadaki ısıyı korumak adına daha iyi performans göstermeleridir. Örnek çalışmalarda sadece Brno T.U.L. ve Khosravi Evi örnekleri güneş bacasının konumu eğimli ve dikey olarak kullanılmış, diğer dört örnek çalışmada ise dikey olarak kullanılmıştır. Güneş bacasında eğim kullanılmasının nedeni güneş ışınımını, açığı kullanarak daha fazla almak ve ısı kütleyi daha fazla ısıtabilmektir. Böylece bacanın üst kısmında ısı yoğunluğu daha da artırılarak, yoğunluk farkından doğacak hava hızı artırılmıştır. Khosravi Evi örneğinde hangi açının ne kadar performans verdiği ayrıca incelenmiştir. Güneş bacasının kabuktaki

yeri Brno T.U.L.'de çatıyla bitişik iken Khosravi Evi'nde çatı ve duvara, diğer dört örneğin güneş bacaları da bina dış duvarına bitişiktir. Bu farklılığın sebebi de yine güneş ışınımını, ısı depo kısmına daha fazla alabilmektir.

Tablo 2. Örnek çalışmaların güneş bacaları bakımından sınıflandırılması

Örnek	Konum	Kabuktaki Yer	Kat Sayısı	Kullanım Amacı	Şeffaf Yüzey
Brno T.U.L.	Dikey ve eğimli	Çatıya bitişik	Tek katlı	Serinletme	Tek yüzeyde
Bangkok Ç.K.K.	Dikey	Duvara bitişik	Çok katlı	Serinletme	Tek yüzeyde
P+ Binası	Dikey	Duvara bitişik	Çok katlı	Serinletme	Tek yüzeyde
İskenderiye K.B.	Dikey	Duvara bitişik	Çok katlı	Serinletme	Tek yüzeyde
Kuching K.B.	Dikey	Duvara bitişik	Tek katlı	Serinletme	Tek yüzeyde
Khosravi Evi	Dikey ve eğimli	Çatı ve duvara bitişik	Çok katlı	Serinletme	Tek yüzeyde

Tablo 3'ten hareketle en fazla ele alınan ve üstüne çalışılan verimlilik etmeni ana başlığı baca geometrisidir. Bu sonucun elde edilmesi doğaldır çünkü baca boyutları ve hava giriş-çıkış açıklıklarının kurgusu ile ebatları neredeyse güneş bacası sisteminin iskeletini oluşturmaktadır. Bu kurguda ya da ölçülendirmede yapılacak bir hata, bacanın çalışmamasına ya da çok düşük verimle çalışmasına neden olabilir. Örneklerden hareketle Bangkok Ç.K.K. örneğinde görüldüğü üzere güneş bacalarında, baca uzunluğu ve bacanın kesintisiz olması baca performansını etkileyen önemli bir etkidir. Güneş bacasının ebatlarının doğru belirlenmesinin önemi İskenderiye K.B. örneğinde bir kez daha vurgulanmıştır; güneş bacasının derinliği çok dar tutulduğunda (0,2 m) ya da çok geniş tutulduğunda (0,6 m) bacanın performansının düştüğü ama optimum değerde tutulduğu zaman (0,4 m) en yüksek verimin alındığı görülmektedir. Tablo 3'te ortaya konulan örneklerin ele aldığı verimlilik etmeni ana başlığında, geometri ana başlığından sonra malzeme ana başlığı gelmektedir. Özellikle ısı depo ve soğurucu yüzey seçimlerinin önemi, Brno T.U.L.'de "ısı kütleli" bacanın daha geç soğuyarak, akşam saatlerinde de mekânın ısını düşürmeye yardım etmesi ve Kuching K.B.'de, soğurucu yüzey olarak bakır levha kullanıldığında iç mekân hava sıcaklığının 7,7 °C düşürülmesiyle anlaşılmaktadır.

İncelenen örneklerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; Kuching K.B.'nin sıcaklığı 7,7 °C, Bangkok Ç.K.K. ise 4-5 °C düşürmesi dikkat çekicidir. Khosravi Evi örneğinde, "geliştirilmiş tasarım" olarak nitelendirilen tasarım ile elde edilen doğal havalandırma değerindeki %24 oranındaki artış yine dikkate değerdir. Ama elde edilen bu artışın nemli sıcak iklim gibi sert ve zorlu bir iklimde mi yoksa daha hafif iklim koşullarında mı elde edildiği bilinmemektedir.

