

**GÜNEŞ DUVARI SİSTEMLERİNİN DÜNYADAKİ
UYGULAMALARI VE TÜRKİYE'DEKİ
UYGULANABİLİRLİĞİ**

**THE APPLICATIONS OF THE SOLAR WALL SYSTEMS IN
THE WORLD AND APPLICABILITY IN TURKEY**

ATAOLLAH KHANLARI

Öğr. Gör. Dr. İlker AY

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı için Öngördüğü

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

ATAOLLAH KHANLARI'nın hazırladığı “**Güneş Duvarı Sistemlerinin Dünyadaki Uygulamaları ve Türkiye’deki Uygulanabilirliği**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

(Prof. Dr., Necdet Baştürk).....

Danışman

(Öğr. Gör. Dr., İlker Ay).....

Üye

(Prof. Dr., Aynur Eray).....

Üye

(Yrd. Doç. Dr., Akın Bacioğlu).....

Üye

(Öğr. Gör. Dr., Özgür Ekici).....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışma olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

25/12/2013

ATAOLLAH KHANLARI

ÖZ

GÜNEŞ DUVARI SİSTEMLERİNİN DÜNYADAKİ UYGULAMALARI VE TÜRKİYE'DEKİ UYGULANABİLİRLİĞİ

ATAOLLAH KHANLARI

Yüksek Lisans, Temiz Tükenmez Enerjiler Bölümü

Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. İlker AY

Aralık 2013, 60 sayfa

Güneş duvarları binaların ısıtılmasında kullanılan yardımcı bir sistemdir. Isıtılacak olan hava bu sistemden geçirilerek ön ısıtma sağlanır. Böylece binanın ısıtma sisteminin yükünü azaltarak, maddi anlamda tasarruf ve içeriye verdiği temiz hava sayesinde de daha konforlu bir ortam sağlar. Aynı zamanda dış hava ile duvar arasında bir bariyer oluşturarak bina duvarından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarını da en aza indirir. Bu sistemler havalandırma sistemlerine ek olarak, tarımsal ürünlerin kurutulmasında ve fotovoltaiik pillerin aşırı derecede ısınmasını engellemek için de kullanılmaktadır.

Bu tezde güneş duvarları ile binaların iklimlendirilmesinin nasıl yapıldığı, çalışma koşulları, güneş duvarlarının dünyadaki kullanımı ve Türkiye'de kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca sistemden en yüksek verimi sağlamak için; sistemin termodinamik özellikleri incelenerek sistemin kurulması için gerekli en uygun koşullar ve malzeme seçiminin araştırılması teorik olarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Duvarı, Yardımcı Sistem, Isıtma, Alternatif Enerji, Verim.

ABSTRACT

THE APPLICATIONS OF THE SOLAR WALL SYSTEMS IN THE WORLD AND APPLICABILITY IN TURKEY

ATAOLLAH KHANLARI

Master of Science, Department of Clean Ren. Energies

Supervisor: Öğr. Gör. Dr. İlker AY

December 2013, 60 pages

Solar wall is an auxiliary system for heating buildings. It is used to preheat the air passing through it so as to reduce the load of heating system of the building. It makes the heating system economically more efficient and provides a more comfortable environment by supplying fresh air. At the same time it minimizes the conductive heat loss by creating a barrier between the outside air and the building wall. Such systems are also used to dry agricultural products and to avoid excessive heating of the photovoltaic cells.

In this thesis, ventilation system of buildings with solar wall and the operating conditions of such systems are discussed. In addition, the practical applications of solar walls around the world and applicability in Turkey are investigated. Moreover, thermodynamic analysis of a solar wall system is carried out and optimum operating conditions and material properties to achieve the maximum thermal efficiency are revealed.

Keywords: Solar Wall, Heating, Auxiliary System, Alternative Energy, Efficiency.

TEŞEKKÜRLER

Tez çalışmamın her aşamasında değerli katkı ve bana eleştiriyle yol gösteren, sonsuz sabırla beni her zaman çalışmaya teşvik eden ve güven veren danışmanım Sayın Dr. İlker AY'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜRLER	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNE KISA BİR BAKIŞ	5
2.1 Güneşten Enerji Elde Etme Yöntemleri	5
2.1.1 Işınım	6
2.1.2 İletim	7
2.1.3 Taşınım	7
2.2 Doğrudan Kazançlı Pasif Sistemler	7
2.2.1 Pencereler	8
2.2.2 Çatı Açıklıkları	9
2.2.3 Seralar	9
2.3 Dolaylı Kazançlı Aktif ve Pasif Sistemler	10
2.3.1 Trombe Duvarı	10
2.3.2 Kış Bahçeleri ve Cam Balkon Sistemleri (Güneş Odası)	12
2.3.3 Su Duvarı	12
2.3.4 Çatı Havuzları	13
3. GÜNEŞ DUVARI	15
3.1 Güneş Duvarı (Yalıtımsız Delikli Güneş Kollektörü)	15
3.2 Güneş Duvarının Yapısı	15

3.3	Güneş Duvarının Çalışma Prensibi	16
3.4	Güneş Duvarının Avantajları	18
3.5	Güneş Duvarının Verimliliğini Etkileyen Faktörler	19
3.6	Güneş Duvarının Isı Transfer Mekanizmaları	21
4.	GÜNEŞ DUVARI SİSTEMLERİNİN UYGULAMALARI.....	36
4.1	Güneş Duvarı Sistemlerinin Dünyadaki Uygulamaları.....	36
4.1.1	Dünyadaki Uygulamalardan Bazı Örnekler	37
4.1.2	Güneş Duvarı Uygulamalardaki Bazı İstatiksel Bilgiler	41
4.2	Güneş Duvarı Sistemlerinin Türkiye’de Uygulanabilirliği	47
5.	SONUÇ	52
	KAYNAKLAR.....	56
	ÖZGEÇMİŞ	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Mevcut enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri [8]	3
Çizelge 3.1: Bazı seçici yüzey kaplamaların ve boyanın fiziksel özellikleri [34]	20
Çizelge 3.2: Hava özelliklerini bulmak için kullanılan sabitler [27]	25
Çizelge 3.3: Güneş duvarı parametreleri için kullanılan değerleri.....	27
Çizelge 4.1: Yeni Zelanda’da da yapılan sistemlerin kurulduğu şehirlerin bazı iklim koşulları [37]	39
Çizelge 4.2: Tüm uygulama merkezleri için günlük enerji tasarrufu ve maddi kazançları [37]	40
Çizelge 4.3: Yeni Zelanda’da kurulmuş güneş duvarı sistemlerinin büyüklükleri ve kullanılan iç mekanlar [37]	40
Çizelge 4.4: Güneş duvarı sistemlerinin Kanada, Amerika ve Avrupa’daki Kurulduğu şehirlerin iklimsel özellikleri	45
Çizelge 4.5: Türkiye’nin on ayrı ili için iklim koşulları	49
Çizelge 4.6: Ankara’da güneye bakan dik bir yüzeye gelen güneş ışınım miktarı [W/m ²].....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Güneşten Enerji Elde Etme Yöntemleri	5
Şekil 2.2. Doğrudan kazançlı pasif sistemi [14].....	8
Şekil 2.3. Güneye yerleştirilmiş pencerelerin çalışma prensibi	9
Şekil 2.4. Seranın dış görünüşü	10
Şekil 2.5. Trombe duvarın çalışma prensibi	11
Şekil 2.6. Trombe duvarının gündüz ve gece çalışması	11
Şekil 2.7. Trombe duvarı ile yaz aylarında havalandırma	11
Şekil 2.8. Güneş odası çalışma prensibi [14].....	12
Şekil 2.9. a. Dolaylı su duvarı, b. Direkt kazançlı su duvarı	13
Şekil 2.10. Çatı havuzu [14].....	14
Şekil 3.1. Güneş duvarların bina duvarının üzerine yerleştirilmesi, a. Perspektif b. Sağdan görüntü	16
Şekil 3.2. Güneş duvarın çalışma prensibi [10].....	17
Şekil 3.3. Güneş duvarın yazın çalışma prensibi	18
Şekil 3.4. Güneş duvarı için ısı transfer modeli.....	21
Şekil 3.5. Soğurucu plaka sıcaklığı ve bina duvarının dış yüzey sıcaklığının soğurucu plaka emisyonuna göre değişimleri.....	27
Şekil 3.6. Güneş duvarın üzerine düşen güneş radyasyona göre verimin değişimi	28
Şekil 3.7. Termal verimin delik çapına göre değişimi	29
Şekil 3.8. Farklı adım aralıkları için termal verimin delik çapına göre değişimi	30
Şekil 3.9. Farklı adım aralıkları için minimum delik çapı (D_{min}) değerinin değişimi	31
Şekil 3.10. Maksimum verimi sağlamak için maksimum delik çapı değerine göre delik adımının değişimi	31

Şekil 3.11. Farklı delik çapları için verimin delik adımına göre değişim	32
Şekil 3.12. Verimin delik adımına göre değişim	33
Şekil 3.13. Verimin değişimi delik çapı ve delik adımı değişimlerine göre	34
Şekil 3.14. Sıcaklık artışının değişimi delik çapı ve delik adımı değişimlerine göre	34
Şekil 4.1. Güneş duvarı sistemlerinin dünya genelinde kullanılma sıklığı [10]	36
Şekil 4.2. Supercenter'in güney duvarındaki güneş duvarı [10]	37
Şekil 4.3. Erlangen Belediyesi binası önünde kurulmuş güneş duvarı [10]	38
Şekil 4.4. Break kolejinin güney batı cephesine kurulmuş güneş duvarı[29]	38
Şekil 4.5. Hafta sonları toplanan verilere göre her dört uygulama için günlük ortalama ara bölge sıcaklık profili [37]	39
Şekil 4.6. Panama'nın Chepillo adasında Cafe Dura'nın kahve kurutma tesisi [10]	41
Şekil 4.7. Enlemlere göre güneş duvarlarının uygulama sayısı	42
Şekil 4.8. Güneş duvarı sistemlerinin uygulama yerlerine göre kullanılan toplam yüzey alanı	43
Şekil 4.9. Güneş duvarlarından sağlanan tasarruf	43
Şekil 4.10. Güneş duvarların yüzey alanına göre yıllık CO ₂ emisyon azalması ...	44
Şekil 4.11. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası [8]	47
Şekil 4.12. Ankara' için ortalama günlük güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi [8]	50
Şekil 5.1. Güneş duvarları için uygun görülmüş binalar	53
Şekil 5.2. Solar Wall firması tarafından farklı renklerde üretilen Güneş duvarları [10]	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Alan (m^2)
A_s	Soğurucu Plakanın Net Alanı (m^2)
C_f	Oluk Faktörü
C_p	Havanın Sabit Basıncıta Özgöl Isısı (J/kg.K)
D	Delik Çapı (m)
D_k	Kritik Delik Çapı (m)
D_{min}	Minimum Delik Çapı (m)
E	Enerji (J)
h	Isı Taşınım Katsayısı ($W/m^2.K$)
I_T	Yüzey Üzerine Düşen Işınım Miktarı (W/m^2)
k	Isı İletim Katsayısı ($W/m.K$)
$k_{i,d}$	Bina Duvarının Birleşik Isı İletim Katsayısı ($W/m^2.K$)
m	Kütle (kg)
$\dot{m}_k$	Hava Kütle Akışı (kg/s)
Nu	Nusselt Sayısı
Nu_D	Deliğin Nusselt Sayısı
$Nu_{kayıp}$	Kayıp Nusselt Sayısı
Nu_Y	Soğurucu Plakanın Yüksekliğine Bağlı Olan Nusselt Sayısı
P	Delik Adımı (m)
P_k	Kritik Delik Adımı (m)
Q	Birim Alandan Birim Zamanda İletimle Transfer Edilen Isı Miktarı (W/m^2)
Q_{Ta}	Birim Zamanda Birim Alandan Taşınım ile Transfer Edilen Isı Miktarı (W/m^2)
q	Transfer Edilen Isı (W)

q_f	Binaya Aktarılan Isı (W)
$q_{giriş}$	Soğurucu Plakada Soğurulan Isı (W)
$q_{i,d}$	İç Ortam Sıcaklığının Bina Duvarının Dış Yüzeyine İletim Ve Taşınım Yoluyla Olan Isı Transferi (W)
$q_{rad,d-s}$	Bina Duvarının Dış Yüzeyinden Soğurucu Plakaya Işınım İle Aktarılan Isı (W)
$q_{rad,kayıp}$	Soğurucu Plakadan Işınım Yoluyla Çevreye Verilen Isı (W)
$q_{t,d-a}$	Bina Duvarının Dış Yüzeyinden Ara Bölgesindeki Havaya Taşınım Yoluyla Aktarılan Isı (W)
$q_{t,kayıp}$	Soğurucu Plakadan Taşınım Yoluyla Çevreye Verilen Isı (W)
$q_{t,s-h}$	Soğurucu Plakadan Taşınım Yoluyla Deliklerden Geçen Hava ve Ara Bölgesindeki Havaya Aktarılan Isı (W)
Re	Reynolds Sayısı
Re_D	Delikteki Reynolds Sayısı
T	Sıcaklık (K)
T_a	Ara Bölge Sıcaklığı (K)
$T_{çev}$	Güneş Duvarından Yaklaşık 60 cm Uzaklıkta Ölçülen Çevre Sıcaklığı (K)
$T_{giriş}$	Havanın Binaya Giriş Sıcaklığı (K)
T_d	Bina Duvarının Dış Yüzey Sıcaklığı (K)
$T_{gök}$	Gök Yüzü Sıcaklığı (K)
T_m	Maksimum Günlük Sıcaklık (K)
T_s	Soğurucu Plaka Sıcaklığı (K)
T_y	Yüzey Sıcaklığı (K)
T_{∞}	Dış Ortam Sıcaklığı (K)
V_D	Havanın Delikten Geçerkenki Hızı (m/s)
V_s	Güneş Duvarından Yaklaşık 60 cm Uzaklıkta Ölçülen Rüzgarın Soğurucu Yüzeye Yaklaşım Hızı (m/s)
V_{∞}	Açık Havadaki Rüzgar Hızı (m/s)
Y	Soğurucu Plakanın Yüksekliği (m)

ε	Yüzeyin Yayıcılık (Emisyon) Oranı (%)
ε_d	Bina Duvarının Yayıcılık (Emisyon) Oranı (%)
ε_s	Soğurucu Plakanın Yayıcılık (Emisyon) Oranı (%)
ε_{HX}	Isı Değişim Etkinliğini
Δx	Kalınlık (m)
ν	Kinematik Viskozite(m ² /s)
α	Havanın Termal Difüzyonu
α_s	Soğurucu Plakanın Soğurma Oranı (%)
η	Termal Verim (%)
ρ	Özkütle (kg/m ³)
σ	Plaka Üzerindeki Deliklerin Toplam Alana Oranı
σ_{sb}	Stefan Boltzman Sabiti (5,67x10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴)

Kısaltmalar

YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
DMİ	Meteoroloji Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

İnsanlık var olduğundan bu yana enerji ihtiyacını gidermek için çalışmıştır. İlk olarak sadece yaşamak için gerekli olan besin ihtiyacını doğadan karşılayan insan, daha sonraları ihtiyaçlarının artmasıyla farklı enerji kaynakları aramaya, bu kaynaklardan yararlanarak farklı sistemlerle ihtiyacı olan enerjiyi daha hızlı üretmenin ve daha verimli kullanmanın yollarını bulmaya çalışmıştır.

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının başlıcaları; Fosil Yakıt, Nükleer Yakıt, Su, Deniz, Rüzgâr, Jeotermal, Biyolojik Kaynaklar ve tüm bu kaynakların oluşmasını sağlayan Güneş olarak sıralayabiliriz. Evrenin temel enerji kaynağı Güneş'tir. Sahip olduğumuz yaşam ve bu yaşamı sürdürebilmek için kullandığımız diğer tüm enerji kaynaklarının oluşmasında Güneş bir numaralı faktördür.

Güneş, gündüzleri ısınma amaçlı kullanılan en eski kaynak olmasına rağmen ateşin bulunmasıyla ikinci plana gerilemiştir. Uzun bir süre en iyi enerji kaynağı olarak odun kullanılmış olsa da, Sümerlerin 4500 yıl önce kuyulardan kendiliğinden çıkan petrolden yararlanarak ateş elde etmesiyle fosil yakıtların çağı başlamıştır [1]. Gelişen dünya üzerinde her ne kadar yeni enerji kaynakları bulunsa da güneşin verdiği sıcaklıktan ve bu enerjiden yararlanma isteği hiçbir zaman tam olarak bitmemiştir. Evlerimizin daha fazla aydınlık olması ve kış güneşinden olabildiğince yararlanmak amacıyla binaların yapımında güneş mimarisi geçmişten günümüze geliştirilerek kullanılmıştır. Güneş enerjisi tarih boyunca, ısınma ve aydınlanmadan başka yemek pişirme, makine çalıştırma hatta silah olarak da kullanılmıştır.

Güneş teknolojisi ile ilgili yapılan ilk akademik araştırmalar 18. yüzyılda başlamıştır. 1774'te Fransız kimyager Lavoisier Paris'te parabolik çanak yansıtıcı kullanılarak güneş ışınları çanağın odağına toplanmış ve buradaki suyu kaynatmıştır. Elde edilen buhar ile küçük bir buhar makinesi çalıştırılmış ve bu makine baskı makinesinin çalışmasını sağlamıştır. 1900'lü yıllarda California'lı A.G. Eneas 10 hp gücünde bir buhar makinesi yapmayı başarmıştır [1,2]. Bu dönemler içinde benzer şekilde birçok değişik projeler gündeme gelmiş ama birçoğu aşırı maliyet, düşük verim ve uygun yer bulanamaması sonucu iptal edilmiştir.

19. yüzyılda petrolün işlenerek daha verimli hale getirilmesiyle, petrol gelişen sanayide vazgeçilmez bir enerji kaynağı olmuştur. Böylece güneşe duyulan ilgi günbegün azalmıştır. 20. yüzyıla girerken sanayileşmenin ve kentleşmenin büyümesiyle enerjiye olan ihtiyaç daha da artmaya başlamış, termoelektrik, jeotermal, nükleer gibi yeni türde elektrik santralleri kurulmaya başlanmıştır. Ancak 1970'li yıllara gelindiğinde yaşanan petrol krizi, bu yakıtların kullanımının bu hızla devam etmesi karşısında yakın bir gelecekte biteceğini gözler önüne sermiştir. Buna ek olarak uzun yıllar bu yakıtların kullanımı ile günümüzde kirliliğin artması, ozon tabakasının delinmesi, sera etkisi, iklim değişikliği ve çölleşme gibi problemler ortaya çıkmıştır. Çevre kirliliğinde gözlenen bu artışın da etkisiyle yenilenebilir ve temiz enerji santrallerinin kurulması için yeniden yatırımlar yapılması gerekli ve zorunlu hale gelmiştir.

Fabrikaların oluşturduğu çevre kirliliği hızlıca uygulanan uygun filtreleme sistemleri ve denetimlerin yoğunlaştırılması ile kısmen çözümlense de, ekosistemi olumsuz yönde etkilemeden yeni santrallerin geliştirilmesi ve kurulması zaman almıştır.

1940'lı yıllarda başlayan yarıiletken teknolojisindeki gelişmeler 1980'li yıllara gelindiğinde, düşük verimliliği ve yüksek maliyetinden dolayı sadece uzay teknolojisinde kullanılan fotovoltaik panelleri, daha verimli ve ucuz hale getirerek günlük hayatta kullanılabilir duruma getirmiştir [3,4]. Ayrıca bu yıllarda teknolojinin de gelişmesiyle daha verimli motorlar üretilmeye başlanmış ve ilk olarak rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üreten santraller kurulmaya başlanmıştır [5,6].

Gerek rüzgâr gerekse güneşten elde edilen enerjiler, mevcut ekosistemin yapısını değiştirmeden sadece ekosistemin sahip olduğu enerjiyi (rüzgâr ve güneş) kullandıklarından temiz enerji kaynağı olarak ön plana çıkmışlardır. İlerleyen yıllarda gelişen teknoloji ve yapılan Ar-Ge çalışmalarının da desteği ile bu sistemler daha ucuz ve daha verimli hale getirilmiştir. Bu tür çalışmalar günümüzde hızlanarak ve artarak devam etmektedir [7].

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının çevreye olan etkisi Çizelge 1.1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi güneşin çevreye olan zararlı etkisi sıfırdır. Bu özelliğinden ve sınırsız bir enerji kaynağı olmasından dolayı güneş ışınlarından yararlanmak için pek çok teknoloji geliştirilmiştir.

Güneş teknolojisini ısı teknolojiler ve fotovoltaik teknoloji olarak iki ana sınıfta toplayabiliriz. Fotovoltaik teknoloji; yarıiletken teknolojisi ile geliştirilen aygıtlar olup güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Isıl teknolojiler ise doğrudan ısınmak/ısıtmak için kullanıldığı gibi yoğunlaştırıcı sistemlerle ısı enerjisini, termodinamik prensiplere göre mekanik enerjiye çevirerek farklı alanlarda kullanılmasına (elektrik üretimi gibi) olanak sağlar. Isıl teknoloji sistemlerinden başlıcaları; Parabololik oluk ve çanak yansıtıcıları/odaklayıcıları, Kule Tipi Güneş Santralleri, Düzlemsel Güneş Kolektörleri, Vakum Tüplü Güneş Enerji Sistemleri, Güneş Ocakları, Güneş Kurutucuları, Su Duvarı, Çatı Havuzu, İlave Güneş Mekanı, Termosifon Kollektör, Trombe Duvarı, Güneş Duvarıdır.