Tablo 3. Örnek çalışmaların ele aldığı verimlilik etmeni ve çalışmada alınan sonuçlar

Örnek	Ele Aldığı Verimlilik Etmeni	Alınan Sonuçlar
Brno T.U.L.	Malzeme-Isıl depo, soğurucu yüzey, şeffaf yüzey	Şeffaf yüzeyli bacada %20 daha etkin havalandırma, ısı kütelli bacada gece havalandırması.
Bangkok Ç.K.K.	Geometri-Yükseklik, giriş/çıkış açıklıkları	Sıralı baca, kontrol maketine göre 4-5 °C, ayrılmış güneş basasına göre 5-6 °C daha düşük sıcaklık değeri, 0,045 m ³ /s akış hızı.
P+ Binası	Çevre-Sıcaklık farkı	Baca içi hava hızında 0,43 m/s artış, soğutma sezonunda %14,5 tasarruf.
İskenderiye K.B.	Geometri-Derinlik	En verimli baca derinliğinde, mekân içi hava hızı değeri 1 m/s, mekân içi hava hızında %50 artış, oda içi sıcaklıkta 0,8 °C azalma.
Kuching K.B.	Malzeme, Isı soğurucu yüzey	En iyi verimin alındığı bakır plakalı örnekte 1,16m ³ /s iç hava hızı, 7,7 °C sıcaklık düşüşü.
Khosravi Evi	Kurulum-Eğim Açısı; Geometri-Yükseklik	Geliştirilmiş tasarım olarak adlandırılan tasarım ile doğal havalandırma oranında %24 artış, 0,626 m/s iç mekân hava hızı, ACH değerinde 1,13 artış.

Sonuç

Bu çalışmada güneş bacaları, kullanım amaçları, sınıflandırılmaları, verimliliğine etki eden etkenler ve güneş bacası kullanılarak pasif güneş enerjili havalandırma ve buna dayalı serinletme etkisi hakkında bilgiler verilmiş, daha sonra mekânın serinletmesi ve havalandırması için güneş bacası kullanılmış olan örnekler incelenmiştir. Güneş bacaları, güneş ışınlarının yoğunluğuna yüksek oranda bağımlılıkları nedeniyle güneşli gün sayısı fazla olan bölgeler için uygundur. Sistemin doğru çalışması için her projenin tasarımında bölgenin coğrafi koşulları özellikle dikkate alınmalıdır. Baca boyutu optimizasyonu, geometrik optimizasyon, bacanın bileşenlerinin montaj açısı ve ısı soğurucu yüzey uygulaması, güneş bacasının performansını artırmak için yaygın olarak kullanılan parametreler arasındadır. Sistemin verimliliğini etkileyen parametreler, farklı koşullar altında farklı sonuçlara yol açar. Örneğin, baca hava boşluğunun derinliğinin azaltılması/artırılması ve baca yüksekliğinin artırılması müdahalelerinin her ikisi de verimliliği artırır. Ancak en uygun derinlik/yükseklik oranı koşullara göre farklılık gösterir. Bu oranın yanı sıra sistemin verimliliği iklim koşullarına da bağlıdır ve sistemin geometrisine göre değişebilir. Baca hava boşluğunun eğimini değiştirmek baca performansını olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilir. Belirli bir durumda optimum eğim açısı 50° olarak bildirilmiştir. Bacaya alınan ışınımın artması, baca çıkışındaki hava akışını ve dolayısıyla sistemdeki hava hızını artırır. Doğru ısı soğurucu yüzey kullanımıyla ve uygun iklim koşullarında, ısı soğurucu yüzey kullanımının mekânın sıcaklığını 7,7 °C azalttığı ve mekânın doğal havalandırılma oranını %24 artırdığı kaydedilmiştir.