Çizelge 1.1: Mevcut enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri [8]

	İklim Değişikliği	Asit Yağmurları	Su Kirliliği	Toprak Kirliliği	Gürültü	Radyasyon
Petrol	X	X	X	X	X	-
Kömür	X	X	X	X	X	X
Doğalgaz	X	X	X	-	X	-
Nükleer	-	-	X	X	-	X
Hidrolik	X	-	X	X	-	-
Rüzgar	-	-	-	-	X	-
Güneş	-	-	-	-	-	-
Jeotermal	-	-	X	X	-	-

Bu yöntemlerden güneş duvarı ilk olarak 1981'de Almanya'da Wieneke Adlı bir firma tarafından binaya havalandırma amaçlı verilen havanın ön ısıtma işleminin yapılması için üretilmiştir. Daha sonra 1988'de Almanya'da Schulz adlı bir başka firma tarafından tarımsal ürünlerin kurutması için kullanılmıştır [9]. Yeni bir sistem olan güneş duvarı uygulamaları dünyada yavaş yavaş yayılmaktadır. Günümüzde güneş duvarı sistemleri birçok firma tarafından üretilmektedir. Yapılan araştırmada bu sistemlerin 30'a yakın ülkede kullanıldığı görülmektedir [10].

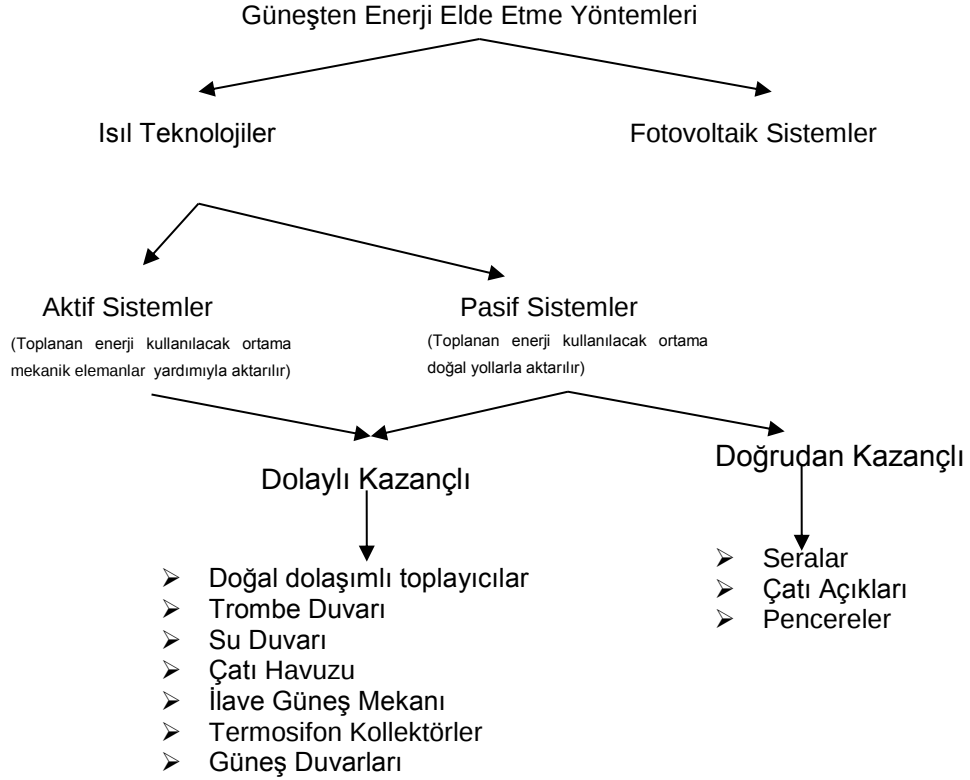
Bu çalışmada güneş duvarı ile binaların iklimlendirilmesinin nasıl yapıldığını ve çalışma koşullarını öğrenmek ve iyileştirmek amacıyla; güneş duvarının dünyadaki kullanımı ve çalışma şartları araştırılmış, Türkiye'nin sahip olduğu güneş potansiyelinin bu yöntemle değerlendirilip değerlendirilemeyeceği incelenmiştir.

Ayrıca sistemden en yüksek verimi sağlamak için; sistemin termodinamik özellikleri incelenerek sistemin kurulması için gerekli optimum koşullar ve malzeme seçiminin araştırılması teorik olarak yapılmıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNE KISA BİR BAKIŞ

2.1 Güneşten Enerji Elde Etme Yöntemleri

Güneşten enerji elde etme yöntemleri temelde iki kısma ayrılır [11,12]. Bunlar ısı teknolojileri ve fotovoltaik sistemlerdir. Fotovoltaik sistemler yarıiletken teknolojisinin bir ürünü olup güneş enerjisini direkt elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir.



Şekil 2.1. Güneşten Enerji Elde Etme Yöntemleri

Isıl sistemler Şekil 2.1’de görüldüğü gibi Aktif ve Pasif Sistemler olarak ikiye ayrılırlar.

Aktif sistemlerde; toplanan enerji, kullanılacak mekâna mekanik ve elektronik kontrol elemanları yardımıyla aktarılır.

Pasif sistemlerde; toplanan enerji, kullanılacak mekâna tamamen doğal yollarla aktarılır. İki türlü pasif sistem vardır. Bunlar; doğrudan kazançlı pasif ısıtma sistemi ve dolaylı kazançlı pasif ısıtma sistemidir.

Doğrudan kazançlı pasif ısıtma sistemlerinde; gelen güneş enerjisi doğrudan ihtiyaç duyulan mekânı ısıtmada kullanılır. Seralar, çatı aralıkları, pencereler bu tür sistemlere örnektir. Doğrudan kazançlı sistemler tamamen pasif sistemler olup bina mimarisinde doğru olarak kullanıldığında binanın ısınma yükünü ciddi miktarda azaltmaktadır.

Dolaylı kazançlı pasif ısıtma sistemlerinde ise; gelen güneş enerjisi ısı depolamaya uygun bir termik kütlede biriktirilerek ihtiyaç duyulan mekâna hiçbir mekanik ve elektronik malzeme/aygıt kullanmadan iletim, ışıınım ve taşınım yoluyla transfer edilir. Ancak dolaylı kazançlı pasif sistemlerde fan veya pompa gibi mekanik ve elektronik malzeme/aygıt kullanılırsa sistem dolaylı kazançlı aktif sistem olacaktır.

Aktif ve pasif sistemler ısı sistemlerinin her teknolojisinde kullanılabilir. Bu yüzden bir sistemin aktif mi, pasif mi olduğu sistemin teknolojisine göre belirlenir.

Hangi sistem olursa olsun kullanılan sistemin verimliliği;

- Coğrafik konuma,
- Sistemin yapılandırılmasına / konumlandırılmasına,
- Sistemin tipine,
- Güneşlenme zamanına,
- Gelen güneş ışıınım şiddetine,
- Atmosfer koşullarına,

bağlıdır. Ayrıca sistemleri seri/paralel bağlayarak ısı etki artırabilir. Böylelikle buhar türbinleri gibi sistemler çalıştırılarak elektrik enerjisi elde edilir.

Hangi sistemi kullanırsak kullanalım bu sistemlerin hepsi için termodinamiğin temel kanunları geçerlidir. Bu sistemlerdeki ısı transferi de üç yolla meydana gelir. Bunlar ışıınım, İletim ve Taşınımdır [13].

2.1.1 Işıınım

Sıcak bir yüzeye sahip olan her cisim sıcaklığının dördüncü kuvvetiyle orantılı olarak bir ışın yayar. Bu kanun Stefan Boltzman kanunu olarak bilinir.

Herhangi bir sıcak yüzeyden yansıyan ışınım

$$E = \epsilon A \sigma_{sb} T^4 \quad (2.1)$$

ile verilir. Burada ε , yüzeyin yayıcılığı ($0 \leq \varepsilon \leq 1$); A, alan (m^2); σ_{sb} , Stefan Boltzman sabiti ($5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$) ve T, yüzey sıcaklığıdır (K).

2.1.2 İletim

İletim, maddenin parçacıkları arasındaki etkileşmenin sonucu olarak yüksek enerjili parçacıkların düşük enerjili parçacıklara enerji aktarmasıdır. Örneğin bir kutu kola düşünelim kolayı çevreleyen alüminyum (Al) kutunun bir yüzeyi sıcak havayla temas halinde iken diğer yüzeyi soğuk kola ile temastadır. Bu durumda alüminyum kutunun kalınlığı boyunca, iç ve dış yüzeydeki sıcaklık farkından dolayı bir ısı transferi olacaktır. Böylece Al kutu içindeki kola ısınacaktır. Bu olaya iletim ile ısı transferi veya Fourier ısı iletim kanunu denir ve birim alandan birim zamanda transfer edilen ısı

$$Q = -k \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} \quad (2.2)$$

ifadesi ile verilir. Burada k, ısı iletim katsayısı ($W/(m \cdot ^\circ C)$); T, sıcaklık ($^\circ C$); Δx , yüzeyin kalınlığıdır (m).

2.1.3 Taşınım

Hareketli akışkan (su, hava) ile sabit katı veya sıvı bir yüzey arasındaki ısı transferidir. Ve birim alandan birim zamanda transfer edilen ısı

$$Q_{Ta} = h \cdot \Delta T = h \cdot (T_y - T_\infty) \quad (2.3)$$

ifadesi ile verilir. Burada h, ısı taşınım katsayısı ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$); T_y , yüzey sıcaklığı ($^\circ C$); T_∞ , havanın sıcaklığıdır ($^\circ C$).

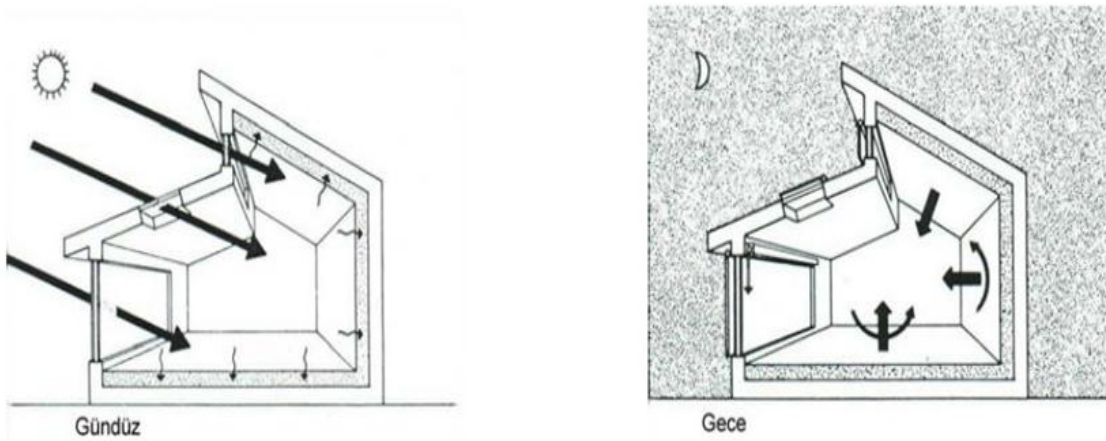
2.2 Doğrudan Kazançlı Pasif sistemler

Doğrudan kazançlı pasif sistemler genelde seraların ve konutların ısıtılmasında kullanılır. Bilhassa 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizinden sonra konutlarda güneş enerjisinden yararlanılarak pasif ısıtma ve soğutmaya yönelik çalışmalar artmıştır. Kış güneşinin yatık, yaz güneşinin ise dik gelmesinden en iyi şekilde yararlanmak için Güneş Mimarisi geliştirilmiştir. Günümüzde yalıtım malzemelerindeki gelişmeler kullanılarak binaların güney cepheleri daha geniş pencereler içerecek şekilde tasarlanarak güneş ışınlarının gün boyunca mekan içine girmesi ve buraya yerleştirilmiş termik kütleler tarafından depolanması sağlanmaktadır. Gece saatlerinde ise termik kütlelerde depolanmış ısı mekana aktarılır. Termik kütle

güneş ışınlarının çoğunu karşılayacak şekilde mekan içine yerleştirilmelidir. Gerekirse yansıtıcı yüzeyler kullanılarak ışığın mekan içinde homojen olarak dağılması sağlanmalıdır. Bu metotla güneş enerjisinin dağıtımı, termik kütlenin yüzey sıcaklıklarının daha düşük olmasını ve mekan içindeki sıcaklık dalgalanmalarını önleyecektir.

Ancak bu sistemin de bazı dezavantajları vardır. Bunlar;

- Termik kütlenin gelen güneş ışınlarından tümüyle yararlanamaması ve uygun yalıtım standartlarının doğru uygulanmaması sonucu, pasif ısıtma sistemlerinden gerektiği gibi faydalanılamaz.
- Büyük cam yüzeylerden akşamları ısı kaybından veya parıltıdan dolayı bir rahatsızlık yaratabilir.
- Sabit olmayan mobilyalar termik kütlenin güneş ışıını almasını engelleyerek verimin düşmesine neden olabilir.



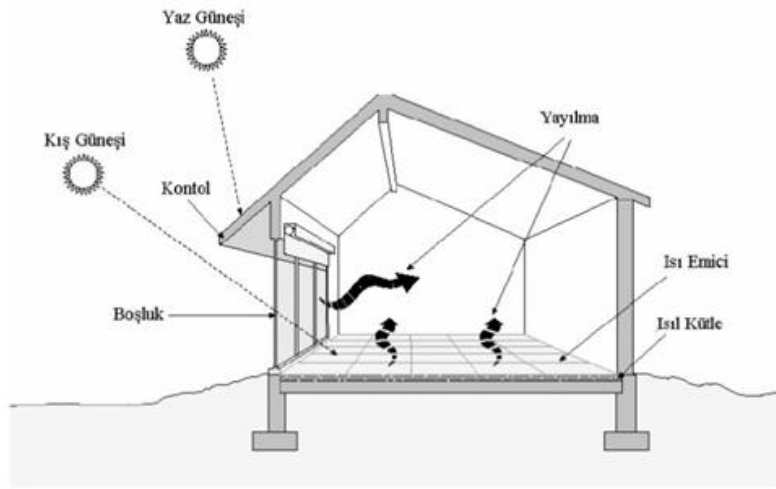
Şekil 2.2. Doğrudan kazançlı pasif sistemi [14]

Yaz aylarında ise doğrudan kazançlı sistemlerde gelen ışınları dağıtan/yansıtan camların kullanımı veya düz cam arkasına açık renkli bir perdenin konması, pencere önlerine panjurların yapılması, gelen güneş ışıınının mekân içerisine girmesini engelleyecek ve mekânın daha serin olmasını sağlayacaktır. Şekil 2.2'de konutlar için doğrudan kazançlı pasif sistemlerin çalışma şeması gösterilmiştir [11,12,15,16].

2.2.1 Pencereleler

Doğrudan kazançlı pasif sistemlerin en etkin ve en basit yöntemi güneş penceresidir. Pencereleler genelde binanın güney cephesine yerleştirilirler. Güneye

bakan pencereler kışın yatık gelen ışınlardan daha fazla yararlanır ve yazın dik gelen ışınlardan üzerlerindeki saçak yardımıyla kolaylıkla korunurlar (Şekil 2.3). Pencerelerden içeriye giren ışınlar duvarlar ve döşemeler tarafından soğurulur ve ısı enerjisine dönüşür. Mekanın sıcaklığı azaldığında bu ısı ışıınım ve taşınım yoluyla tekrar mekana verilir. Bu sistemin en önemli avantajları basit ve kolay uygulanabilmesi ve binaya ek bir maliyet getirmemesidir. Ancak pencerelerden dışarıya olan kayıpları engellemek en önemli sorundur. Bu sorunu gidermek için de pencereler çift camlı yapılır ve gece saatleri için hareketli yalıtım kullanılır [15].



Şekil 2.3. Güneye yerleştirilmiş pencerelerin çalışma prensibi

2.2.2 Çatı Açıklıkları

Binanın güney cephesinden yeterli güneş ışığı alınamadığı taktirde kullanılan bir yöntemdir. Ancak yükseğe yerleştirilmiş bu açıklıklar (Şekil 2.2) pencereler kadar verimli değildir. Isınan havanın hafifleyerek yükselmesi prensibiyle, kışın mekanın ısınmasında çok verimli olmasa da yazın mekanın soğutulması için daha uygun olduğu söylenebilir [15].

2.2.3 Seralar

Seralarda yetiştirilecek ürünlerin kaliteli olması için ortam sıcaklığının en uygun düzeyde olması gerekmektedir. Bulunulan yöre ve yetiştirilen ürün çeşidine göre, fosil yakıtlarla yapılan ısıtma uygulamalarında, ısıtma giderleri toplam üretim giderlerinin %60-70'ine ulaşmaktadır. Daha temiz bir çevreye sahip olmak için ve daha düşük maliyetlerle ürün yetiştirmek amacıyla seralarda güneş enerjisi kullanılır. Seralarda güneş enerjisinden yararlanmak için plastik ve cam gibi şeffaf örtü kullanılır ve bu örtüden güneş ışınlarının içeriye girmesi sağlanır (Şekil 2.4).

Seralarda güneş enerjisi kullanımında en önemli mesele gelen güneş ışınlarını ısı enerjisine dönüştürmek ve bu enerjiyi gece ve bulutlu saatlerde kullanmak için depolamaktır [17].



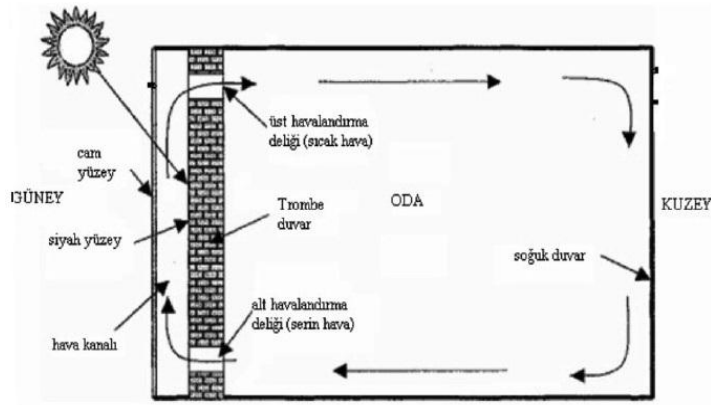
Şekil 2.4. Seranın dış görünüşü

2.3 Dolaylı Kazançlı Aktif ve Pasif Sistemler

Dolaylı kazançlı pasif ısıtma sistemlerinde ısı, bir cam yüzey arkasına yerleştirilmiş, tercihen siyaha boyanmış veya seçici yüzeye sahip beton, dolu tuğla, kerpiç veya taş gibi ısı depolamaya uygun bir ısıl kütleden iletim yoluyla yüzeye, ışıınım ve taşınım yoluyla iç ortama transfer edilir. Dolaylı kazançlı pasif sistemlerde fan veya pompalar kullanılırsa sistem aktif sistem olacaktır. Bu şekilde hem pasif hem de aktif olarak kullanılan bazı sistemler aşağıda anlatılmıştır.

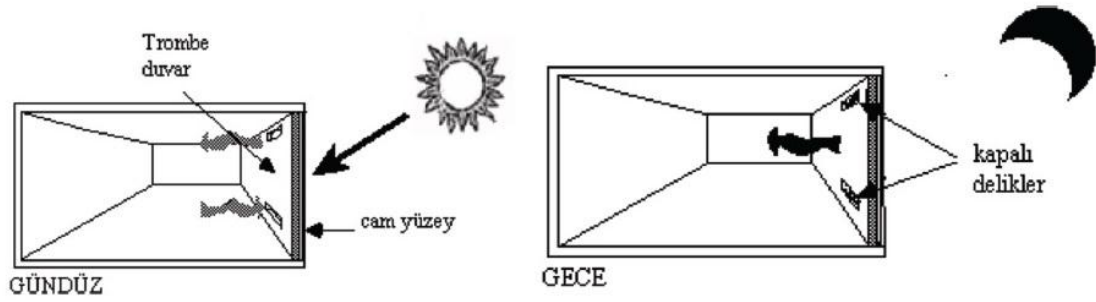
2.3.1 Trombe Duvarı

Bu sistem, 1960'larda Odeillo-Fransa'daki Centre Nationale de la Revherche Scientifique (CNRS)'de geliştirilmiş ve bu duvarı geliştirenlerden biri olan Dr. Felix Trombe'nin adıyla anılır [18]. Temelde bu sistem çift camlı giydirme bir cephenin arkasına yerleştirilen bir duvar türüdür. Bu sistemlerde Güneş ışıınımı yaşama mekânlarına girmez. 20-45 cm kalınlığındaki Trombe duvarının dış yüzeyinin dokusu genellikle pürüzlü, sert bir dokudur. Dış yüzeyi siyah veya koyu bir renge boyanmıştır. Duvar üstlerinde ve altlarında kapaklı havalandırma boşlukları bulunmaktadır (Şekil 2.5). Gündüz saatlerine bu havalandırma boşluklarından hava sirkülasyonu yapılır. Uygun hava akımı için duvar ile cam arasındaki derinlik en az 10 cm olmalıdır. Gece saatlerinde kapaklar kapatılır ve duvarda depolanmış ısı ışıınım ve taşınım ile mekana aktarılır (Şekil 2.6).

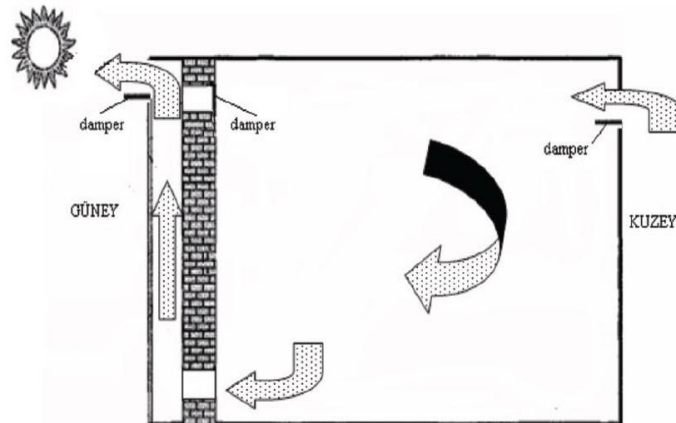


Şekil 2.5. Trombe duvarın çalışma prensibi

Trombe duvarı dış yüzeyinden izole edilmediği takdirde, geceleyin ısı kaybedilmesi söz konusu olur. Havalandırma boşlukları elle veya otomatik kumanda edilen kapaklarla kapatılmalıdır. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi yaz aylarında ise üst kapak kapatılır ve cam yüzeyin üst kısmında bulunan kapak açılır ve böylece havalandırma sağlanırken binanın soğutulmasında etkili olur [15,18].



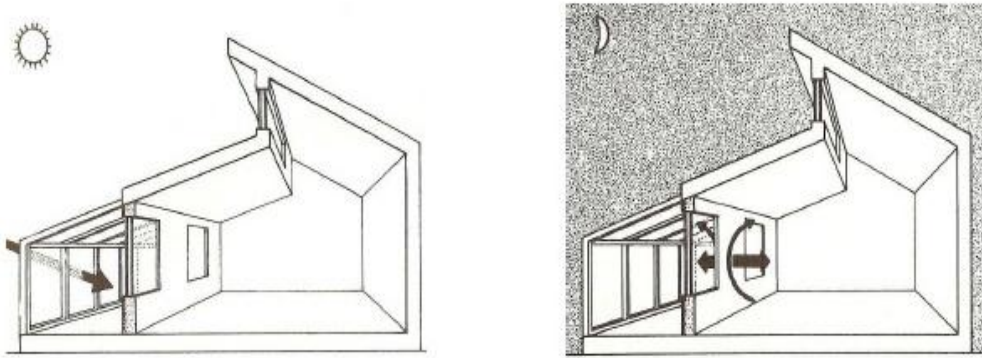
Şekil 2.6. Trombe duvarının gündüz ve gece çalışması



Şekil 2.7. Trombe duvarı ile yaz aylarında havalandırma

2.3.2 Kış Bahçeleri ve Cam Balkon Sistemleri (Güneş Odası)

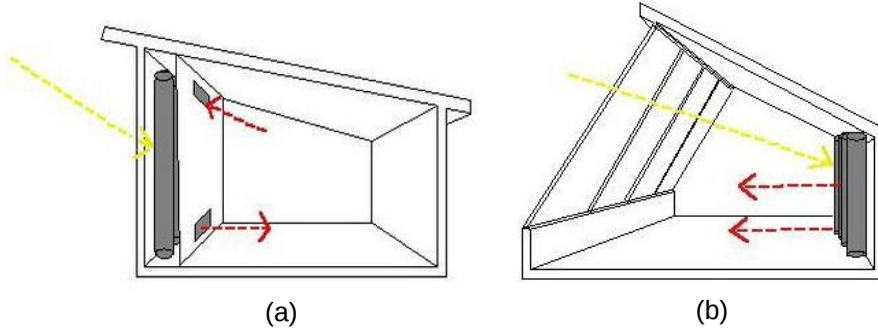
Trombe duvarı sisteminde, cam yüzey ile ısı depolayıcı duvar arasında yer alan boşluk büyütülerek ilave güneş mekanları olarak adlandırılan bir mekana dönüştürülmesi şeklinde güneş odası oluşturulur (Şekil 2.8). Güneş odası, güneş enerjisinden yararlanma işlevini yerine getirmekle beraber yapının bir bölümü olarak da kullanılabilir. Güneş odasının verimli olması için uzun kısmın doğu-batı yönünde olması gerekmektedir. Bir güneş odası; açık kapılar, pencereler, havalandırma boşlukları, bina ile güneş odası arasındaki tuğla duvarlar veya su duvarları sayesinde güneş enerjisinden elde edilen ısınn binaya iletilmesine yardımcı olur. Genellikle iyi bir hava akımı sağlayabilmek için biri yüksekte biri alçakta olmak üzere, bina ile güneş odası arasında iki açıklık bulunması tavsiye edilir. Ilımlı iklimler dışındaki bütün iklimlerde güneş odalar plastik, cam elyafı veya camdan meydana gelen iki katman şeklinde olmalıdır. Böylelikle hava akışı daha rahat sağlanacaktır [14].



Şekil 2.8. Güneş odası çalışma prensibi [14]

2.3.3 Su Duvarı

Isının depolanması için gerekli olan su düşey borularda veya kanallarda, cam elyafı tüplerde veya özel olarak inşa edilen duvardan duvara, tavandan döşemeye depolama ünitelerinde saklanır. Doğrudan güneşe bakan cephelerin arkasına veya direkt kazanç sistemi için odanın arkasına yerleştirilir (Şekil 2.9). Su kullanmada en önemli problemler buharlaşma, korozyon ve sızmadır. Uygun malzemeler kullanılarak bu tip problemler giderilir ve sistemlerin ömrü 15-30 yıla çıkartılır [15,19].



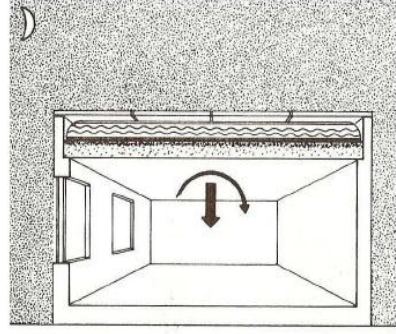
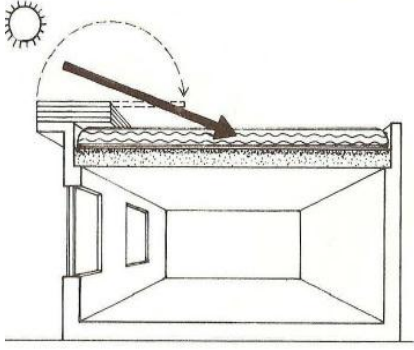
Şekil 2.9. a. Dolaylı su duvarı, b. Direkt kazançlı su duvarı

2.3.4 Çatı Havuzları

Dayanıklı metal tavanların üzerine yerleştirilen büyük plastik su havuzlarıdır (Şekil 2.10). Genelde derinlikleri 15-30 cm'dir. Su burada ısısal kütle görevi görerek depoladığı ısıyı, havuzun tabanından binanın tavanına iletimle transfer etmekte ve daha sonra alttaki odaya ışınlımla ısı geçişi sağlanmaktadır. Havuzun üst yüzeyi şeffaf bir örtü ile kapatılarak sera etkisi yaratılır ve verimlilik artırılır. Ayrıca bu olay havuzun içindeki ısının hapsedilmesine de yardımcı olur. Hareketli sert bir yalıtım ise kışın geceleri, yazın da gün boyunca kullanılmaktadır. Sadece havuzların altındaki mekanlar ısıtıldığından bu sistemle ısıtılan binalar ısı geçişini sağlayan bazı ayrıcalıklı binalar dışında tek katlıdır. Yazın süreç değişmekte ve güneş ışınlarını engellemek için yalıtım tabakası gün boyunca havuzun üzerinde kalmaktadır.

Kışın güneş enerjisinin toplanması zayıf olduğu için, donma ve kar yükü potansiyel problemler olarak ortaya çıkar. Bu nedenle çatı havuzlarının en çok sıcak iklimlerde ve 35° kuzey enlemi veya onun altındaki enlemlerde kullanılması uygundur. Nispeten soğuk iklimlerde, binanın çatısının güney yüzeyleri camla yapılarak çatı havuzları güneş ışınlarını alacak şekilde eğimli camların altına yerleştirilirler.

Bu sistemlerde en önemli sorun havuz içerisindeki suyun ağırlığının bina tarafından taşınabilmesidir. Doğal olarak çatı, suyunun ağırlığını taşımak üzere takviye edilmelidir ve ısı kaybının önlenmesi için gece ve bulutlu havalarda camların yalıtımının sağlanması oldukça önemlidir [14,15].



Şekil 2.10. Çatı havuzu [14]

3. GÜNEŞ DUVARI

3.1 Güneş Duvarı (Yalıtımsız Delikli Güneş Kollektörü)

Güneş duvarının yapısı, kullanım alanları, verimliliklerinin artırılması, gibi ekonomik ve teknik özellikleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [20-32]. Bu incelemeler sonucunda güneş duvarının teknik ve ekonomik özellikleri aşağıda tartışılmıştır.

Güneş duvarı binaların ısıtılmasında kullanılan yardımcı bir sistemdir. Bu sistem Trombe duvarına çok benzer. Bu sistemin Trombe duvarından asıl farklı sürekli olarak içeriye temiz hava sağlamasıdır. Isıtılacak olan temiz hava bu sistemden geçirilerek ön ısıtma sağlanır. Böylece binanın ısıtma sisteminin yükünü azaltarak, maddi anlamda tasarruf ve içeriye verdiği temiz hava sayesinde de daha konforlu bir ortam sağlar. Trombe duvarında ise mekan içindeki havanın ısıtılmasından dolayı hava tazeliğini yitirir. Aynı zamanda güneş duvarı sistemleri; dış hava ile duvar arasında bir bariyer oluşturarak, yıl boyunca bina duvarından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarını da en aza indirir.

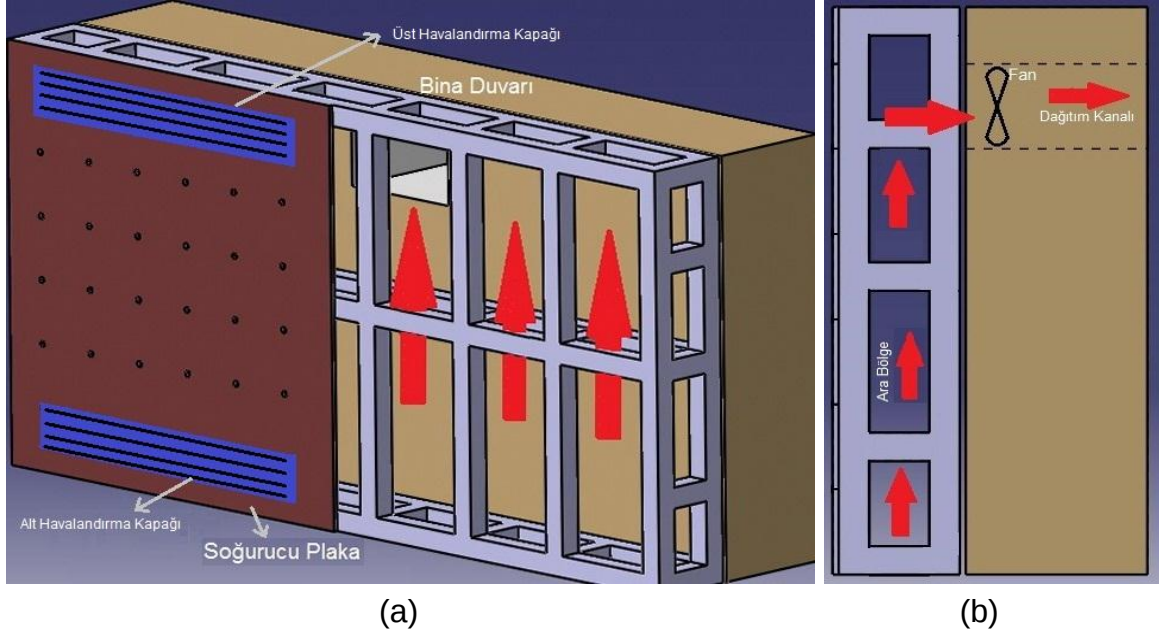
Bu sistemler havalandırma sistemlerine ek olarak, tarımsal ürünlerin kurutulmasında ve Fotovoltaik pillerin aşırı derecede ısınmasını engellemek için de kullanılmaktadır.

3.2 Güneş Duvarının Yapısı

Güneş duvarı binaların güney cephesine, binadan yaklaşık 10-30 cm uzaklığa yerleştirilir. Bu sistem Trombe duvarından farklı olarak önünde cam olmayan, delikli yapıya sahip soğurucu (absorber) metal bir yüzeyden oluşur. Soğurucu yüzey olarak; kalınlığı genelde 1 mm civarında olan ve yüzeyi boya ya da seçici yüzey kaplama ile kaplanmış ısı iletim katsayısı yüksek alüminyum veya çelik levhalar kullanılır. Bakır pahalı olduğu için genelde tercih edilmez. Soğurucu yüzeyin seçici yüzey ile kaplanmasındaki amaç ışınlama ile oluşan ısı kayıplarını en aza indirmektir.

Güneş duvarındaki soğurucu plaka genelde ince olmasından dolayı oluklu olarak yapılır. Böylelikle havanın daha fazla yüzeyle temas ettirilmesi sağlanırken aynı zamanda soğurucu yüzeyin rüzgâr ve diğer etkenlere karşı mukavemeti de artırılmış olur. Soğurucu plakanın ince yapılmasının nedeni; plakanın her yerinin homojen ve hızlı bir şekilde ısınabilmesi içindir.

Şekil 3.1’de güneş duvarının sembolik çizimi yapılmıştır. Görüldüğü gibi güneş duvarları binanın yüzeyine ve dikey yönde hava akışını sağlayacak şekilde çelik konstrüksiyon üzerine yerleştirilen delikli soğurucu yüzey, soğurucu yüzeyin altında ve üstünde bulunan havalandırma kapakları, bu yüzey ile bina arasında kalmış ara bölge (plenum), ara bölgede ısınan havayı istenen bölgeye taşıyacak dağıtım kanalları ve fandan oluşur.



Şekil 3.1. Güneş duvarların bina duvarının üzerine yerleştirilmesi, a. Perspektif
b. Sağdan görüntü

3.3 Güneş Duvarının Çalışma Prensibi

Güneş duvarlarının çalışması dört bölgede incelenir (Şekil 3.2). 1. bölge hemen soğurucu plakanın önündeki yüzeydir (soğurucu plakanın yaklaşık 60-70 cm uzağına kadar olan bölgeyi temsil eder). 2. bölge soğurucu plakanın üzerindeki deliklerin içini ve havalandırma kapaklarını içerir. 3. bölge ise ara bölgedir. 4. ve son bölge dağıtım kanal kapağı, fan ve dağıtım kanalıdır.

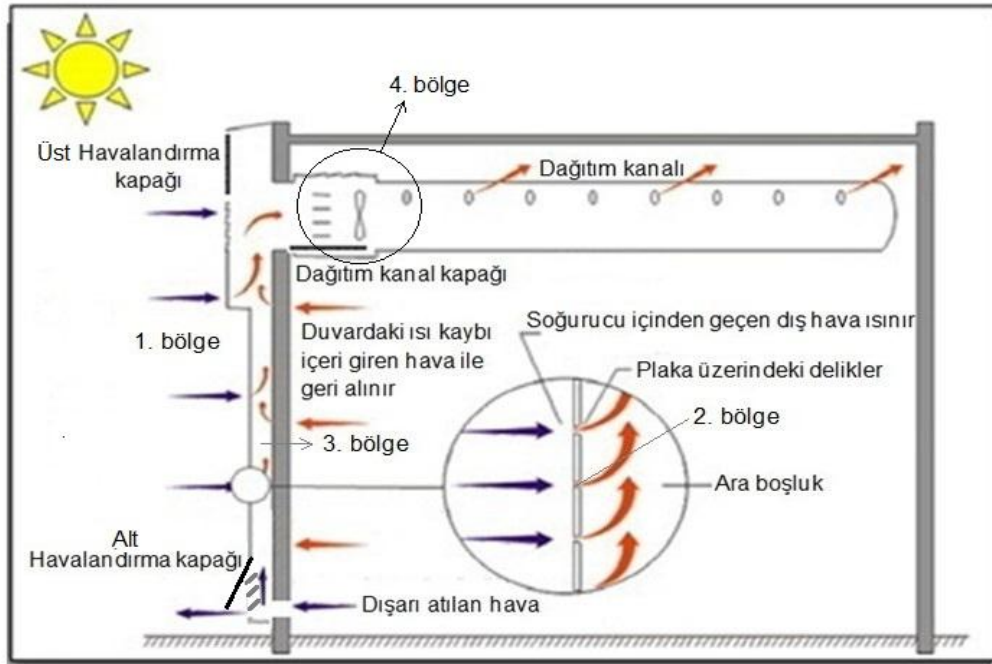
Güneş duvarı sistemlerinin çalışması yaz ve kış uygulaması olarak ikiye ayırabiliriz.

Kış uygulamasında; 2. bölgedeki üst havalandırma kapağı kapalı, alt havalandırma kapağı ve 4. bölgedeki dağıtım kanal kapağı açık durumdadır. Alt havalandırma kapağının kısmen açık olmasıyla bina içinden çıkan havanın bir kısmı buradan dışarı atılır, kalan kısmı tekrar ısıtılmak üzere ara bölgeye girer. Ara bölgeye giren

bu hava 1. bölgedeki ve 2. bölgedeki ısınan temiz hava ile birleşerek 4. bölgedeki dağıtım kanalı kapağının açık olmasıyla mekan içine girer.

Havanın ısınması ve mekan içine alınması ise aşağıdaki gibi olmaktadır.

Gelen güneş ışınlarıyla ısınan delikli soğurucu yüzeyin hemen önünde (1. bölge) sistem içine deliklerden girmeye çalışan hava öncelikle burada yüzeye temas ederek taşınım ve ışınlıma ısınmaya başlar. Isınma işleminin %60-62'si bu bölgede oluşur. Bu bölgede ısınan hava deliklerden geçerken (2. bölge) iletim ve taşınım yoluyla ısınmasına devam eder. Bu geçiş esnasında oluşan ısınma miktarı ise %28-30'luk kısmını sağlar. Son olarak binanın duvarı ile soğurucu yüzey arasındaki ara bölgeye (3. bölge) giren hava ve bina içinden gelen havanın bir kısmı ışınlım ve taşınım yoluyla %10 civarında daha ısınır [22]. Bu hava 4. bölgedeki bir fan yardımıyla ya da doğal yollarla yukarıya doğru çekilir ve kanallar vasıtasıyla istenilen yere gönderilir (Şekil 3.2).

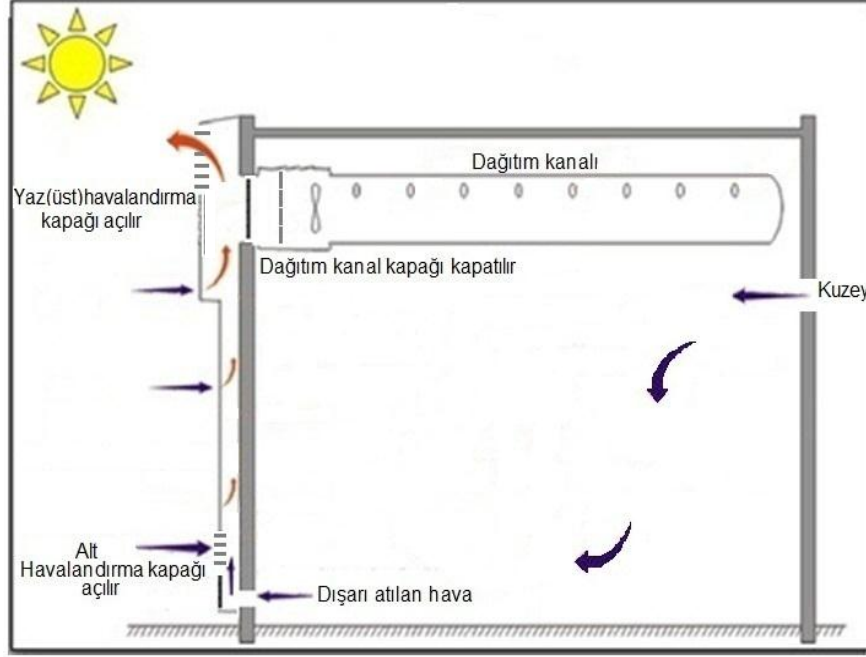


Şekil 3.2. Güneş duvarın çalışma prensibi [10]

Bu sistemlerde fan kullanmasının nedeni; ara bölgede soğurucu yüzey ile sürtünen havanın soğurucu plaka yüzeyinde oluşturduğu basınç düşüşünün ortadan kaldırmasıdır [23].

Yaz uygulamasında ise; Şekil 3.3'de görüldüğü gibi 2. bölgedeki sistemin üst tarafında ve alt tarafında bulunan havalandırma kapakları tamamen açılarak 4.

bölgedeki dağıtım kanal kapağı kapanır ve ara bölgede bir havalandırma kanalı oluşturulur. Böylece soğurucu yüzey güneş ışınlarına karşı kalkan görevi görürken, ara bölgedeki hava akışı da bina duvarının daha serin olmasını sağlar. Aynı zamanda bina içinde kuzeye bakan bir bölgeden açılan pencere yardımıyla daha serin havanın bina içinde dolaşarak 2. bölgeden çıkması sağlanır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Güneş duvarın yazın çalışma prensibi

3.4 Güneş Duvarının Avantajları

Güneş duvarı sistemlerinin avantajlarını dört madde altında toplayabiliriz. Bunlar;

- Kış mevsiminde uygun koşullar sağlandığında bina içine temiz ve sıcak hava girmesini sağladığından bina içindeki hava kalitesini arttığı gibi ısınma için kullanılan enerjiden tasarruf sağlar. Yazın da binanın soğutma yükünü azaltır.
- Bina dışında kalkan gibi durduğundan binayı yağmur, rüzgâr, güneş, nem gibi dış etkenlere karşı korur.
- Dekoratif amaçlı kullanılabildiği için bina yapımında ek bir maliyet getirmez yada çok az getirir. Enerji tasarrufu da sağladığından kısa sürede kendisini amorti edebilir.
- Bütün bu avantajlarının yanı sıra, uzun ömrü (en az 30 yıl) olmasıyla da tercih edilmektedir.