Güneş bacasının, mekânın doğal havalandırılmasında etkili olduğu ve iç mekânın sıcaklık düşüşünde katkısının doğru optimizasyonla mümkün olduğu, mekanlarda görece daha az sıcaklık düşüşü sağladığı koşullarda ise iç mekânda hava hızını artırarak serinlik hissi yarattığı yani hissedilen sıcaklığı düşürdüğü sonucuna varılmıştır. İç hava sıcaklığındaki bu düşüş, yaratılan serinletme hissi ve doğal havalandırma ile elde edilen iyi havalandırma sayesinde, özellikle nemli sıcak iklimler gibi iç

hava sıcaklığı ile dış ortam hava sıcaklığı arasında 5°C'den az farklar oluşan iklimlerde, bu ihtiyaçlar için kullanılan elektrikli gereçlerin kullanımının azalmasından dolayı, havalandırma ve serinletme kalemlerini içeren yaz yüklerinde azalma sağlanacağından, ciddi bir oranda enerji tasarrufu sağlanacağı aşikârdır. Dolısıyla, sağlanan enerji tasarrufunun, bu enerjiyi sağlarken harcanan fosil yakıt tüketiminin ve karbon salımının azalmasına olumlu etkileri olacağı anlaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2020.KB.FEN.012 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Bu çalışma birinci sırada yer alan yazarın Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapılan doktora tez konusundan üretilmiştir. Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Abdeen A., Serageldin AA., Ibrahim MG., El-Zafarany A., Ookawara S., Murata R. Solar chimney optimization for enhancing thermal comfort in Egypt: An experimental and numerical study. *Solar Energy* 2019; 180: 524-536.
- Awbi HB. *Ventilation of buildings* (Second ed.). Spon Press 2003. Londra.
- Bassiouny R., Korah, NS. Effect of solar chimney inclination angle on space flow pattern and ventilation rate. *Energy and Buildings* 2009; 41(2): 190-196.
- Bevilacqua P., Benevento F., Bruno R., Arcuri N. Are trombe walls suitable passive systems for the reduction of the yearly building energy requirements?. *Energy* 2019; 185: 554-566.
- Boero A., Agyenim F. Modeling and simulation of a small-scale solar-powered absorption cooling system in three cities with a tropical climate. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 2020; 15(1): 1-16.
- Bong CPC., Lim LY., Ho WS., Lim JS., Klemeš JJ., Towprayoon S., Lee CT. A review on the global warming potential of cleaner composting and mitigation strategies. *Journal of Cleaner Production* 2017; 146: 149-157.
- British Petroleum, bp Statistical Review of World Energy 2022; 71st edition, BP 2022. Londra.
- Charvat P., Jicha M., Stetina J. Solar chimneys for residential ventilation. *Ventilation and Retrofitting* 2004; 19.

- Cabeza LF., Chàfer M. Technological options and strategies towards zero energy buildings contributing to climate change mitigation: A systematic review. *Energy and Buildings* 2020; 219: 110009.
- Cuce E., Cuce PM., Carlucci S., Sen H., Sudhakar K., Hasanuzzaman M., Daneshazarian R. Solar chimney power plants: A review of the concepts, designs and performances. *Sustainability* 2022; 14(3): 1450.
- Dickinson EW. *Solar energy technology handbook*. CRC Press 2018.
- Dimoudi A. Solar chimneys in buildings-The state of the art. *Advances in Building Energy Research* 2009; 3(1): 21-44.
- Duy TN., Pham HTT. CFD based investigation on the performance of solar chimney for room natural ventilation. *AIP Conference Proceedings* 2021; 2420(1): 020027.
- Goel M., Verma VS., Tripathi NG. Solar cooling technologies. In *Solar Energy* (pp. 107-116). Springer 2022. Singapore.
- Godoy-Vaca L., Almaguer M., Martínez J., Lobato A., Palme M. Analysis of solar chimneys in different climate zones-case of social housing in Ecuador. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2017; 245(7): 072045.
- Guo P., Li T., Xu B., Xu X., Li J. Questions and current understanding about solar chimney power plant: A review. *Energy Conversion and Management* 2019; 182: 21-33.
- Harris DJ., Helwig N. Solar chimney and building ventilation. *Applied Energy* 2007; 84(2): 135-146.
- Hayat MB., Ali D., Monyake KC., Alagha L., Ahmed N. Solar energy-A look into power generation, challenges, and a solar-powered future. *International Journal of Energy Research* 2019; 43(3): 1049-1067.
- IEA. *The future of cooling*, IEA 2018. Paris.
- Karimi MS., Fazelpour F., Rosen MA., Shams M. Comparative study of solar-powered underfloor heating system performance in distinctive climates. *Renewable Energy* 2019; 130: 524-535.
- Khanal R., Lei C. An experimental investigation of an inclined passive wall solar chimney for natural ventilation. *Solar Energy* 2014; 107: 461-474.
- Khosravi M., Fazelpour F., Rosen MA. Improved application of a solar chimney concept in a two-story building: An enhanced geometry through a numerical approach. *Renewable Energy* 2019; 143: 569-585.
- Leng PC., Ahmad MH., Ossen DR., Hamid M. Towards sustainable architecture: The effect of the solar chimney material on thermal performance based on CFD simulation. *International Conference on Sustainable Urban Design for Liveable Cities*, 2014, Malezya.
- Lotfabadi P. Analyzing passive solar strategies in the case of high-rise building. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015; 52: 1340-1353.

- Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors SL., Péan C., Berger S., Zhou B. Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2021; 2.
- Mekkawi G., Elgendy R. Solar chimney for enhanced natural ventilation based on CFD-simulation for a housing prototype in Alexandria, Egypt. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering* 2016; 3(5): 1-5.
- Moret Rodrigues A., Santos M., Gomes MG., Duarte R. Impact of natural ventilation on the thermal and energy performance of buildings in a Mediterranean climate. *Buildings* 2019; 9(5): 123.
- Mostafavi F., Tahsildoost M., Zomorodian Z. Energy efficiency and carbon emission in high-rise buildings: A review (2005-2020). *Building and Environment* 2021; 206: 108329.
- Omer AM. Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008; 12(9): 2265-2300.
- Pörtner HO. (Ed.). *Climate Change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press 2022.
- Pradhan S., Chakraborty R., Mandal DK., Barman A., Bose P. Design and performance analysis of solar chimney power plant (SCPP): A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2021; 47: 101411.
- Punyasompun S., Hirunlabh J., Khedari J., Zeghamati B. Investigation on the application of solar chimney for multi-storey buildings. *Renewable Energy* 2009; 34(12): 2545-2561.
- Sengupta A., Mishra DP., Sarangi SK. Computational performance analysis of a solar chimney using surface modifications of the absorber plate. *Renewable Energy* 2022; 185: 1095-1109.
- Shi L., Zhang G., Yang W., Huang D., Cheng X., Setunge S. Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018; 88: 223-238.
- Singh AK. An inclusive study on new conceptual designs of passive solar desalting systems. *Heliyon* 2021; 7(2): e05793.
- Stern PC., Janda KB., Brown MA., Steg L., Vine EL., Lutzenhiser L. Opportunities and insights for reducing fossil fuel consumption by households and organizations. *Nature Energy* 2016; 1(5): 1-6.
- Sudprasert S., Chinsorranant C., Rattanadecho P. Numerical study of vertical solar chimneys with moist air in a hot and humid climate. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2016; 102: 645-656.
- Twidell J. *Renewable energy resources*. Routledge; 2021.
- United Nations Environment Programme. *Emissions gap report 2022: The closing window—Climate crisis calls for rapid transformation of societies*; 2022. Nairobi.

- Venturewell. Stack ventilation and Bernoulli's principle, <https://sustainabilityworkshop.venturewell.org/node/1029.html>. Erişim tarihi: 20.10.2022.
- Wang Q., Zhang G., Wu Q., Shi L. Solar chimney performance in buildings under three heating modes: An empirical analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2022; 52: 102222.
- World Health Organization. *Climate change and health: Vulnerability and adaptation assessment* 2021. Kanada.
- Yeang K. *Ecodesign: A manual for ecological design*. Wiley-Academy 2006.
- Zhang L., Dong Z., Liu F., Hou Y., Cheng J., Du J., Li Y. Analysis of solar chimney application for building heating and cooling in different climates in China. *Journal of Energy Engineering* 2023; 149(1): 04022060.
- Zha X., Zhang J., Qin M. Experimental and numerical studies of solar chimney for ventilation in low energy buildings. *Procedia Engineering* 2017; 205: 1612-1619.