3.5 Güneş Duvarının Verimliliğini Etkileyen Faktörler

Güneş duvarının verimliliğini etkileyen faktörleri; iklim koşulları, yer kısıtlamaları, yüzey kaplaması, delik adımı ve çapı ile fan gücü olarak beş grupta toplayabiliriz:

İklim koşulları: Burada en önemli faktörler güneş radyasyon miktarı ve rüzgâr hızıdır. Güneş radyasyon miktarının belli bir seviyeye kadar artması ile verim artar. Ancak radyasyon miktarı daha fazla arttığı zaman yüzey sıcaklığının artmasıyla dışarıya ışıınım yoluyla daha fazla ısı kaybı gerçekleşir. Bu nedenle verimde düşüş görünür [28].

Rüzgâr hızı artınca yaklaşım hızı da rüzgar hızına bağlı olarak artar. Yapılan deneysel çalışmalarda; yaklaşım hızının (V_s) artması ile verimliliğin arttığı, yaklaşım hızının 0,05 m/s civarına gelmesiyle verimlilikteki artışın sabit kaldığı ve yaklaşım hızının daha da yüksek hızlara çıkmasıyla, rüzgarın soğurucu yüzeyler üzerinde soğutma gerçekleştirerek verimliliğin azaldığı gözlenmiştir [24].

Yer kısıtlamaları: Güneş duvarı sistemlerinden daha iyi verim alabilmek için bu sistemler kuzey yarım kürede bina duvarların güneye bakan cephelerinde, güney yarım kürede ise bina duvarının kuzeye bakan cephesinde ve binaların gölgeleme faktörünün olmadığı geniş yüzeylerinde kurulması gerekmektedir.

Yüzey kaplama: Yüzey kaplamaları iki gruba ayrılır. Bunlar:

1. **Boya ile kaplama:** Bu yöntemde yüzey (alüminyum veya çelik levha) dayanıklı mat siyah boya ile kaplanır. Siyah mat boyanın yüksek güneş ışıınımı yutma oranına (%90-98) karşın yayıcılığı da çok yüksek (%85-92) düzeydedir. Mat siyah boyalarda kullanılan dolgu malzemeleri ve bağlayıcılardaki organik kökler yüzeyin seçicilik özelliklerini tahrip etmektedirler [33]. Böylece bu boyalar sadece atmosferik koşullara karşı koruyucudur.

Ucuz ve imalatı kolay olmasından dolayı genelde güneş duvarlarında soğurucu plaka olarak siyah boya ile kaplama yapılır.

2. **Seçici yüzey kaplamalar:** Seçici yüzey kaplamalarının amacını iki kısma ayırabiliriz. Birincisi aynı boya kaplamalarında olduğu gibi soğurucu plakayı atmosferik koşullardan korumaktır. İkincisi ve asıl amacı ise; kısa dalga boylu ışıınının tamamına yakınının yutulması ve uzun dalga boylu ışıınınların yayıcılığını en aza indirmektir. Böylece

yüksek sıcaklıklarda bile daha az ısınım yayarak verimliliğinin artması sağlanır. Çizelge 3.1’de bazı seçici yüzey kaplamaları ve özellikleri verilmiştir. Buna göre en iyi ve dayanaklı seçici yüzey çelik üzerine nikel üzerine siyah krom kaplamasıdır [33,34].

Çizelge 3.1:Bazı seçici yüzey kaplamaların ve boyanın fiziksel özellikleri [34]

Kaplama	Alt tabaka	Soğurma oranı (α) %	Yayma oranı (ϵ) %	Bozulma sıcaklığı (°C)	Nemin bozucu etkisi
Nikel üzerine siyah nikel	Çelik	0,95	0,07	>288	Değişken
Nikel üzerine siyah krom	Çelik	0,95	0,09	>427	Etkisiz
Siyah krom	Çelik	0,91	0,07	>427	Paslanma
	Bakır	0,95	0,14	316	Çok az
	Paslanmaz Çelik	0,95	0,16	>427	Yok eder
Siyah bakır	Bakır	0,88	0,15	316	Yok eder
Demir oksit	Çelik	0,85	0,08	427	Çok az
Mangan oksit	Alüminyum	0,70	0,08		Çok az
Demir oksit üzerine organik kaplama	Çelik	0,90	0,16		Çok az
Siyah krom üzerine organik kaplama	Çelik	0,94	0,20		

Delik adımı ve çapı: Soğurucu yüzey üzerindeki delik çapının büyümesi ile termal verim düşmeye başlar aynı zamanda termal verim, delik çapı sabitken delik adımının büyümesiyle de düşer. Bu yüzden delik çapı ve delik adımı için optimum bir değer bulunmalıdır. Bu değerlerin hesaplanmasında rüzgâr hızı ve fan gücü de belirleyici bir faktördür. Ayrıca delik adımı her zaman için delik çapından daha büyük olmalıdır.

Fan gücü: Verimliliği etkileyen bir faktör de fan gücüdür. Binalarda yüksek sıcaklık istenildiğinde, fan gücünün azaltılması ve düşük sıcaklık istenildiğinde ise fan gücünün artırılması gerekecektir. Fan gücünün artışı veya azalması, ara bölgedeki

- Ara bölgede ve soğurucu plaka üzerindeki hava sıcaklığının (T_s, T_a) düzgün dağılmış olduğu kabullenmeleri yapılmıştır.

Motahar ve arkadaşları tarafından [27] soğurucu plaka yüzeyinin üzerindeki enerji dengesi:

$$q_{giriş} + q_{rad,d-s} = q_{t,s-h} + q_{t,kayıp} + q_{rad,kayıp} \quad (3.1)$$

ifadesi ile verilmiştir. Bina duvarının dış yüzeyi üzerindeki enerji dengesi ise:

$$q_{i,d} = q_{t,d-a} + q_{rad,d-s} \quad (3.2)$$

ifadesi ile verilir. Burada $q_{giriş}$, soğurucu plakada soğurulan ısı; $q_{rad,d-s}$, bina duvarının dış yüzeyinden soğurucu plakaya ışınlama ile aktarılan ısı; $q_{t,s-h}$, soğurucu plakadan taşınım yoluyla deliklerden geçen hava ve ara bölgesindeki havaya aktarılan ısı; $q_{t,kayıp}$, soğurucu plakadan taşınım yoluyla çevreye verilen ısı; $q_{rad,kayıp}$, soğurucu plakadan ışınlama yoluyla çevreye verilen ısı; $q_{i,d}$, iç ortam sıcaklığının bina duvarının dış yüzeyine iletim ve taşınım yoluyla olan ısı transferi; $q_{t,d-a}$, bina duvarının dış yüzeyinden ara bölgesindeki havaya taşınım yoluyla aktarılan ısıyı ifade etmektedir.

$q_{t,kayıp}$ ile $q_{rad,kayıp}$ Eşitlik 3.1'de verilen soğurucu plaka üzerindeki kayıpları oluştururken, diğer enerji grupları soğurucu plaka yüzeyindeki ve ara bölgedeki havanın ısıtılmasını sağlar.

Delikli plakada soğurulan enerji:

$$q_{giriş} = \alpha_s I_T A_s \quad (3.3)$$

ifadesi ile verilir. Burada α_s , soğurucu plakanın soğurma oranı; I_T , yüzey üzerine düşen güneş ışınlama şiddeti (W/m^2) ve A_s , $A_s = (1 - \sigma)A$ ifadesi ile verilen soğurucu plakanın net alanıdır (m^2). σ , plaka üzerindeki deliklerin toplam alana oranı olmak üzere:

$$\sigma = 0,907 \left(\frac{D}{P} \right)^2 \quad (3.4)$$

ifadesiyle verilir. Burada: D, delik çapı (m); P, delik adımıdır (m).

Bina duvarının dış yüzeyinden soğurucu plakaya transfer edilen ısı:

$$q_{rad,d-s} = \frac{\sigma_{sb} A (T_d^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\epsilon_d} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} \quad (3.5)$$

ifadesiyle verilir. Burada T_d , bina duvarının dış yüzey sıcaklığı (K); ε_d , bina duvarının emisyon oranı; ε_s , soğurucu plakanın emisyon oranı olmak üzere $\frac{1}{\varepsilon_d} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1$ ifadesi, soğurucu plaka ile bina duvarının arka yüzeyi arasındaki görünüm faktörüdür.

Soğurucu plaka üzerinden akan hava, sistemin ara bölgesine girerken, soğurucu plakadan havaya taşınım yoluyla aktarılan ısı:

$$q_{t,s-h} = \dot{m}_k C_p (T_a - T_{\text{cev}}) = \dot{m}_k C_p \varepsilon_{HX} (T_s - T_{\text{cev}}) \quad (3.6)$$

ifadesiyle hesaplanır. Burada C_p , havanın sabit basınçta özgül ısısı (J/kgK); T_{cev} , güneş duvarından yaklaşık 60 cm uzaklıkta ölçülen çevre sıcaklığı (1. bölge sıcaklığı) (K); $\dot{m}_k$, $\dot{m}_k = \rho V_s A$ ifadesiyle verilen hava kütle akışı (kg/s); V_s , güneş duvarından yaklaşık 60 cm uzaklıkta ölçülen rüzgârın soğurucu yüzeye yaklaşım hızı (m/s); ρ , havanın yoğunluğu (kg/m³); ε_{HX} , ısı değişim etkinliğidir.

Isı değişim etkinliği havanın soğurucu plakadan geçerken, hava üzerinde olan sıcaklık artışının, mümkün olan en yüksek sıcaklık artışına oranıdır ve:

$$\varepsilon_{HX} = \frac{T_{\text{giriş}} - T_{\text{cev}}}{T_s - T_{\text{cev}}} = 1 - \exp\left(-\frac{k \text{Nu}_D (1-\sigma)}{D \rho V_s C_p}\right) \quad (3.7)$$

ifadesi ile verilir. Burada $T_{\text{giriş}}$, havanın binaya giriş sıcaklığı (K), ($T_{\text{giriş}} \cong T_a$); k , havanın ısı iletim katsayısı (W/m.K); Nu_D , deliğin Nusselt sayısıdır.

Nusselt sayısı yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyantıdır. Taşınım ile ısı transferinin iletimle ısı transferine oranı şeklinde ifade edilir. Nu sayısı büyüdükçe taşınım etkisi artar. $0,1 < \sigma < 0,5$ ve $100 < \text{Re}_D < 2000$ için deliğin Nusselt sayısı:

$$\text{Nu}_D = 2,75 \left[\left(\frac{P}{D} \right)^{-1,2} \text{Re}_D^{0,43} + 0,011 \sigma \text{Re}_D \left(\frac{V_\infty}{V_s} \right)^{0,48} \right] \quad (3.8)$$

ifadesi ile verilir. Burada V_∞ , açık havadaki rüzgâr hızı (m/s); Re_D , $\text{Re}_D = V_D \left(\frac{D}{\nu} \right)$ ifadesiyle verilen delikteki Reynolds sayısı (Re sayısı bir akışta, akışın laminar veya türbülanslı olduğunu belirleyen sayıdır); ν , kinematik viskozite (m²/s); V_D , $V_D = \frac{V_s}{\sigma}$ ifadesiyle verilen rüzgârın delikten geçerkenki hızıdır.

Güneş duvarı için taşınım ile çevreye olan ısı kaybı ihmal edilemez ve:

$$q_{t,\text{kayıp}} = h_{\text{kayıp}} A (T_s - T_{\text{cev}}) = \frac{\text{Nu}_{\text{kayıp}} k}{Y} A (T_s - T_{\text{cev}}) \quad (3.9)$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Burada $h_{kayıp}$, ısı taşınım katsayısı ($W/m^2.K$); Y , soğurucu plaka yüksekliği (m) ve $Nu_{kayıp}$, kayıp Nusselt sayısı:

$$Nu_{kayıp} = 0,82 \frac{\rho C_p V_{\infty}^{\theta}}{k V_s} C_f \quad (3.10)$$

ifadesiyle hesaplanır. Burada C_f , oluk faktörüdür.

Radyasyon yoluyla çevreye olan ısı kaybı:

$$q_{rad,kayıp} = \varepsilon_s \sigma_{sb} A_s (T_s^4 - T_{\infty}^4) \quad (3.11)$$

ifadesiyle verilir. Burada σ_{sb} , Stefan Boltzman sabiti ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$); T_{∞} , dış ortam sıcaklığını (K) ve

$$T_{\infty}^4 = 0,5(T_{gök}^4 + T_{zemin}^4) \quad (3.12)$$

ifadesiyle verilir. Burada $T_{gök}$, $T_{gök} = 0,0552 T_{çev}^{1,5}$, ($T_{zemin} \cong T_{çev}$) ifadesi ile verilen gökyüzü sıcaklığıdır.

İç ortam sıcaklığının, bina duvarının dış yüzeyine iletim ve taşınım yoluyla olan ısı transferi:

$$q_{i,d} = k_{i,d} A (T_{oda} - T_d) \quad (3.13)$$

ifadesi ile verilir. Burada $k_{i,d}$; bina duvarının birleşik ısı iletim katsayısı ($W/m^2.K$) dır.

Bina duvarının dış yüzeyinden ara bölgesindeki havaya taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferi:

$$q_{t,d-a} = h_Y A (T_d - T_a) = \frac{k Nu_Y}{Y} A (T_d - T_a) \quad (3.14)$$

ifadesinden elde edilir. Burada h_Y , ısı taşınım katsayısı ve Nu_Y , soğurucu plakanın yüksekliğine bağlı olan Nusselt sayısıdır ve

$$Nu_Y = \begin{cases} 0,664 Re_Y^{0,5} Pr^{0,333} & Re_Y < 5 \times 10^5 \\ (0,037 Re_Y^{0,8} - 871) Pr^{0,333} & Re_Y > 5 \times 10^5 \end{cases} \quad (3.15)$$

ifadesinden elde edilir. Burada Pr , $Pr = \theta/\alpha$ ifadesiyle verilen Prandtl sayısıdır (gazlarda yaklaşık 1'dir) ve α , havanın termal difüzyonudur.

En son olarak da binaya aktarılan ısı:

$$q_f = \dot{m}_k C_p (T_{giriş} - T_{çev}) = \dot{m}_k C_p (T_a - T_{çev}) \quad (3.16)$$

ifadesiyle verilir. Buna göre güneş duvarlarında verim;

$$\eta = \frac{q_f}{I_T A} = \frac{\dot{m}_k C_p (T_a - T_{\text{cev}})}{I_T A} \quad (3.17)$$

ifadesiyle bulunur.

Motahar ve arkadaşları [27] havanın termofiziksel özelliklerini hesaplamak için, Incropera ve arkadaşlarının [35] yaptığı çalışmalara uygun olan $f(T) = AT_{\text{cev}}^4 + BT_{\text{cev}}^3 + CT_{\text{cev}}^2 + DT_{\text{cev}} + E$ polinom eğrisini elde etmişlerdir. Bu eğrideki sabitler Çizelge 3.2’de verilmiştir. Havanın yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi de $\rho = 360.7782T^{-1.00336}$ (kg/m³) olarak hesaplanmıştır [27].

Çizelge 3.2:Hava özelliklerini bulmak için kullanılan sabitler [27]

f(T)	A	B	C	D	E
C _p (J/kg.K)	1,933E-10	-7,999E-07	1,141E-03	-4,489E-01	1,058E+03
ν (m ² /s)	0	-1,156E-14	9,573E-11	3,760E-08	-3,448E-06
k (W/m-K)	0	1,521E-11	-4,857E-08	1,018E-04	-3,933E-04
α (m ² /s)	0	0	9,102E-11	8,820E-08	-1,065E-05

Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2’deki ifadeler yerlerine konulsa

$$\alpha_s I_T A_s + \frac{\sigma_{sb} A (T_d^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\epsilon_d} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} = \dot{m}_k C_p \left[1 - \exp \left(- \frac{k \text{Nu}_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p} \right) \right] (T_s - T_{\text{cev}}) + \epsilon_s \sigma_{sb} A_s (T_s^4 - T_{\infty}^4) + \frac{\text{Nu}_{\text{kayıp}} k}{Y} A (T_s - T_{\text{cev}}) \quad (3.18)$$

$$k_{i,d} A (T_{\text{oda}} - T_d) = \frac{\sigma_{sb} A (T_d^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\epsilon_d} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} + \frac{k \text{Nu}_Y}{Y} A (T_d - T_a) \quad (3.19)$$

ifadeleri elde edilir. Burada ara bölge sıcaklığı (T_a) ile binaya giriş sıcaklığı (T_{giriş}) yaklaşık eşit kabul edilir. Eşitlik 3.7’den elde edilen giriş sıcaklığı (T_{giriş} ≅ T_a) Eşitlik 3.19’da yerine konulursa

$$k_{i,d} A (T_{\text{oda}} - T_d) = \frac{k \text{Nu}_Y}{Y} A \left(T_d - \left(T_{\text{cev}} + \left[(T_s - T_{\text{cev}}) \left(1 - \exp \left(- \frac{k \text{Nu}_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p} \right) \right) \right] \right) \right) + \frac{\sigma_{sb} A (T_d^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\epsilon_d} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} \quad (3.20)$$

ifadesi elde edilir.

Şimdi Eşitlik 3.18 ve 3.20’de bina duvarının dış yüzey sıcaklığı ve soğurucu plaka sıcaklığı olarak iki belirsiz vardır. Bu iki belirsizi elde etmek için Newton yöntemi kullanılır [36].

Bu yöntemde fonksiyonun herhangi bir noktaya yakın olan kökünü bulmak için; bu noktada fonksiyonun türevi alınarak, o noktadaki fonksiyonun teğeti bulunur. Bu teğetin x eksenini kestiği yer

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x)}{f'(x)} \quad (3.21)$$

ifadesi ile verilir. Bu işlemler maksimum yineleme sayısına veya hata miktarına ulaşıncaya kadar devam eder.

Eşitlik 3.7’den elde edilen sıcaklık artışı (ΔT) eşitlik 3.17’de yerine konulursa verim

$$\eta = \frac{\dot{m}_k C_p}{I_{TA}} (T_s - T_{\text{cev}}) \left[1 - \exp \left(- \frac{k \text{Nu}_D (1 - \sigma)}{D_p V_s C_p} \right) \right] \quad (3.22)$$

ifadesiyle verilir.

3.18, 3.20 ve 3.22 ifadelerinde çok sayıda değişken vardır ancak bu değişkenlerden bazıları (çevre sıcaklığı, rüzgar hızı, güneş ışınım şiddeti) doğanın belirlediği değişkenlerden olup bu değişkenlerin belirlenmesinde coğrafik faktörler ön plandadır. Diğer değişkenler ise (soğurucu plaka yüksekliği ve uzunluğu, delik çapı ve adımı, soğurucu plakanın soğurma oranı, soğurucu plakanın emisyonu, oluk faktörü) kuruluş/montaj aşamasında istenildiği gibi ayarlanabildiği için tamamen bizim seçimimize bağlıdır.

Çizelge 3.3’te ayarlanabilen ve ayarlanamayan parametreler olarak gösterdiğimiz bu değişkenlerin, tarafımızdan belirlenen değerleri Eş. 3.18, 3.20 ve 3.22’nin çözümü için kullanılmıştır.

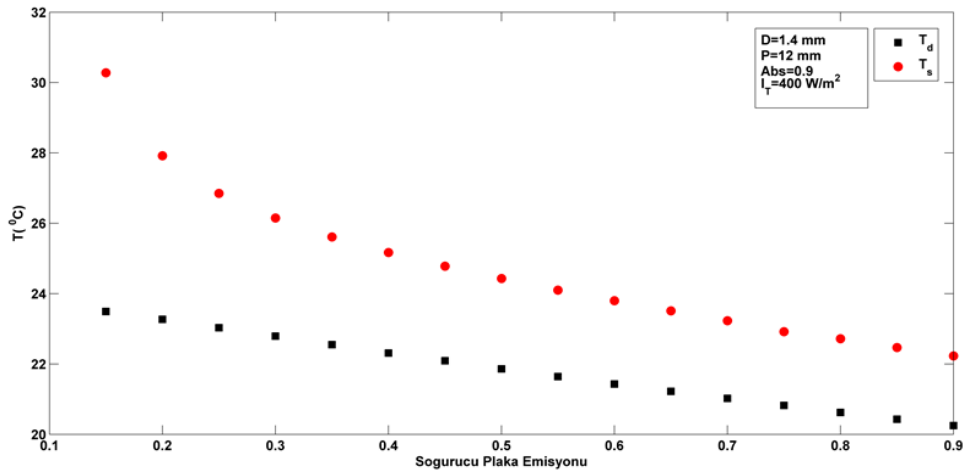
Güneş duvarı sistemlerinde verimi etkileyen faktörlerden biri rüzgarın yaklaşım hızıdır. Bu faktör tamamen doğal koşullara bağlı olduğundan değiştirilemez. Ancak yapılan deneysel çalışmalara göre rüzgarın yaklaşım hızı 0,05 m/s’de maksimum değere ulaşırken büyük değerlerinde sabit kaldığı, rüzgar hızı ve yaklaşım hızının daha da büyük değerlerinde, rüzgarın soğurucu yüzey üzerinde soğutma gerçekleştirerek verimi azalttığı gözlenmiştir [24]. 0,05 m/s’lik yaklaşım hızı çok yüksek rüzgar hızlarında elde edildiği için biz bu çalışmada yaklaşım hızını

literatürde de en çok kullanılan 0,02 m/s olarak kabul edip incelemelerimizi buna göre yapacağız.

Çizelge 3.3:Güneş duvarı parametreleri için kullanılan değerler

Ayarlanabilen Parametre	Değer	Ayarlanamayan Parametre	Değer
soğurucu plaka yüksekliği	2 (m)	Çevre sıcaklığı (T_{cev})	10°C
soğurucu plaka uzunluğu	3 (m)	Oda sıcaklığı (T_{oda})	22°C
Delik çapı (D)	değişken	Yaklaşım hızı (V_s)	0,02 m/s
Delik adımı (P)	değişken	Açık havadaki rüzgar hızı (V_{∞})	1,2 m/s
Soğurucu plaka soğurma oranı (α_s)	0,9	Güneş radyasyonu (I_T)	400 W/m ²
Soğurucu plaka emisyonu (ϵ_s)	0,9	Havanın sabit basınçta özgül ısısı (C_p)	f(T) eğrisi kullanılarak bulunur
Bina duvarının birleşik ısı iletim katsayısı ($k_{i,d}$)	1,2	Havanın kinematik viskozitesi (ν)	
Oluk faktörü (C_f)	1	Havanın ısı iletim katsayısı(k)	
Bina duvarının emisyonu (%)	90	Havanın termal difüzyonu (α)	

Çizelge 3.3'teki veriler kullanılarak farklı ϵ_s değerleri için Eş. 3.18 ve 3.20 çözüldüğünde ϵ_s 'ye karşı T_d ve T_s sıcaklıklarındaki değişim Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Buna göre soğurucu yüzeyin emisyon oranı arttıkça T_d ve T_s değerleri azalmıştır. Şekil 3.5'te de görüldüğü gibi maksimum verim için ϵ_s değerinin minimum olması bunun için de seçici yüzey kullanması gerekmektedir.

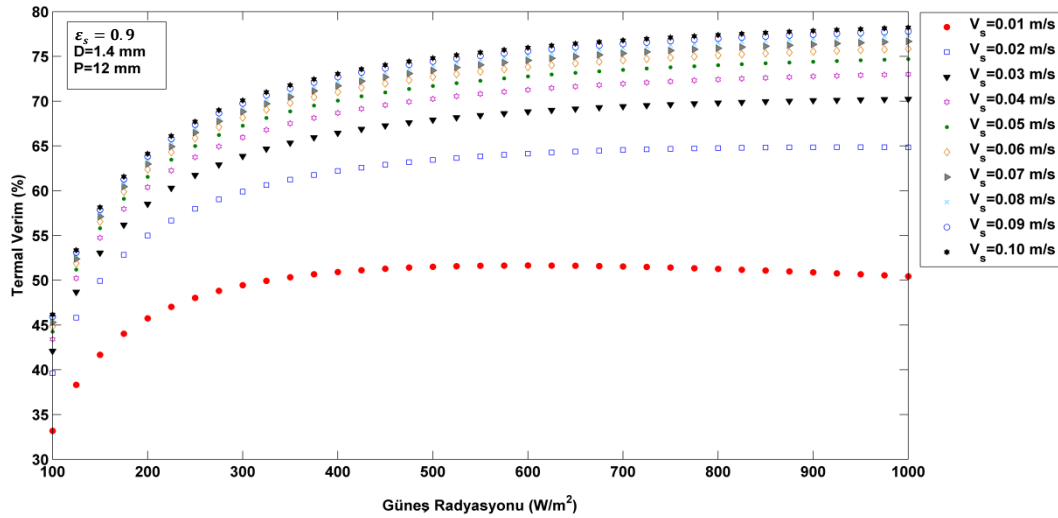


Şekil 3.5. Soğurucu plaka sıcaklığı ve bina duvarının dış yüzey sıcaklığının soğurucu plaka emisyonuna göre değişimleri

Eş. 3.22 kullanılarak on farklı yaklaşım hızı için, güneş ışıınım miktarının değişimine göre verimlilik incelenirse; Şekil 3.6'da görüldüğü gibi radyasyon miktarının yaklaşık 400 W/m^2 değerine kadar artması ile termal verim yüzdesi artarken 400 W/m^2 'nin üzerindeki radyasyon miktarı için termal verim yüzdesi sabit kalmış hatta düşük yaklaşım hızları için azalmıştır.

Aynı zamanda Şekil 3.6'da yaklaşım hızının artması ile termal verimdeki artışın lineer olmadığı da görülmektedir. $V_s=0,05 \text{ m/s}$ 'den sonraki yaklaşım hızlarında verimdeki değişim çok az olurken $0,09 \text{ m/s}$ 'den sonraki yaklaşım hızlarında sabit kaldığı görülmektedir. Teorik olarak yapılan bu çalışma deneysel uygulamalara benzemesinin yanında Eş. 3.22'de rüzgarın soğutucu etkisinin konmaması nedeniyle çok yüksek yaklaşım hızlarında deneysel olarak gözlenen soğutucu etkisi gözlenememiştir.

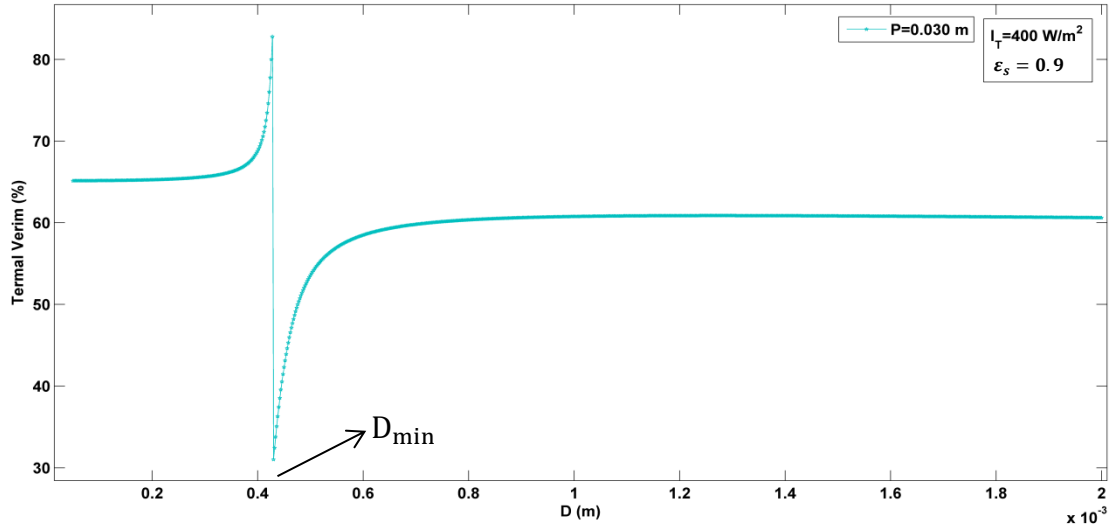
Şekil 3.6'da açıkça görüldüğü gibi güneş duvarı sistemlerinin uygulama alanlarında güneş ışıınım miktarının çok yüksek değerlerde olmasının gereği yoktur. $300\text{-}400 \text{ W/m}^2$ 'lik bir ışıınım değeri bu sistemlerin uygulanması için yeterlidir.



Şekil 3.6. Güneş duvarın üzerine düşen güneş radyasyonuna göre verimin değişimi

Doğa koşullarından bağımsız olarak güneş duvarı sistemlerinde kullanılan malzemenin emisyon ve soğurmasından sonra verimliliği etkileyen en önemli parametreler delik adımı ve delik çapıdır. Her iki parametre birbirine oldukça bağlıdır. Ama belirlenmesi gereken ilk parametre delik çapıdır. Çünkü bina içine alınacak hava miktarı ve akış hızını belirleyen parametre delik çapıdır.

Delik adımı değeri küçüldükçe delik çapının küçük olması gerektiği beklenen bir parametredir. Eş. 3.22 kullanılarak sabit bir delik adımı için farklı delik çaplarında termal verimliliğin değişimi Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi termal verimin delik çapına göre değişiminde asimptotik bir davranış görülmektedir. Buna göre asimptot eğrisinin sol tarafında kalan bölgede delik çapının çok küçük olmasından dolayı sistemin Trombe duvarı gibi çalıştığını söyleyebiliriz. Bu durumda içeriye temiz hava girişi yok derecede kadar azdır.



Şekil 3.7. Termal verimin delik çapına göre değişimi

Asimptot eğrisinin sağında kalan kısım ise güneş duvarı sistemleri için delik çapına göre termal verimliliğin değişimini göstermektedir. Bu bölgeye göre delik çapının termal verim ile ilişkisine bakıldığında minimum termal verimliliği sağlayan delik çapı (D_{min}) değerinden sonraki, küçük artışlarda termal verimde hızlı bir artış gözlenirken delik çapının daha da artmasıyla bu artışın yavaşladığı, hatta çok büyük değerlerde azaldığı görülmektedir.

Aynı davranış farklı adım aralıkları için de gözlenmiştir (Şekil 3.8). Ayrıca delik adım aralıklarının küçülmesiyle; verimin arttığı ve D_{min} değerinin daha küçük değerlere çekildiği görülmektedir.

Her adım aralığı için Şekil 3.8’de gözlenen bu asimptotik pikler aslında adım aralığı için seçilmesi gereken kritik delik çaplarının (D_k) belirlenmesini sağlar. Buradaki D_k değeri D_{min} değerinden çok az küçük olup yaklaşık eşit sayılabilir ($D_k \cong D_{min}$). Ayrıca Şekil 3.8’den her adım aralığı için belirlenen kritik delik çapından

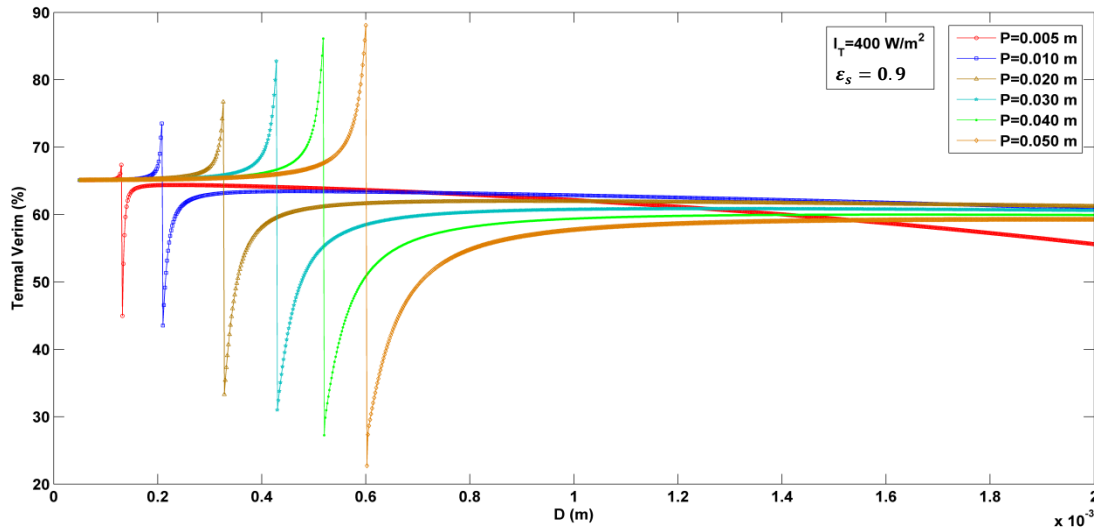
daha küçük delikler için sistemin istenildiği gibi çalışmadığı (içeriye temiz hava girişinin olmadığı) anlaşılmaktadır.

Buna göre $D < D_k$ bölgesi Trombe duvarı davranışı gösterirken $D > D_k$ bölgesi güneş duvarı davranışı gösterir. Delik çapının D_k 'ya eşit olduğu noktada ise Eş. 3.22'deki verim ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\eta = \lim_{D \rightarrow D_k^-} \frac{\dot{m}_k C_p}{I_T A} (T_s - T_{cev}) \left[1 - \exp \left(- \frac{k Nu_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p} \right) \right] = +\infty \quad (3.23)$$

$$\eta = \lim_{D \rightarrow D_k^+} \frac{\dot{m}_k C_p}{I_T A} (T_s - T_{cev}) \left[1 - \exp \left(- \frac{k Nu_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p} \right) \right] = -\infty \quad (3.24)$$

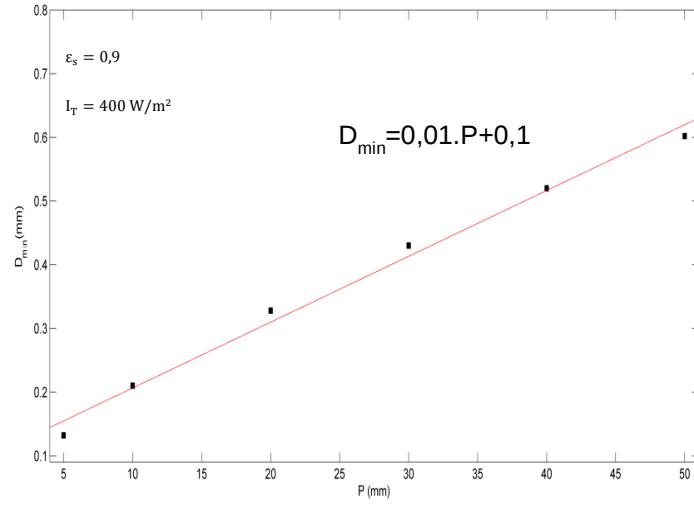
Dolayısıyla güneş duvarı sistemlerinde her adım aralığı değeri için bir minimum delik çapı değeri (D_{min}) vardır. Bu minimum delik çapı değerinin adım aralığı ile değişimine bakıldığında (Şekil 3.9); adım aralığının artmasıyla delik çapının minimum değerinin (D_{min}) lineer olarak arttığı görülmektedir. Bu grafiğe göre farklı adım aralıkları için Çizelge 3.3'te verilen koşullara göre minimum delik çapı hesaplanabilir.



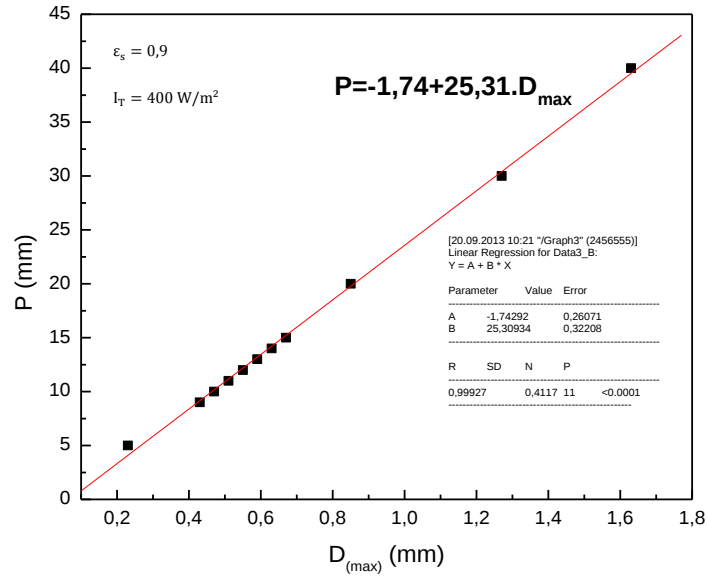
Şekil 3.8. Farklı adım aralıkları için termal verimin delik çapına göre değişimi

Şekil 3.8'e tekrar dönersek sabit adım aralığı için minimum delik çapı değerinden itibaren delik çapı arttıkça termal verimde artma belli bir değerden sonra ise azalma görülmektedir. Her farklı delik adımı için termal verimliliğin maksimum olduğu delik çapı (D_{max}) değeri belirlenip P - D_{max} grafiği çizilirse, eğrinin lineer olarak değiştiği gözlenir (Şekil 3.10). Gözlenen lineer eğrinin eğiminden; seçilecek

olan delik çapı değeri için en iyi delik adımı değerini bulabiliriz . Böylelikle Çizelge 3.3'te verilen koşullar için en yüksek termal verim sağlanmış olur.



Şekil 3.9. Farklı adım aralıkları için minimum delik çapı (D_{min}) değerinin değişimi



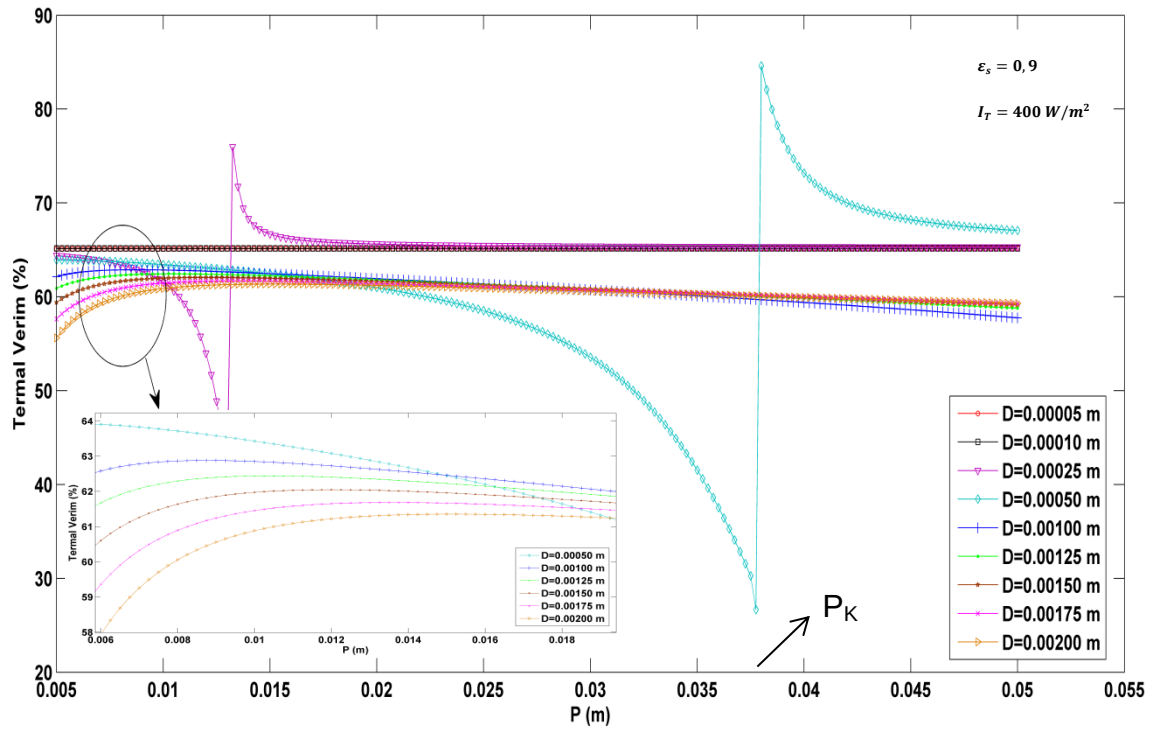
Şekil 3.10. Maksimum verimi sağlamak için maksimum delik çapı değerine göre delik adımının değişimi

Yukarıdaki sonuçlara göre; maksimum verimi sağlamak için delik çapının olabilecek en küçük değerinin belirlenmesi gerekir. Ancak delik çapını seçerken bizi sınırlayan en önemli etken sistemin kurulacağı yerdeki coğrafik koşullardır. Sistemin çevresinde bulunan kum/talaş gibi cisimlerin bu delikleri tıkamamaları gerekmektedir. Bu yüzden öncelikle delik çapı için seçilebilecek en küçük değer

seçilmeli, sonra Şekil 3.10'deki lineer eğrinin eğiminden seçilen delik çapı için maksimum verimliliği sağlayacak en uygun delik adımı belirlenmelidir.

Benzer şekilde Eş. 3.18, 3.20 ve 3.22 kullanılarak termal verimin değişimi delik adımına bağlı olarak dokuz farklı delik çapı için çizersek (Şekil 3.11) Şekil 3.8'in tam tersi bir davranış görürüz.

Şekil 3.11'de görüldüğü gibi farklı delik çapları için delik adımı büyümesi ile, önce termal verimde bir artış ve daha sonra düşüş gözlenmiştir. Delik adımının büyümesi; deliklerin birbirinden uzak olması demektir ve bu da hava akışının azalması anlamına gelir. Hava akışının azalması da kayıpların artması ve böylece termal verimin düşmesine neden olur. Çok büyük delik adımlarında ise hava akışı çok çok az olduğundan sistem güneş duvarı gibi değil de Trombe duvarı gibi davranır.



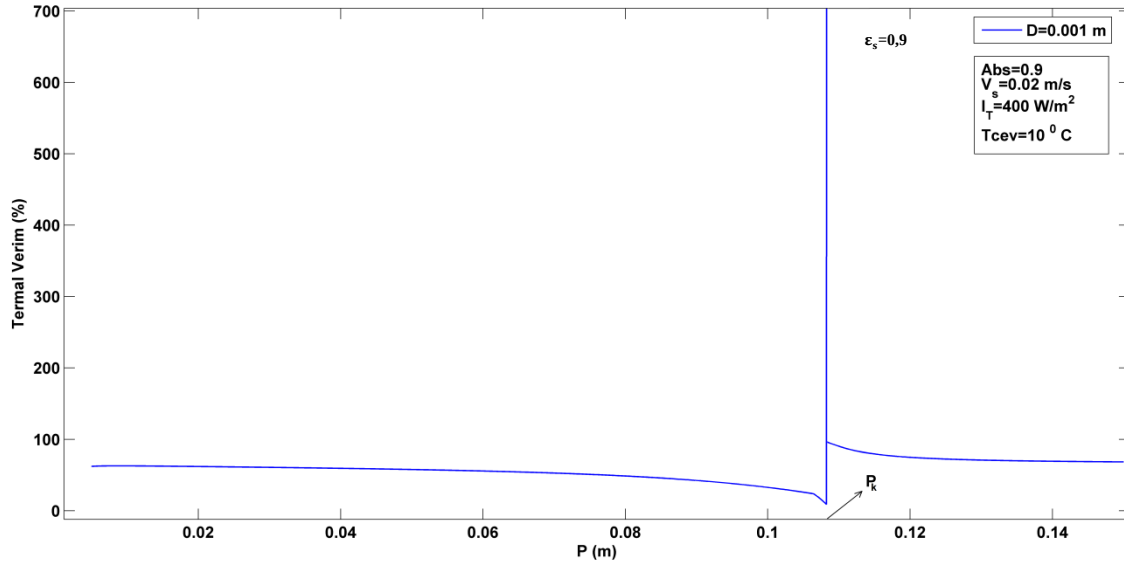
Şekil 3.11. Farklı delik çapları için verimin delik adımına göre değişim

Şekil 3.11'deki asimptotik davranışa göre; asimptot eğrisinin sol tarafında kalan bölge güneş duvarı gibi çalışırken asimptot eğrisinin sağ tarafında kalan bölgede delik adımı o kadar büyük ki delik yokmuş gibi davranır, termal verim sabit kalır ve sistem Trombe duvarının davranışını gösterir.

Buna göre her delik çapı için kritik delik adımı belirlenmelidir (P_k). $P < P_k$ ise sistem güneş duvarı gibi çalışırken, $P > P_k$ değerlerinde sistem Trombe duvarı gibi çalışacaktır. $P = P_k$ değerinde ise Eş. 3.22'deki verim ifadesi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\eta = \lim_{P \rightarrow P_k^-} \frac{\dot{m}_k C_p}{I_T A} (T_s - T_{\text{cev}}) \left[1 - \exp \left(- \frac{k N u_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p} \right) \right] = -\infty \quad (3.25)$$

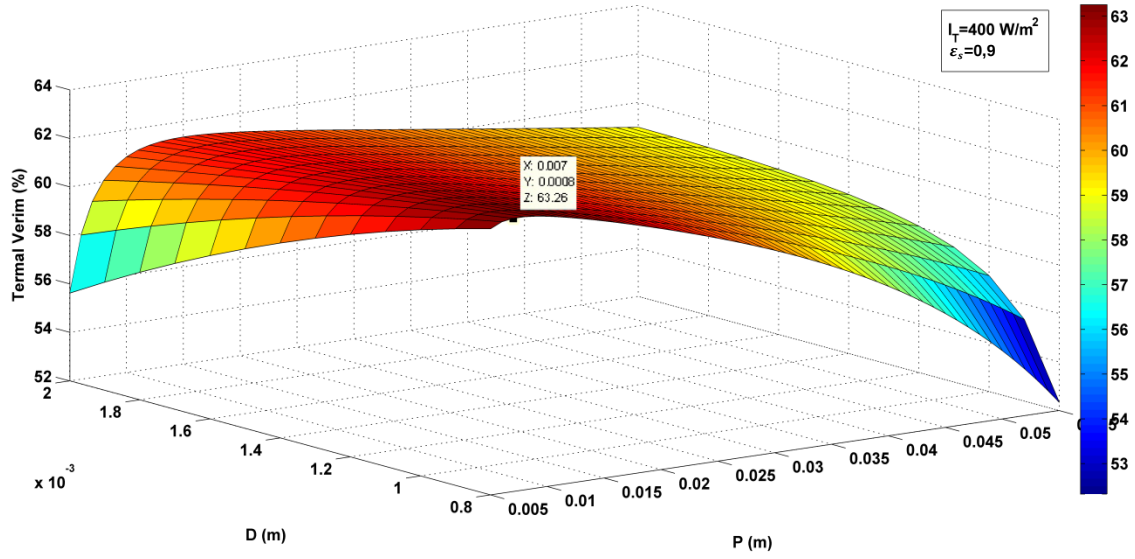
$$\eta = \lim_{P \rightarrow P_k^+} \frac{\dot{m}_k C_p}{I_T A} (T_s - T_{\text{cev}}) \left[1 - \exp \left(- \frac{k N u_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p} \right) \right] = +\infty \quad (3.26)$$



Şekil 3.12. Verimin delik adımına göre değişim

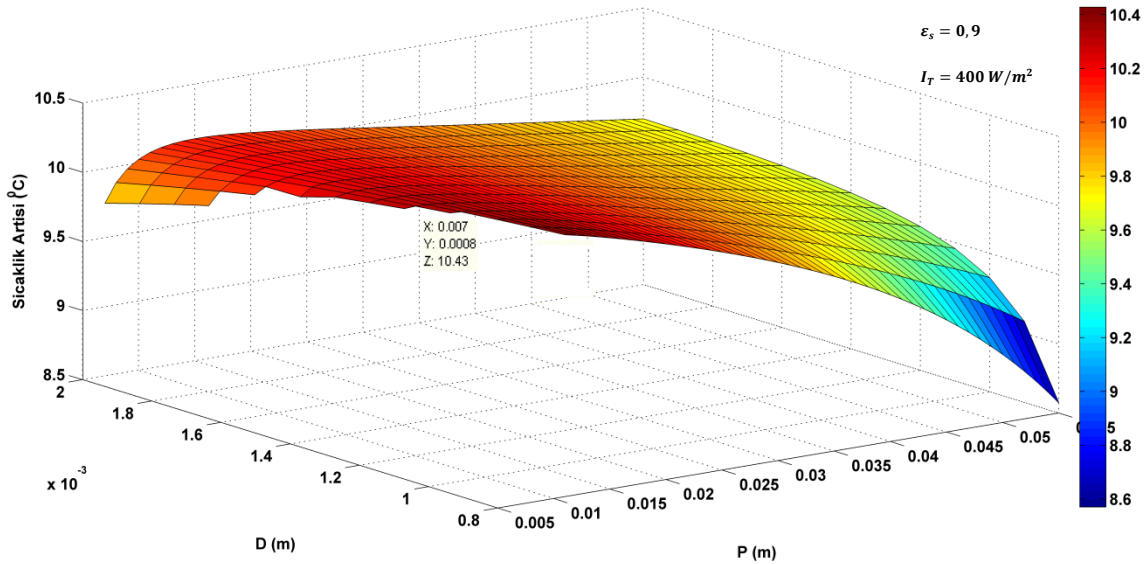
Şekil 3.12'de ise delik çapı 1 mm için termal verimin değişimi çok büyük bir delik adım aralığı için çizilmiştir. Bu çizim için asimptot eğrisinin değişimi daha net olarak gözükmemektedir. Delik adımı büyüdükçe termal verim düşmüştür. Ancak görüldüğü gibi çok büyük delik adımlarında ($P > P_k$) sistem Trombe duvarı gibi davranmıştır.

Şekil 3.8 ve Şekil 3.11 daha ayrıntılı incelendiğinde delik çapı ve delik adımı parametrelerini birbirinden bağımsız olarak incelemenin doğru olmadığı anlaşılır. Optimum D ve P parametrelerini bulabilmek için Şekil 3.8 ve Şekil 3.11'i güneş duvarı için geçerli bölgelerde ($D > D_k$ ve $P < P_k$) birleştirip üç boyutlu bir grafikte gösterilmelidir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Verimin değişimi delik çapı ve delik adımı değişimlerine göre

Şekil 3.13’de görüldüğü gibi maksimum termal verim değeri %63,26 olarak $D=0,8$ mm ve $P=7$ mm için elde edildiği görülmektedir. Benzer şekilde Eş. 3.18, 3.20 ve 3.22’yi kullanarak Şekil 3.14’te sıcaklık artışın değişimi, delik çapı ve delik adımına bağlı olarak verilmiştir. Şekil 3.14’te görüldüğü gibi Şekil 3.13’e benzer olarak en yüksek sıcaklık artışı $10,43^{\circ}\text{C}$ olarak $P=7$ mm ve $D=0,8$ mm’de elde edilmiştir. Bu değerler Çizelge 3.3’teki koşullar için en yüksek verim ve sıcaklık artışını elde etmek için optimum delik çapı ve delik adımını verir.



Şekil 3.14. Sıcaklık artışının değişimi delik çapı ve delik adımı değişimlerine göre

Sonuç olarak güneş duvarı sisteminin uygulamalarında maksimum verimliliği elde etmek için; öncelikle bölgenin ortalama meteorolojik değerleri (sıcaklık, rüzgar hızı, ışıınım şiddeti, güneşlenme süresi) belirlenmelidir. Daha sonra sistemin uygulanacağı yer için boyutlar kullanılarak soğurucu yüzeyin boyutları ve fiziksel özellikleri belirlenir. Bu verilere göre Eş. 3.22'yi kullanarak farklı adım aralıkları için termal verimin delik çapı ile değişimi çizilerek bu grafikten her adım aralığı için maksimum verimliliği veren D_{max} 'lar belirlenmelidir ve $P-D_{max}$ grafiği çizilerek belirlenen delik çapı için gerekli adım aralığı bulunmalıdır. Bulunan bu değerler maksimum verim için optimum delik çapı ve delik adımı değerleridir.

4. GÜNEŞ DUVARI SİSTEMLERİNİN UYGULAMALARI

4.1 Güneş Duvarı Sistemlerinin Dünyadaki Uygulamaları

Güneş duvarı sistemleri ön ısıtma sistemleri olarak 1981'den beri dünyanın birçok yerinde kullanılmaktadır [9,10]. Bu sistemler ön ısıtma yaparak enerji tasarrufu sağladığı gibi mekân içindeki havanın kalitesini de yükseltmekte ve daha konforlu bir yaşam alanı oluşturmaktadır. Buna ek olarak yaz aylarında güneşe karşı koruyucu görev yaparak binanın soğutma yükünü azaltmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin hareketli parçalarının çok az olması, bakım ve onarım maliyetlerini de düşürmektedir.

Şekil 4.1'de güneş duvarı sistemlerinin kullanıldığı bölgeler Dünya haritası üzerinde gösterilmiştir. Haritada görüldüğü gibi bu sistem daha çok Avrupa ve Amerika kıtasında kullanılmaktadır.



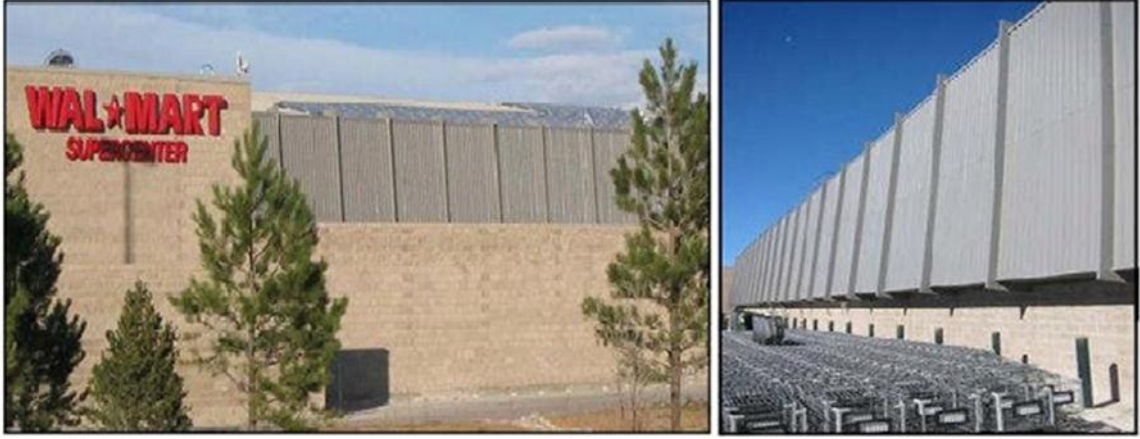
Şekil 4.1. Güneş duvarı sistemlerinin dünya genelinde kullanılma sıklığı [10]

Dünya genelinde güneş duvarının uygulama alanlarına baktığımızda genelde alışveriş merkezleri, belediye binaları, okullar, hayvan çiftlikleri gibi kalabalık mekânlarda canlıların konforunu sağlamak amacıyla kullanıldığını görürüz. Buna ek olarak sıcak bölgelerde bu sistemlerle yüksek sıcaklıklara çıkılarak kurutma işlemlerinin yapıldığı da görülmektedir.

4.1.1 Dünyadaki Uygulamalardan Bazı Örnekler

39°45' kuzey enleminde bulunan Amerika'nın Denver kentinde 2005 yılında kurulan Aurora Supercenter alışveriş merkezinde güneş duvarı kullanılmıştır. Binanın güney cephesine konuşlandırılan toplam 745 m²'lik güneş duvarı (Şekil 4.2) binanın ısıtma yükünü gözle görülür şekilde azalttığı gibi bina içine sağladığı temiz hava sayesinde de insanların daha konforlu bir alışveriş yapmasını sağlamıştır. Bu sistemin yazın güneş ışınlarının önünde bir kalkan görevi yaparak binanın soğutma yükünü de azalttığı vurgulanmıştır.

Aurora Supercenter yönetiminin açıklamasına göre bu sistem 2005 yılında enerji tüketimini 228.000 kWh kadar azaltarak yönetime yaklaşık 20.000 \$ civarında tasarruf sağlanmıştır [10].



Şekil 4.2. Supercenter'in güney duvarındaki güneş duvarı [10]

Benzer bir başka uygulama ise 49°35'33" kuzey enleminde bulunan Almanya'nın Erlangen belediyesindedir. Belediye olarak binadaki enerji kullanma maliyetlerini düşürmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmak istenmiştir. Bunun için binanın mimarisine en uygun sistemler araştırılmış, binanın yüksekliğinden dolayı gölgeleme faktörünün olmayışı ve kurulacak sistemin camların ışık almasına bir mani oluşturmamasından dolayı en uygun ve ekonomik sistemin güneş duvarı olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.3'de de görüldüğü gibi binanın 6 ile 14 katları arasında döşenen toplam 150 m²'lik güneş duvarı sistemi ile bina içine gönderilen havanın ön ısıtması yapılarak yılda 30 ton CO₂ emisyonunu azalttığı rapor edilmiştir [10].

Böylelikle belediye olarak Avrupa Birliği tarafından düzenlenen “Green Heat” (yeşil ısı) hedefine ulaşılmıştır.



Şekil 4.3. Erlangen Belediyesi binası önünde kurulmuş güneş duvarı [10]

Okullardaki uygulamalarından biri de $44^{\circ}58'48''$ kuzey enleminde bulunan ABD'nin Minneapolis kentinde bulunan Break Kolejidir (Şekil 4.4). 2001 yılında inşa edilen binanın güney batı cephesinde herhangi bir gölgeleme faktörü (ağaç, bina, vb.) bulunmadığından bu bölgeye güneş duvarı yapılması uygun görülmüştür. Toplam 8 adet güneş duvarı sistemi ile binanın toplamda 316 m^2 'lik dış duvar yüzeyi güneş duvarı sistemi ile kaplanmıştır. Bu sistem ile binanın 2397 m^2 kapalı alanı için havalandırma sağlanırken havanın ön ısıtması da yapılarak günlük 287 kW tasarruf sağlandığı rapor edilmiştir [29].

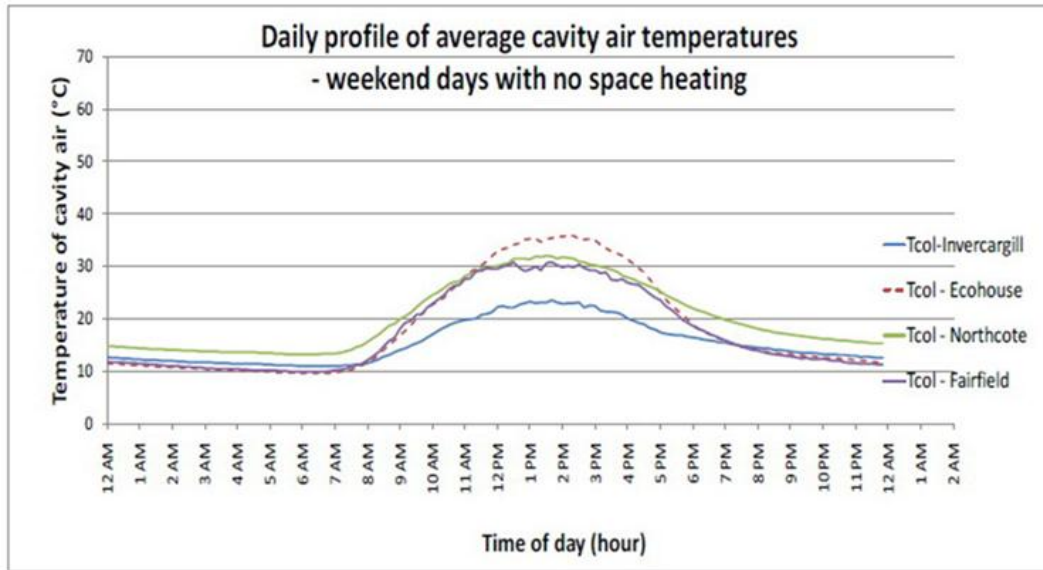


Şekil 4.4. Break kolejinin güney batı cephesine kurulmuş güneş duvarı[29]

Güneş duvarlarının güney yarımküredeki uygulamalarından biri de Yeni Zelanda'dadır [37]. Öğrencilere yenilenebilir enerjilerin kullanımını öğretmek ve binalarında enerji tasarrufu sağlayabilmek için üç ayrı şehirde üçü okulda biri de araştırma merkezinde olmak üzere toplam 4 ayrı merkezde bu sistemler kurulmuştur. Çizelge 4.1'de bu sistemlerin kurulduğu şehirlerin bazı iklim koşulları verilmiştir.

Çizelge 4.1:Yeni Zelanda'da da yapılan sistemlerin kurulduğu şehirlerin bazı iklim koşulları [37]

Şehir	Isıtma sezonunda ortalama hava sıcaklığı (°C)	Yatay yüzey üzerine düşen günlük güneş enerjisi (kWh/gün/m ²)	Dikey yüzey üzerine düşen günlük güneş enerjisi (kWh/gün/m ²)	Enlem	Kış ortası maksimum güneşlenme süresi (saat)
Auckland	11,7	2,28	1,42	-36°49'	9,49
Hamilton	9,9	2,1	1,26	-37°46'	9,38
Invercargill	6,2	1,36	0,55	-46°42'	8,35



Şekil 4.5. Hafta sonları toplanan verilere göre her dört uygulama için günlük ortalama ara bölge sıcaklık profili [37]

Sistem güney yarımkürede bulunduğu için binaların kuzey cephesi uygulama için kullanılmıştır. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi ortalama günlük ara bölge sıcaklığı değişimleri saat 13:30 civarında maksimuma ulaşırken, bu sistemleri kullanma saat aralığı saat 10:00 ile 17:00 arasında yaklaşık 7 saatle sınırlandırılmış görülmektedir.

Çizelge 4.2:Tüm uygulama merkezleri için günlük enerji tasarrufu ve maddi kazançları [37]

	Net enerji kazancı (kWh/gün/m ²)		Net katkı (\$)
	Maksimum	Ortalama	Ortalama (\$/saat/m ²)
Northcote (Auckland)	0,87	0,11	\$0,054
Fairfield (Hamilton)	0,66	0,17	\$0,082
Araştırma merkezi (Hamilton)	0,95	0,34	\$0,158
Aurora (Invercargill)	1,23	0,38	\$0,180

Tüm uygulama merkezleri için günlük enerji kazancı ve bunun maddi kazancı Çizelge 4.2'de verilmiştir. Ancak her uygulama merkezinde farklı renk ve malzemeler kullanıldığı için bu sistemlerin birbirleriyle karşılaştırılması çok da doğru sonuçlar vermemektedir.

Çizelge 4.3:Yeni Zelanda'da kurulmuş güneş duvarı sistemlerinin büyüklükleri ve kullanılan iç mekanlar [37]

Uygulama yeri	Kollektörün yüzey alanı (m ²)	Kanal uzunluğu (m)	Oda tipi	Oda kullanımı
Northcote	14	1,5	Derslik	Ders saatleri
Fairfield	18	0,6	Toplantı salonu	Arada sırada
Aurora	7,3	0,5	Kütüphane	Arada sırada
Araştırma merkezi	18,5	2,2	Çalışma alanı	Arada sırada

Northcote ve Fairfield okulları için yeşil renkle kaplanmış (soğurma oranı %80) güneş duvarı soğurucu yüzeyi kullanırken Aurora okulunda ve araştırma merkezinde siyah renkle kaplanmış (soğurma oranı %90) Güneş duvarı soğurucu yüzeyi kullanılmıştır. Her dört uygulama alanında da Alüminyumdan daha ucuz olduğu için soğurucu plaka olarak çelik saç kullanılmıştır. Çizelge 4.3'te kurulu Güneş duvarı sistemlerinin büyüklükleri ve kullanılan iç mekanlar verilmiştir.

Güneş duvarı sistemleri daha öncede bahsedildiği gibi sıcak iklimlerde binaların ısıtılmasından farklı olarak tarım endüstrisinde kurutma amaçlı da kullanılabilmektedir. Buna bir örnek 8°22'50" kuzey enleminde bulunan Panama'nın Chepillo adasındaki Cafe Duran kahve kurutma tesisidir. 2004 yılında kuracağı yeni tesis için temiz ve ucuz olan güneş enerjisinden yararlanmak isteyen firma bunun için 900 m²'lik bir güneş duvarını binanın çatısına ve duvarlarına yerleştirmiştir (Şekil 4.6).

Firma bu sistemle üretilen kahvenin, odun ateşiyle kurutulan kahvelere göre daha iyi olduğunu rapor etmiştir. Bunun nedeni odun kullanıldığında sabit bir sıcaklık elde etmenin zor olması ve zaman zaman sıcaklığın kahve çekirdeklerini yakabilmesidir. Oysaki güneşle kurutmada sürekli olarak kahve çekirdeklerini yakmayacak bir sıcaklıkta ısı verilmektedir. Ayrıca bu sistemin kullanılmasıyla gün içinde odun ateşi kullanılmadığından hem CO₂ salımını hem de ağaç kesimi azalmıştır. Böylece daha çevreci bir firma olarak faaliyetlerini sürdürmüşlerdir [10].

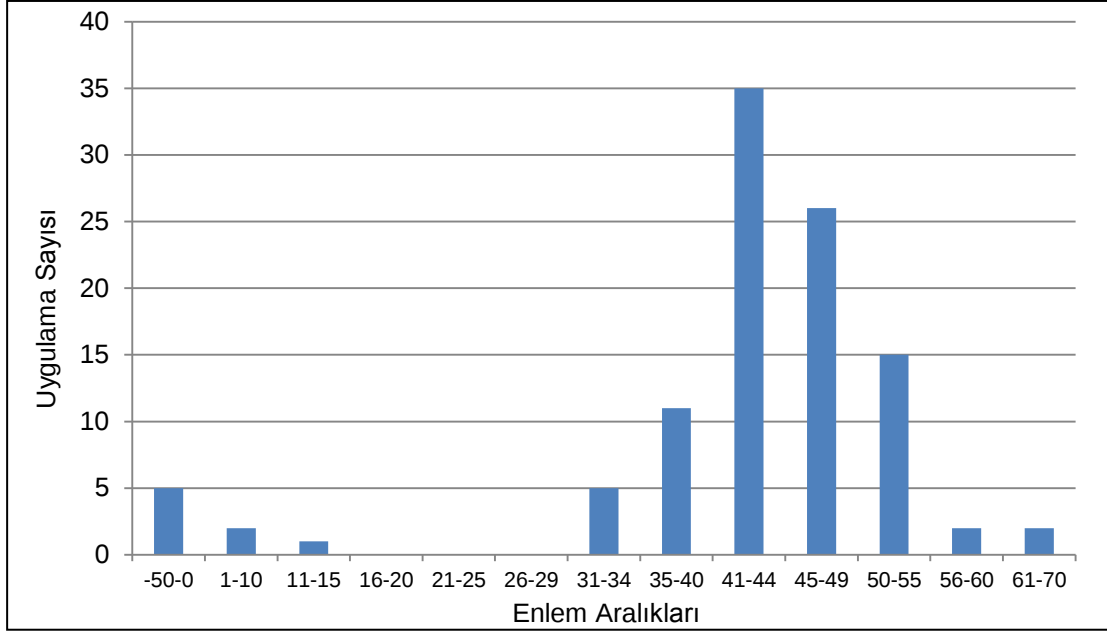


Şekil 4.6. Panama'nın Chepillo adasında Cafe Dura'nın kahve kurutma tesisi [10]

4.1.2 Güneş Duvarı Uygulamalardaki Bazı İstatiksel Bilgiler

Güneş duvarı sistemleri yeni sistemler olduğundan bu uygulamalar için net bir istatiksel sonuç bulunmamaktadır. Ancak dünya genelinde bu sistemler

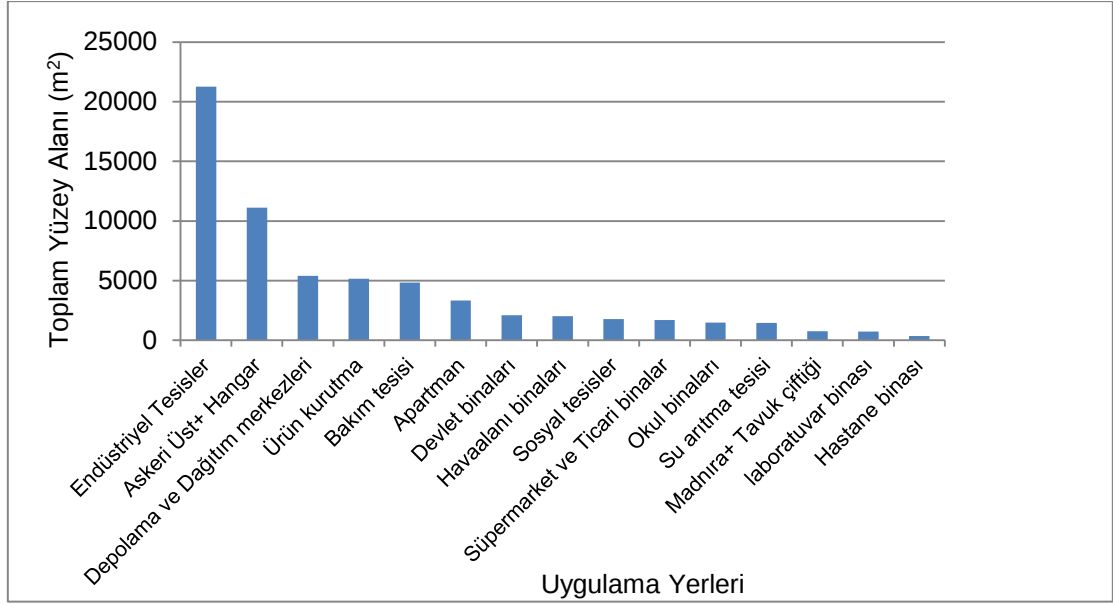
baktığımızda kısa bir istatistiksel sonuç çıkarabilmekteyiz. Solar Wall firmasından ve diğer araştırmacılardan elde edilen verilere göre [10,29,37] Şekil 4.7’de güneş duvarlarının dünya genelinde farklı enlem aralıklarındaki uygulama sayısı verilmiştir. Buna göre en yaygın kullanılan enlem aralığı 41°- 44°’dir.



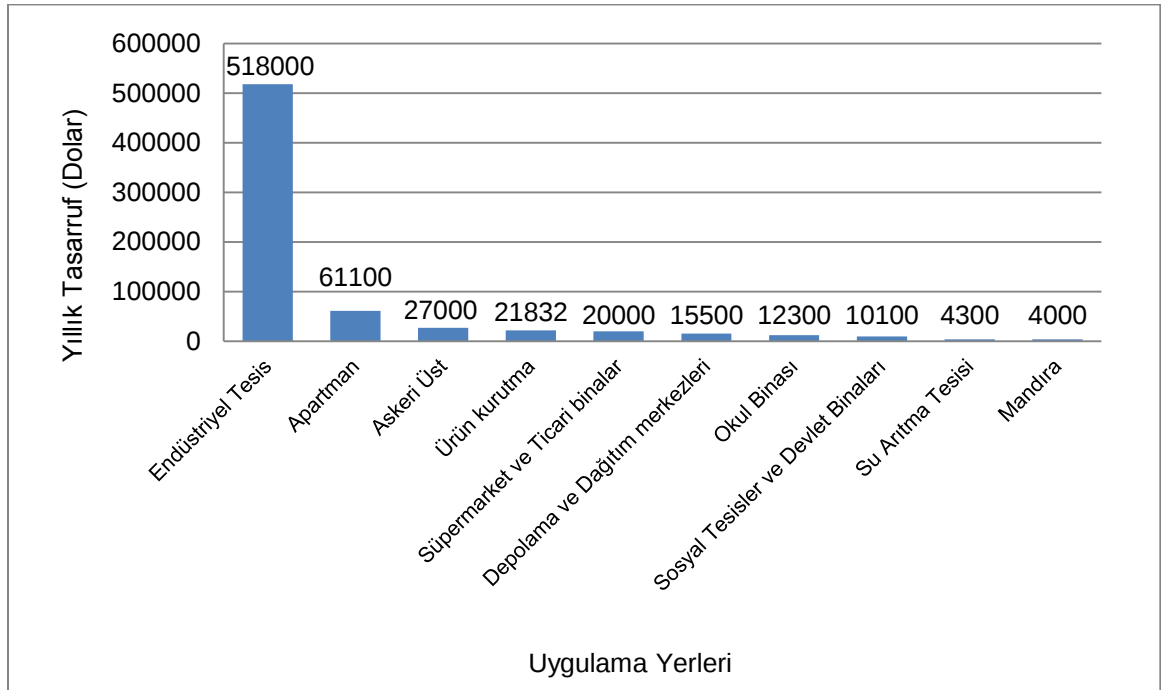
Şekil 4.7. Enlemlere göre güneş duvarlarının uygulama sayısı

Solar Wall firmasından elde edilen verilerden [10] tüm dünya için güneş duvarının uygulama yerlerine göre kullanılan toplam yüzey alanı Şekil 4.8’de verilmiştir. Buna göre güneş duvarı sistemleri 20000 m²’nin üzerinde olarak, en fazla endüstriyel tesislerde kurulmuştur.

Solar Wall firmasından elde edilen verilere göre güneş duvarı sistemlerinin uygulandığı mekânlarda sağladığı tasarruf ise Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekil 4.9’da görüldüğü gibi bu sistemler ile endüstriyel tesislerde yıllık yaklaşık 500.000 dolarlık bir tasarruf sağlanmıştır. Dünya genelini düşündüğümüzde bu değer çok az olsa da bina yapımında dış cephe kaplaması yapılacaksa cephe kaplama yerine bu sistemlerin kurulması ek bir maliyet getirmeyeceğinden enerji tasarrufu açısından oldukça uygundur.



Şekil 4.8. Güneş duvarı sistemlerinin uygulama yerlerine göre kullanılan toplam yüzey alanı

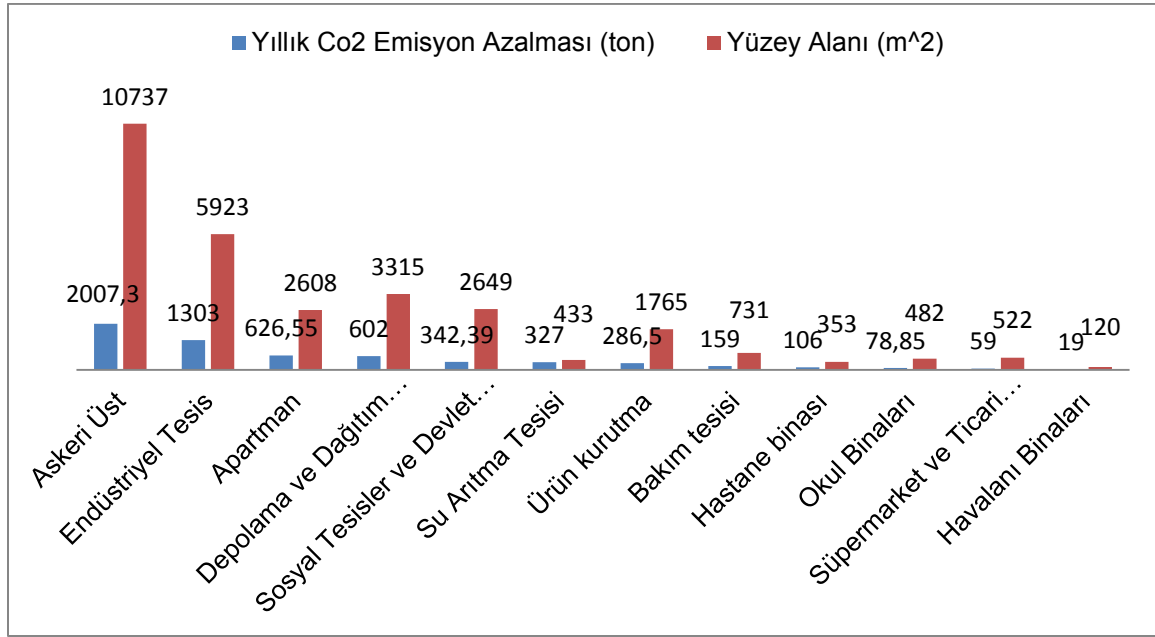


Şekil 4.9. Güneş duvarlarından sağlanan tasarruf

Güneş duvarı sistemleri gece saatlerinde çalışmadığı için, endüstriyel tesisler gibi sabahtan akşama kadar ısıtmaya ihtiyaç duyulan yerlerde daha fazla tasarruf sağlarken, daha çok akşam saatlerinde ısıtmaya ihtiyaç duyulan tiyatro gibi yerlerde çok daha az tasarruf sağlanmıştır.

Son olarak Şekil 4.10'da Solar Wall firmasından elde edilen verilere göre güneş duvarlarının uygulama yerlerine ve toplam yüzey alanlarına göre yıllık CO₂ emisyon azalması verilmiştir. Burada da en fazla CO₂ emisyon azalması askeri tesislerde ve endüstriyel tesislerde sağlanmıştır.

Güneş duvarları sistemlerinin en yaygın olarak kullanıldığı bölge daha önce de Şekil 4.1'de gösterdiğimiz gibi, Kanada, Amerika ve Avrupa'dır. Bu bölgelerde güneş duvarı sistemlerinin kurulduğu şehirlerin iklimsel özellikleri aralık, ocak, şubat ve mart ayları için Çizelge 4.4'te verilmiştir [38,39,40].



Şekil 4.10. Güneş duvarların yüzey alanına göre yıllık CO₂ emisyon azalması

Çizelge 4.4: Güneş duvarı sistemlerinin Kanada, Amerika ve Avrupa'daki Kurulduğu şehirlerin iklimsel özellikleri

Ülke, Şehir	Enlem Açısı	Ortalama Sıcaklık (°C)				Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)				Ortalama Rüzgar hızı (m/s)				Aralıktan Mart'a kadar ortalama Güneş enerjisi (kWh/m ² /gün)
		Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	
Toronto, Kanada	43,7°	-2	-5	-4	1	2,38	2,48	3,38	4,48	4,4	5	4,7	4,7	1,86
Sudbury, Kanada	46,5°	-8	-12	-10	-5	1,80	2,15	3,8	4,38	3,8	3,8	4,1	3,8	2,14
Brampton, Kanada	43,68°	-5	-6,5	-5,4	-2,9	2,29	2,53	3,50	5,00	4,7	5	4	4,7	1,9
Montreal, Kanada	46,13°	-7	-10	-9	-2	2,21	2,77	3,63	4,53	1,8	2	2	2,1	2,11
Winnipeg, Kanada	49,9°	-13	-18	-16	-8	2,70	3,50	4,73	5,38	2,1	2,1	2	2,2	1,79
Hamilton, Kanada	43,25°	-2,5	-5,5	-5	0	2,30	2,70	4,00	5,5	5	5,3	5,3	5	1,99
Saskatoon, Kanada	52,13°	-15	-18	-14	-7	2,73	3,5	4,60	6,22	4,1	4,1	4,1	4,4	1,7
Yellowknife, Kanada	62,45°	-24	-28	-26	-18	2,50	3,00	4,23	5,00	3	3	3,3	3,8	0,84
Calgary, Kanada	51,08°	-8	-10	-6	-3	2,93	3,25	4,20	4,70	3,8	4	3,5	3,8	1,65
Ottawa, Kanada	45,42°	-7	-11	-9	-3	2,48	3,00	3,88	4,50	3,8	4,1	3,8	3,8	2,14
Denver, ABD	39,74°	-1	-1	1	4	6,45	6,80	7,50	8,15	3	2,8	2,8	3,1	2,69
Fresno, ABD	36,75°	7	8	11	13	5,38	5,25	7,22	9,67	1,2	1,2	1,4	1,9	3,07
Syracuse, ABD	43,05°	-2	-5	-4	1	2,45	2,97	3,95	5,48	3,6	3,5	3,4	3,3	2
Rapid City, ABD	44,08°	-4	-5	-3	1	4,80	4,63	5,15	6,87	3,5	3,5	3,5	3,8	1,91
San Francisco, ABD	37,78°	10	9	11	12	5,77	4,97	6,75	8,45	2,5	2,5	2,2	2,9	2,86
Buffalo, ABD	42,89°	-2	-5	-4	1	2,80	3,00	4,7	5,50	5,1	4,8	4	3,1	1,88
Minneapolis, ABD	44,98°	-8	-11	-8	-1	3,80	4,35	5,97	6,32	3	3,2	3,4	3,4	2,22
Boston, ABD	42,36°	1	-2	-1	4	5,32	4,87	6,18	6,80	4,5	4,5	4,5	4,6	2,37
Valencienne, Fransa	50,35°	3,93	3,4	3,32	5,91	1,33	2,00	2,48	4,25	4,16	4,72	4,44	4,16	1,35

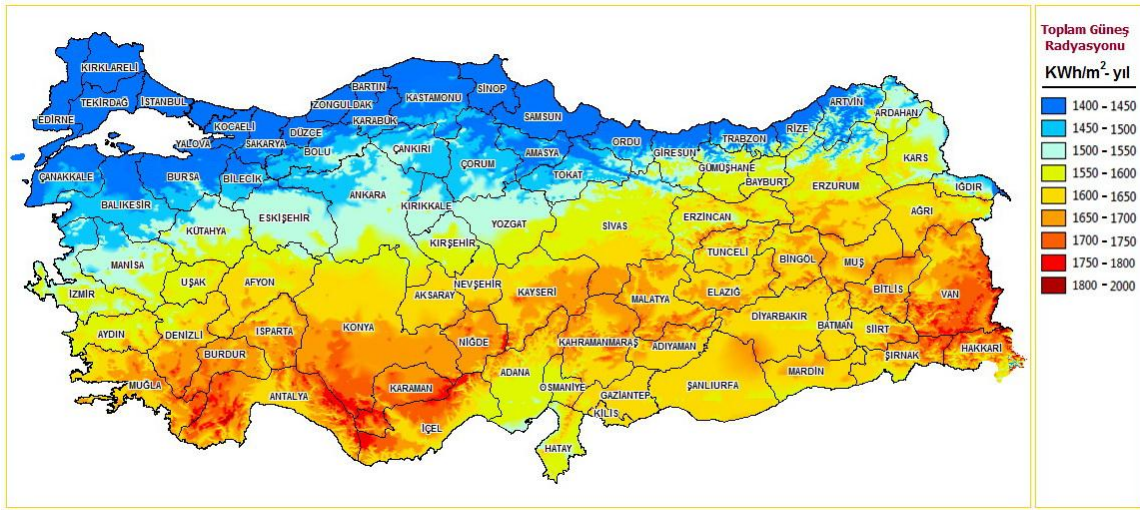
Çizelge 4.4'ün devamı

Ülke, Şehir	Enlem Açısı	Ortalama Sıcaklık (°C)				Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)				Ortalama Rüzgar hızı (m/s)				Aralıktan Mart'a kadar ortalama Güneş Enerjisi (kWh/m ² /gün)
		Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	
Lille, Fransa	50,63°	5,84	4,78	4,61	6,51	1,25	1,90	2,72	4,18	4,72	5,27	5	5	1,43
Swidnica, Polonya	50,85°	-1	-1,36	-0,5	3,17	1,20	1,45	2,47	3,93	3,61	3,61	3,88	3,61	1,37
Riga, Letonya	56,95°	-2,34	-3,14	-3,77	-0,20	00,80	1,15	2,15	4,50	4,16	4,44	4,16	3,88	1,1
Oviedo, İspanya	43,37°	9,15	8,01	8,24	9,74	3	4	4	5	7,95	8,34	7,78	7,48	1,94
Miskolc, Macaristan	48,1°	-1,14	-2,13	-1,37	2,90	2,75	2,83	3,30	3,70	7,68	7,98	7,08	5,01	1,69
Leamington Spa, İngiltere	52,3°	4,37	3,68	3,85	5,84	1,13	1,38	2,05	3,15	4,16	4,72	4,72	4,72	1,16
Erlangen, Almanya	49,58°	-0,98	-2,05	-1,05	2,98	1,28	1,63	2,75	4,35	2,22	2,5	2,5	2,5	1,51
Stuttgart, Almanya	48,77°	0,52	-0,40	0,35	3,94	1,48	1,70	2,82	4,48	2,77	2,77	3,05	3,05	1,58
Kamten, Avusturya	46,72	-4,55	-5,50	-3,69	1,18	1,97	2,42	3,78	4,87	1,11	1,11	1,38	1,67	1,87
Ortalama		-2,74	-4,67	-3,26	1,04	2,76	3,08	4,14	5,33	3,77	3,92	3,79	3,77	1,86

4.2 Güneş Duvarı Sistemlerinin Türkiye’de Uygulanabilirliği

Türkiye 36° ile 42° enlemleri arasında yer almakta ve “Güneş Kuşağı” olarak adlandırılan -40°+40° enlemlerinin arasında bulunmaktadır. Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır (Şekil 4.11). Güneş’ten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye’nin yıllık enerji tüketiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye’nin enerji üretiminin 1.700 katıdır [41].

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nde (DMI) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınlam şiddeti verilerinden yararlanarak Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük ortalama 7,2 saat), ortalama toplam ışınlam şiddeti 1311 kW/m²-yıl (günlük ortalama 3,6 kW/m²) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyel atlası [8]

Gerek güneşlenme süresi gerekse birim alana gelen güneş enerjisi açısından Türkiye, Dünya genelinde daha çok 35° - 55° enlemler arasında yaygın olarak kullanılan güneş duvarı sistemlerinin kurulması için uygun coğrafyaya sahiptir.

Sahip olduğumuz bu enerji kaynağından en iyi şekilde yararlanmak amacıyla bu çalışmada, binaların iklimlendirmesinde kullanılan yeni Güneş enerji sistemlerinin ülkemiz için uygunluğu aralık, ocak, şubat ve mart ayları için araştırdık.

Çizelge 4.5’de de Türkiye genelinde belirlediğimiz on ayrı il için aralık, ocak, şubat ve mart aylarındaki iklim koşulları verilmiştir.

Dünya genelinde kurulu güneş duvarı sistemlerinin bulundukları iklim koşulları (Çizelge 4.4) ile ülkemizin iklim koşulları (Çizelge 4.5) karşılaştırıldığında 36° ile 42° enlemler arasında yer alan Türkiye’nin güneş duvarı sistemlerinin uygulamaları için uygun olduğunun bir başka kanıtıdır.

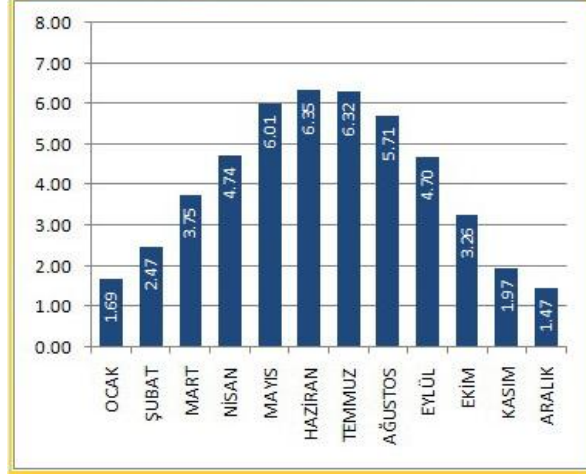
Bulunduğumuz il olarak Ankara için Güneş duvarı sistemlerinin uygulanabilirliğini daha ayrıntılı bir şekilde incelemek için Çizelge 4.6’de aralık, ocak, şubat ve mart ayları için ortalama ışıyım miktarı gündüz saatleri için hesaplanmış ve ölçülmüş değerleri [42] verilmiştir.

Çizelge 4.5: Türkiye'nin on ayrı ili için iklim koşulları

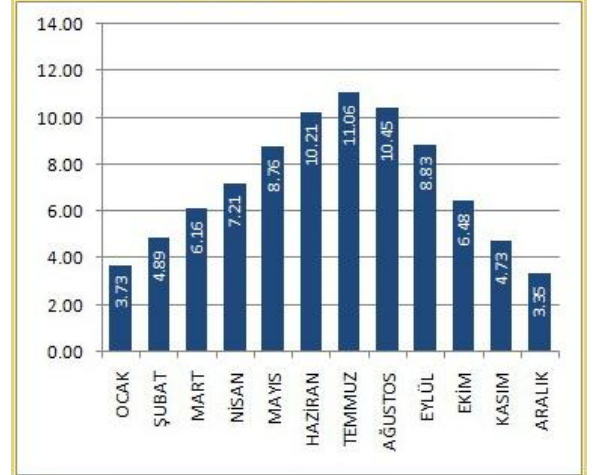
Şehir	Enlem Açısı	Ortalama Sıcaklık (°C)				Ortalama Güneşlenme süresi (saat)				Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)				Aralıktan Marta kadar Ortalama Güneş Enerjisi (kWh/m ² /gün)
		Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	
Ankara	39,94°	2,7	0,3	1,8	6,1	3,35	3,73	4,89	6,16	1,90	1,90	2,20	2,30	2,35
İstanbul	41,02°	6,5	6,5	8,3	0	2,96	3,46	4,43	5,32	5,00	4,80	4,90	4,50	2,64
İzmir	38,42°	10,6	8,8	9,4	11,7	4,27	4,86	5,86	6,96	3,00	2,98	3,28	3,00	2,35
Konya	37,87°	1,8	-0,2	1,2	5,7	3,93	4,19	5,51	6,88	3,00	3,00	3,50	4,00	2,64
Hatay	36,87°	9,6	8,2	9,8	13,2	4,99	5,09	6,22	7,17	2,5	2,22	2,22	2,22	2,55
Sinop	42,02°	9,3	6,9	6,5	7,5	3,21	3,46	4,42	5,35	3,05	3,05	3,05	3,05	2,04
Erzincan	39,73°	0,1	-2,9	-1,2	4,4	3,27	3,73	4,85	6,15	1,11	1,11	1,66	2,22	2,46
Diyarbakır	37,92°	4	1,8	3,5	8,5	3,35	3,73	4,89	6,16	1,94	2,22	2,77	2,77	2,35
Muğla	37,2°	7	5,5	6	8,6	4,67	5,13	6,20	7,12	1,66	1,66	1,94	1,66	2,66
Van	38,47°	-0,7	-3,5	-2,9	1,5	4,93	5,27	6,40	7,39	1,50	1,10	1,70	2,00	2,66
Ortalama		5,09	3,14	4,24	6,72	3,89	4,27	5,37	6,47	2,47	2,40	2,72	2,77	2,47

Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Şekil 4.12’de Ankara için verilen güneşlenme süresi, ortalama sıcaklık, rüzgar hızı ve ışıınım miktarı gibi değerleri, Çizelge 4.4’deki güneş duvarlarının Kanada, Amerika ve Avrupa’da kurulduğu şehirlerin iklimsel özellikleri ile karşılaştırdığımızda Ankara’nın bu sistemlerin kurulması için ne kadar uygun olduğunu açık bir şekilde görürüz.

ANKARA Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)



ANKARA Güneşlenme Süreleri (Saat)



Şekil 4.12. Ankara’ için ortalama günlük güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi [8]

Çizelge 4.6: Ankara’da güneye bakan dik bir yüzeye gelen güneş ışıınım miktarı [W/m²]

Saat	Aralık		Ocak		Şubat		Mart	
	Ölçülen değerler	Hesaplanan değerler	Ölçülen değerler	Hesaplanan değerler	Ölçülen değerler	Hesaplanan değerler	Ölçülen değerler	Hesaplanan değerler
06:22							32	34
06:37							58	59
06:52							85	92
07:07					84	202	114	123
07:22					123	235	143	160
07:37			114	366	155	258	172	184
07:52	149	437	154	395	186	285	200	215
08:07	186	463	182	422	215	311	228	244
08:22	215	494	208	455	242	341	255	277
08:37	240	514	231	475	267	361	280	299
08:52	263	537	252	500	290	384	303	325
09:07	284	559	372	524	312	407	326	349
09:22	303	584	289	550	332	432	346	377

09:37	319	599	305	567	350	448	365	394
09:52	334	617	319	586	366	466	382	414
10:07	347	633	331	604	380	483	397	433
10:22	359	650	341	623	393	501	410	453
10:37	368	660	351	634	404	512	422	465
10:52	376	671	358	647	413	525	431	478
11:07	382	680	364	657	420	535	439	489
11:22	387	688	369	667	425	545	445	499
11:37	390	692	372	673	429	551	449	505
11:52	392	695	373	677	430	556	450	510
12:07	392	696	373	680	430	558	450	512
12:22	390	695	372	681	429	560	449	512
12:37	387	692	369	680	425	558	445	512
12:52	382	687	364	677	420	557	439	509
13:07	376	681	358	672	413	553	431	504
13:22	368	670	351	663	404	545	422	494
13:37	359	661	341	656	393	539	410	487
13:52	347	649	331	645	380	529	397	475
14:07	334	635	319	632	366	518	382	462
14:22	319	616	305	614	350	502	365	443
14:37	303	602	289	601	332	490	346	429
14:52	284	583	272	583	312	474	326	411
15:07	263	562	252	563	290	456	303	390
15:22	240	536	231	538	267	433	280	363
15:37	215	517	208	520	242	416	255	345
15:52	186	492	182	496	215	394	228	320
16:07	21	467	154	471	186	372	200	294
16:22	16	435	18	439	155	342	172	261
16:37			13	417	123	332	143	238
16:52					19	297	114	209
17:07					12	270	85	179
17:22							58	141
17:37							16	117
17:52							8	85

Not: hesaplamalarda atmosfer dışına gelen güneş ışınlarının değerlerini bularak dünya yüzeyinde de bu değerlerin yaklaşık %50'sinin geldiğini kabul ettik.

5. SONUÇ

Güneş duvarı sürekli havalandırma ihtiyacı olan binalarda ve kış mevsiminin uzun sürdüğü ancak bu mevsimde güneşin hâkim olduğu yerlerde kullanılabilecek uygun bir teknolojidir. Kış aylarında güneş ışınlarının daha yatık gelmesinden dolayı bina duvarlarına konulan bu sistemlerden yüksek verim elde edilebilir.

Şekil 3.6'da açıkça görüldüğü gibi güneş radyasyon miktarı $300-400 \text{ W/m}^2$ olan bir bölgede güneş duvarı sistemlerden maksimum verim elde etmek mümkündür. Çizelge 4.6'da yapılan hesaplamalara göre Ankara ilinde açık bir havada aralık, ocak, şubat ve mart aylarında sırasıyla; 9:30, 9:30, 9:00, 9:00 saatlerinden itibaren güneş radyasyon miktarı 300 W/m^2 'nin üzerine çıktığı görülmektedir. Bu aylar için güneşlenme süresi ise sırayla; 3.35, 3.73, 4.89, 6.16 saat olduğu göz önüne alındığında büyük alanlar kullanılarak bu sistemlerden ciddi ölçüde tasarruf sağlanabilir.

Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5 karşılaştırıldığında Türkiye'deki ortalama sıcaklık, güneşlenme süresi ve güneş enerjisi miktarının Dünya genelinden yüksek olduğu, ortalama rüzgar hızının ise düşük olduğu görülmektedir. Bu yüzden bu sistemler Türkiye genelinde kullanılabilir. En uygun bölge ise güneşlenme süresi yüksek olduğu ve rüzgar hızının düşük olduğu Van şehridir. Bunu Muğla ve Hatay takip etmektedir.

Türkiye genelinde yapılara baktığımızda birçok binanın dekoratif ve yalıtım amaçlı olarak dış cephelerinde metal (genelde alüminyum) kullanıldığı görülmektedir. Bunlara Şekil 5.1'de gösterilen Hacettepe üniversitesi kapalı yüzme havuzu, kentpark, milli kütüphane, camiler gibi binaları örnek verebiliriz.

Bu binalarda dekoratif amaçlı kullanılan bu yüzeyler küçük değişiklik ve eklemelerle güneş duvarı haline kolaylıkla dönüştürülebilse de maliyet açısından uygun olmaz. Ancak bina yapım aşamasında iken doğrudan bu yüzeyler güneş duvarı sistemi olarak tasarlanmış olsalar ek bir maliyet dahi gerektirmezler. Aynı zamanda binanın dekoratif görünümü değişmemekte ve güneş duvarı sistemleri kuran firmaların sundukları farklı renklerdeki seçeneklerle (Şekil 5.2) binalara görsel anlamda ayrı bir çekicilik katabilirler. Bununla beraber binanın ısınmasında ciddi ölçüde katkı sağlayacakları bölüm 4'te anlatılmıştır.



Şekil 5.1. Güneş duvarları için uygun görülmüş binalar

Not: Şekil 5.1’de üzerinde kırmızı çizgi ile belirtilen kesimler Güneş duvarların kurulması için uygun görülmüştür. Bu seçimin asıl nedeni, bu kesimlerin güneye bakmaları ve gölgeleme faktörünün olmamasıdır.

Güneş duvarı sistemleri gece saatlerinde çalışmadığı için gündüzleri kalabalık ve ısınmaya ihtiyaç duyan alanlarda kullanılması uygundur. Buna göre güneş duvarlarının kullanımının uygun olan yerler sıralanırsa;

- Gündüzleri kalabalık olan binalar,
- Endüstriyel tesisler,
- Alışveriş merkezleri,
- İdari binalardır.



Şekil 5.2. Solar Wall firması tarafından farklı renklerde üretilen Güneş duvarları [10]

Bu sistemlerin bina duvarlarının geniş ve güneye bakan yerlerinde kurulmaları gerekir.

Bu sistemlerin avantajlarını da aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Kış mevsiminde büyük tasarruf sağlar,
- Yaz aylarında binanın serin kalmasına neden olur,
- Kısa sürede kendisini amorti edebilir,
- Uzun ömrü vardır,
- Binayı yağmur ve nem gibi dış etkenlere karşı korur,
- Klasik kolektörlerde gözlenen donma ve kaçak problemleri yoktur.

Kurulacak güneş duvarı sistemlerinde maksimum verimlilik elde etmek için; öncelikle bölgenin ortalama meteorolojik değerleri (sıcaklık, rüzgar hızı, ışınım şiddeti, güneşlenme süresi) belirlenmelidir. Daha sonra sistemin uygulanacağı yer için boyutlar kullanılarak soğurucu yüzeyin boyutları ve özellikleri belirlenir. Bu verilere göre Eş. 3.22'yi kullanarak farklı adım aralıkları için termal verimin delik çapı ile değişimi çizilerek bu grafikten her adım aralığı için maksimum verimliliği veren D_{max} 'lar belirlenmelidir ve P- D_{max} grafiği çizilerek belirlenen delik çapı için gerekli adım aralığı bulunmalıdır. Böylelikle maksimum verim elde edilmiş olur.

Bu sistemlerde soğurucu yüzey olarak seçici yüzey kullanmak verimliliği artıracaktır; ancak seçici yüzeylerin pahalı olması ve bu yüzeylerin çok geniş alanda uygulandığı göz önüne alındığında maliyeti çok arttıracığından uygulamalarda genelde alüminyum veya çelik kullanılmaktadır.

Bu tür sistemlerin yaygın olarak kullanılması ile dünyamızda enerji verimliliği artırılarak; maddi kazanımın yanı sıra, karbondioksit salımı da azaltılmış, sınırlı enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması sağlanmış ve en önemlisi çevre korunmuş olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Demir, İ., *Enerji*, 1. Baskı, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, 2001.
- [2] Newton, C.C., *A Concentrated Solar Thermal Energy System*, Master's Thesis, The Florida State University, Department Of Mechanical Engineering, Florida, 2007.
- [3] Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi, <http://www.elektrikuretimi.org/gunes-pillerinin-tarihsel-gelisimi/> (Eylül, 2012).
- [4] Güneş Pili Tarihi, http://www.alternaturk.org/gunes_pili_tarih.php (Eylül, 2012).
- [5] Rüzgar enerjisi, <http://web.gyte.edu.tr/enerji/ruzgarenerji/d2.html> (Eylül, 2012).
- [6] Rüzgar Türbinin Tarihsel Gelişimi, <http://www.ilkaymeseli.com/2011/05/ruzgar-turbinin-tarihsel-gelisimi/> (Eylül, 2012).
- [7] Acaroğlu, M., *Alternatif Enerji kaynakları*, 1. Baskı, Nobel Basımevi, 2003.
- [8] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünün Resmi İnternet Sayfası, <http://www.eie.gov.tr> (Eylül, 2012).
- [9] Kutscher, C.F., *An investigation of heat transfer for air flow through low porosity perforated plates*, Ph.D. Thesis, University of Colorado, Department of Mechanical Engineering, Colorado, USA, 1992.
- [10] Solar Wall Firmasının Resmi İnternet Sayfası, www.solarwall.com (Nisan, 2013)
- [11] Öztürk, H.H., *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*, 1. Baskı, Birsan Yayınevi, 2008.
- [12] İbrahim, D., *Güneş Enerjisi Uygulamaları*, 1. Baskı, Bileşim Yayınevi, 2006.
- [13] Çengel, Y.A., Ghajar, A.j., *Heat and Mass Transfer*, Fourth Edition, McGraw-Hill Publishing Company, 2011.
- [14] Tayfun, Y., *Güneş Enerjisinden Edilgen Sistem Yararlanmada Güneş Odası Ekleme Yönteminin iç Ortam Sıcaklığına Etkisinin incelenmesi*

- İstanbul Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [15] Sugözü, İ., *Güneş enerjisiyle çalışan iki farklı güneş duvarının (solar wall) Elazığ şartlarında uygulanabilirliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2005.
- [16] Sayın, S., *Yenilenebilir enerjinin ülkemiz yapı sektöründe kullanımının önemi ve yapılarda güneş enerjisinden yararlanma olanakları*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006.
- [17] Öztürk, H.H., Antalya iklimi koşullarında sera ısıtma amacıyla güneş enerjisinin duyulur ısı olarak depolanması için tasarım değişkenlerinin belirlenmesi,
http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a1dfc4176d3ee05_ek.pdf?tipi=.. (Haziran, 2013).
- [18] Stazi, F., Mastruccia, A., Di Pernab, C., The behavior of solar walls in residential buildings with different insulation levels: An experimental and numerical study, *Energy and Buildings*, 47, 217–229, 2012.
- [19] Wang, W., Tian, Z., Ding, Y., Investigation on the influencing factors of energy consumption and thermal comfort for a passive solar house with water thermal storage Wall, *Energy and Buildings*, 64, 218–223, 2013.
- [20] Hollick, J.C., Unglazed solar wall air heaters, *Renewable Energy*, 5, 415-421, 1994.
- [21] Hollick, J.C., Solar cogeneration panels, *Renewable Energy*, 15, 195-200, 1998.
- [22] Shukla, A., Nkwetta, D.N., Cho, Y.J., Stevenson, V., Jones, P., A state of art review on the performance of transpired solar collector, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3975– 3985, 2012.
- [23] Kutscher, C.F., Heat exchange effectiveness and pressure drop for air flow through perforated plates with and without crosswind, *Journal of Heat Transfer*, 116, 391–399, 1994.

- [24] Kutscher, C.F., Christensen, C., Barker, G., Unglazed transpired solar collectors: heat loss theory, *Journal of Solar Engineering*, 115 , 182–188, 1993.
- [25] Summers, D.N., *Thermal Simulation and Economic Assessment of Unglazed Transpired Collector Systems*, M.Sc. Thesis, University of Wisconsin-Madison, USA, 1995.
- [26] Van Decker, G.W.E., Hollands, K.G.T., Brunger, A.P., Heat-exchange relations for unglazed transpired solar collectors with circular holes on a square or triangular pitch, *Solar Energy*, 71, 33-45, 2001.
- [27] Motahar, S., Alemrajabi, A.A., An Analysis of Unglazed Transpired Solar Collectors Based on Exergetic Performance Criteria, *International Journal of Thermodynamics*, 13, 153-160, 2010.
- [28] Augustus Leon, M., Kumar, S., Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors, *Solar Energy*, 81, 62-75, 2007.
- [29] Moaveni, S., Tebbe, P.A., Schwartzkopf, L., Dobmeier, J., Gehrke, J., Simones, M., A numerical model for thermal performance of an unglazed transpired solar collector, *ASME 5th International Conference on Energy Sustainability*, 1-5, 2011.
- [30] Gunnewiek, L.H., Brundrett, E., Hollands, K.G.T., Flow distribution in unglazed transpired plate solar air heaters of large area, *Solar Energy*, 58, 221-237, 1996.
- [31] Fleck, B.A., Meier, R.M., Matovic, M.D., A field study of the wind effects on the performance of an unglazed transpired solar collector, *Solar Energy*, 73, 209-216, 2002.
- [32] Barker, G., Kiatreungwattana, K., Pressure drop as a function of air flow rate for roll-punched transpired solar collectors with different porosities, *ASME 5th International Conference on Energy Sustainability*, 64-70, 2011.
- [33] Tırıs, Ç., Söhmen, H.M., Türkiye’de üretilen güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde kullanılan güneş kollektörleri, *Güneş günü sempozyumu*, 99, Kayseri, 25-27 haziran 1999.

- [34] Goswami, D.Y., Kreith, F., Kreider, J.F., *Principles of Solar Engineering*, Second Edition, Taylor & Francis Publishing Company, 2000.
- [35] Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th Edition, John Wiley & Sons Publishing Company, 2007.
- [36] Balagurusamy, E., *Numerical Methods*, 25th Reprint, Tata McGraw-Hill Publishing Company, 2008.
- [37] Jaques, R.A., Burgess, J.C., Solar Wall Collectors- Results of Field Trail in Three Schools and a House, BRANZ Study Report, No.231, New Zealand, 2010.
- [38] <http://www.travelmath.com> (Ağustos, 2013).
- [39] <http://www.climatemps.com> (Ağustos, 2013).
- [40] <http://www.myweather2.com> (Ağustos, 2013).
- [41] Varınca. K.B., Gönüllü, M.T., Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, 270-275, 2006.
- [42] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (Ağustos, 2013).

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : ATAOLLAH KHANLARI

Doğum Yeri : Khoy, Batı Azerbaycan, İran

Medeni Hali : Bekar

E-posta : ata_khanlari@yahoo.com

Adresi : Fidanlık Mah, Sağlık 1 Sok, 55/7, Çankaya, Ankara

Eğitim

Lise : Nemoune Modarres Khoy

Lisans : Azad İslami Üniversitesi, Khoy, İran

Yüksek Lisans :

Yabancı Dil ve Düzeyi : İngilizce, İleri

İş Deneyimi : -

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi : -

Tezden Üretilmiş Yayınlar : -

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar : -