

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR OTELDE İKLİMLENDİRME SİSTEMİNE ENTEGRE EDİLMİŞ
GÜNEŞ DUVARLARININ ENERJİ EKONOMİSİNE KATKISININ
ARAŞTIRILMASI**

Nihal IŞILAK

**Danışman
Prof. Dr. Mustafa ACAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2019**



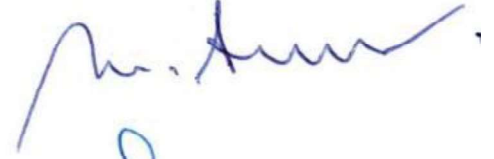
©2019 [Nihal IŞILAK]

TEZ ONAYI

Nihal IŞILAK tarafından hazırlanan "**Bir Otelde İklimlendirme Sistemine Entegre Edilmiş Güneş Duvarlarının Enerji Ekonomisine Katkısının Araştırılması**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

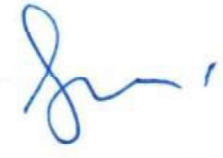
Danışman

Prof. Dr. Mustafa ACAR
Süleyman Demirel Üniversitesi



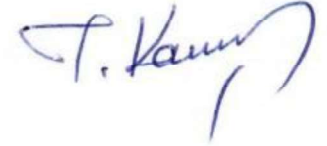
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Reşat SELBAŞ
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Tansel KOYUN
Süleyman Demirel Üniversitesi



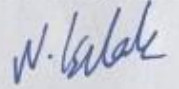
Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Nihal IŞILAK



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	2
3. DÜNYANIN SAHİP OLDUĞU ENERJİ KAYNAKLARI	8
3.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları Çeşitleri	8
3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Çeşitleri	10
3.2.1. Güneş enerjisi ve Güneş.....	11
3.2.1.1. Güneş ışıınımı	12
3.2.2. Türkiye'nin Güneş enerjisi potansiyeli	14
4. BİNALARDA ISITMA AMAÇLI KULLANILAN GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ ..	17
4.1. Aktif Güneş Enerjisi Sistemleri	18
4.2. Pasif Güneş Enerjisi Sistemleri	18
4.2.1. Pasif güneş enerjisi sistemlerinde doğrudan kazanım.....	19
4.2.2. Pasif güneş enerjisi sistemlerinde dolaylı kazanım.....	20
4.2.3. Pasif güneş enerjisi sistemlerinde yalıtılmış kazanım.....	21
4.2.4. Pasif güneş enerjisi sistemlerinin karşılaştırılması	22
4.3. Dolaylı Kazançlı Aktif ve Pasif Güneş Enerjisi Sistemleri.....	23
4.3.1. Trombe Duvar	24
4.3.2. Güneş Odası	25
4.3.3. Su Duvarı	26
4.3.4. Çatı Havuzları	27
4.3.5. Güneş Duvarı.....	28
4.3.5.1. Güneş duvarının yapısı	28
4.3.5.2. Güneş duvarının çalışma prensibi	30

4.3.5.3. Güneş duvarının avantajları.....	32
4.3.5.4. Güneş duvarının verimliliğini etkileyen faktörler.....	32
4.3.5.6. Güneş duvarının ısı transfer mekanizmaları.....	35
4.3.5.7. Güneş duvarı tasarımı ve tipleri.....	50
5. SİSTEM SEÇİMİ VE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	57
5.1. Performans.....	57
5.1.1. Havalandırma yeteneği.....	57
5.1.2. Soğutma	57
5.1.3. Isıtma konforu	58
5.1.4. Mevsim geçiş kolaylığı.....	58
5.1.5. Aşırı işletme şartlarına uygunluk	58
5.2. İşletme Maliyeti	59
5.2.1. Enerji maliyeti	59
5.2.2. Yıllık verim.....	59
5.2.3. İşletme durumu	60
5.2.4. Isıtmada kullanılan yakıt, enerji cinsi	60
5.3. Sistem İlk Yatırım Maliyeti	60
5.3.1. Ek ısıtma sistemi.....	61
5.4. Sistemin Ekonomik Ömrü.....	61
5.5. İklimsel Koşullar	61
6. KONFOR GEREKSİNİMİ VE BİNANIN ENERJİ TÜKETİMİ.....	62
6.1 Binalarda Konfor	62
6.2. Enerji Tüketimi ile İlgili Bazı Tanımlamalar	63
6.3. Bina Enerji Performansı Değerlendirmesi	67
7. BİR BİNANIN ENERJİ MODELLEMESİ.....	69
7.1. Enerji Modellemesi.....	69
7.2. Enerji Modelleme İçin Gerekli Veriler	70
7.3. Otelin Enerji Modellemesi	75
8. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	78
8.1. Model Çalışması.....	78
8.2. Çalışmada Seçilen İlin Coğrafi ve İklimsel Özellikleri	79
8.3. Örnek Otel Bina Bilgileri.....	79
8.4. Otelin Enerji Yüklerinin Belirlenmesi	81

8.4.1. Isı yükü hesabı.....	81
8.5. Otel İçin Öngörülen Isıtma Sistemleri.....	86
8.5.1. Kazan ve radyatör ısıtma sistemi.....	86
8.5.2. Kazan ve döşemeden ısıtma sistemi.....	89
8.5.3. Su kaynaklı ısıtma sistemi	91
8.5.4. Tam havalı iklimlendirme sistemi	94
9. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	96
KAYNAKLAR	98
EKLER.....	103
EK A. Simülasyon Programına Girilen Veriler.....	103
EK B. Simülasyon Sonuçları.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	113

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİR OTELDE İKLİMLENDİRME SİSTEMİNE ENTEGRE EDİLMİŞ GÜNEŞ DUVARLARININ ENERJİ EKONOMİSİNE KATKISININ ARAŞTIRILMASI

Nihal IŞILAK

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ACAR

Bu tez çalışmasında İzmir ili içerisinde bulunan bir otelin ısıtma ve sıcak su ihtiyacında kullanılan fosil tabanlı enerjisinin azaltılması amacıyla güneş duvarlarının sisteme katkısı araştırılmıştır. Binanın mimaride kapalı olan güney cephesine 500 m² güneş hava kolektörü kurulması için tasarlanan sistemin kuruluş maliyeti 26000 USD olarak hesaplanmıştır. Bu fiyat üzerinden devletin sağladığı Enerji Verimliliği Destekleri kapsamında Verimlilik Artırıcı Proje (VAP) desteği ile maliyetin %30'u oranında hibe alınarak toplam maliyet 18200 USD'a düşürülebilmektedir. Otelin tüm yıl için ay, gün ve saatlik enerji ihtiyacı Carrier HAP 5.1. programı ile hesaplanmıştır. Toplam ısınma ve kullanma sıcak su ihtiyacı için binanın yıllık doğalgaz tüketimi 518686 kWh doğalgaz tüketimi 11411 USD olarak hesaplanmıştır. Yıllık 1386 ton/yıl karbon salınımı hesaplanmıştır. Carrier HAP 5.1. programı ile otelin güney cephesine uygulanması tasarlanan güneş hava kolektörünün metrekare başına tüm yıl için saatlik alabileceği güneş radyasyonunun değerleri elde edilmiştir. Kolektör yüzeyine gelen güneş radyasyonundan elde edilebilecek toplam enerji 325163 kWh hesaplanmıştır. Kolektör hava kanalından geçecek akışkanın hacimsel debisi 10000 m³/h olarak seçilmiştir ve bu değere göre kolektör çıkış sıcaklıkları hesaplanmıştır. Tasarlanan güneş hava kolektörü ile karbon salınımı 31 ton/yıl azaltılması hedeflenmektedir.

Elde edilen değerlere göre otelde kullanılacak dört farklı iklimlendirme sistemi için yıllık fosil yakıt enerji tasarrufu, ilk yatırım maliyeti geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Kazan ve radyatör ısıtma sistemi için 136744 kWh ve 3008 USD kazanç sağlarken sistem için kurulan pompa ve fanın yıllık gideri 745 USD ve 200 USD bakım gideri ile net kazanç 2063 USD olmakla birlikte yaklaşık 8,8 yıl içerisinde maliyeti geri kazandırmaktadır. Kazan ve döşemeden ısıtma sistemi için 168085 kWh ve 3698 USD kazanç sağlarken sistem için kurulan pompa ve fanın yıllık gideri 942 USD ve 200 USD bakım gideri ile net kazanç 2556 USD olmakla birlikte yaklaşık 7,5 yıl içerisinde maliyeti geri kazandırmaktadır. Su kaynaklı VRF sistemi için 163798 kWh ve 3604 USD kazanç sağlarken sistem için kurulan pompa ve fanın yıllık gideri 233 USD ve 200 USD bakım gideri ile net

kazanç 3171 USD olmakla birlikte yaklaşık 5,7 yıl içerisinde maliyeti geri kazandırmaktadır. Tam havalı iklimlendirme sistemi için 116304 kWh ve 2559 USD kazanç sağlarken sistem için kurulan pompa ve fanın yıllık gideri 260 USD ve 200 USD bakım gideri ile net kazanç 2099 USD olmakla birlikte yaklaşık 8,6 yıl içerisinde maliyeti geri kazandırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Duvarı, Enerji Tasarrufu, Sera Gazı Salınımı Azaltılması

2019, 113 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE SOLAR AIR COLLECTOR SYSTEM'S CONTRIBUTIONS TO ENERGY ECONOMY WHICH IS INTEGRATED INTO A HOTEL'S AIR CONDITIONING SYSTEM

Nihal IŞILAK

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ACAR

In this thesis, the contribution of solar walls to reduce the fossil-based energy used in heating and hot water needs of a hotel in Izmir was investigated. Designed to install 500 m² solar air collector on the south side of the building, the installation cost of the system was calculated as 26000 USD. It is possible to reduce the initial investment cost by 30 % with some special energy support programs of the Government. The amount of energy the hotel needs was calculated for a year in monthly, daily and hourly with Carrier HAP 5.1. program. The annual natural gas consumption of the building is 518686 kWh and the total amount paid for natural gas is calculated as 11411 USD for the total heating and hot water usage needs. 1386 tons/year carbon emissions were calculated. Values of solar radiation that the solar air collector designed for application to the southern façade of the hotel may receive were calculated hourly per square meter per year with the help of Carrier HAP 5.1. program. The total energy that can be obtained from solar radiation coming to the collector surface is calculated as 325163 kWh. The volumetric flow rate of the fluid flowing through the collector air duct was selected as 10000 m³/h and the exit temperatures of the air from the collector were calculated according to this value. The solar air collector is designed to reduce carbon emissions by 31 tons/year.

According to the obtained values, annual fossil fuel energy saving, initial investment cost and repayment periods were calculated for four different air conditioning systems to be used in the hotel. The boiler and radiator heating system provides 136744 kWh and 3008 USD, while the annual electricity cost of the pump and fan installed for the system is 745 USD and the annual maintenance cost is 200 USD therefore the net gain is 2063 USD and the system repays itself in about 8.8 years. The boiler and floor heating system provides a gain of 168085 kWh and 3698 USD, while the pump and fan installed for the system annually electricity cost of 942 USD and annually maintenance cost 200 USD and the net gain is 2556 USD and returns its cost in about 7.5 years. The water-borne VRF system provides 163798 kWh and 3604 USD, while the pump and fan installed for the system have an annual cost of 233 USD and a maintenance cost of 200

USD, so the net gain is 3171 USD and repays itself in about 5.7 years. The all-air system provides 116304 kWh and 2559 USD, while the pump and fan installed for the system have an annual cost of 260 USD and a maintenance cost of 200 USD. Therefore, the net gain is 2099 USD and it repays itself in about 8.6 years.

Keywords: Solar Wall, Energy Saving, Greenhouse Gas Emission Reduction.

2019, 113 pages



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın her aşamasında hoşgörölü yaklaşımı ve yapıcı yönlendirmeleriyle desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mustafa ACAR'a, tezimin tüm aşamalarında bilgi ve tecrübesini esirgemeyip zamanını ayıran çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarından dolayı emeği geçen değerli hocam Dr. İbrahim ÇAKMANUS'a tezimin hazırlanma aşamasında katkılarından dolayı Cemil İŞILAK'a, çalışmalarım boyunca yoğun çalışma yükümü hafifleterek verdikleri destek ve katkılarından dolayı Hasan BAŞKALELİ, Ali Murat HACIOĞLU mesai arkadaşlarıma,

Ayrıca tez çalışmam boyunca bana yol göstererek her türlü fedakarlığı yapan değerli eşim Cemal İŞILAK'a ve her koşulda bana olan desteğini esirgemeyip cesaret ve güç veren başta annem olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

Nihal İŞILAK
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Dünyanın farklı zamanlarda güneşe göre konumu	13
Şekil 3.2. Dünyanın farklı zamanlarda güneş ışınlarının açısı	14
Şekil 3.3. Azimut ve yükseklik açısı	14
Şekil 3.4. Türkiye'nin toplam Güneş radyasyonu atlası.....	15
Şekil 3.5. Türkiye global radyasyon değerleri ve Türkiye güneşlenme süreleri.....	16
Şekil 4.1. Doğrudan pasif güneş enerjisi sistemleri.....	20
Şekil 4.2. Pasif güneş enerjisi sistemlerinde yalıtılmış kazanım	21
Şekil 4.3. Trombe duvarın çalışma ilkesi	24
Şekil 4.4. Trombe duvarının gündüz ve gece çalışma şekli	25
Şekil 4.5. Yaz aylarında trombe duvarı ile havalandırma	25
Şekil 4.6. Güneş odasının çalışma prensibi	26
Şekil 4.7. a. Dolaylı su duvarı, b. Direkt kazançlı su duvarı	26
Şekil 4.8 Çatı havuzu.....	27
Şekil 4.9. Güneş duvarı monte edilmiş bir bina yüzeyi	29
Şekil 4.10. Güneş duvarının çalışma prensibi	31
Şekil 4.11. Güneş duvarının yazın çalışma prensibi	32
Şekil 4.12. Güneş duvarı için ısı transfer modeli	35
Şekil 4.13. Soğurucu plaka sıcaklığı ve bina duvarının dış yüzey sıcaklığının soğurucu plaka emisyonuna göre değişimleri	43
Şekil 4.14. Güneş duvarın üzerine düşen güneş radyasyonuna göre verimin değişimi	44
Şekil 4.15. Termal verimin delik çapına göre değişimi.....	45
Şekil 4.16. Farklı adım aralıkları için termal verimin delik çapına göre değişimi	46
Şekil 4.17. Farklı adım aralıkları için minimum delik çapı değerinin değişimi	47
Şekil 4.18. Maksimum verim elde etmek için maksimum delik çapı değerine göre delik adımının değişimi.....	47
Şekil 4.19. Farklı delik çapları için verimin delik adımına göre değişimi.....	48
Şekil 4.20. 1 mm delik çapı için verimin delik adımına göre değişimi.....	49
Şekil 4.21. Verimin delik çapı ve delik adımına göre değişimi.....	50
Şekil 4.22. Sıcaklık artışının değişimi delik çapı ve delik adımı değişimlerine göre	50
Şekil 4.23. Tek aşamalı güneş duvarı	51
Şekil 4.24. Tek aşamalı güneş duvarının bir binaya uygulanması.....	52
Şekil 4.25. İki aşamalı güneş duvarı ve iç kesiti.....	53
Şekil 4.26. İki aşamalı güneş duvarının çalışma prensibi	54
Şekil 4.27. Uluslararası Plattsburgh Havalimanında iki aşamalı güneş duvarının hangar ve tesis uygulaması.....	54
Şekil 4.28. Concordia Üniversitesi güneş duvarı uygulaması.....	55
Şekil 4.29. PV sistemle kombine edilmiş güneş duvarının çalışma prensibi	56
Şekil 4.30. CRH Grup tesislerinde camsız ve transparan güneş duvarı uygulaması	56
Şekil 6.1. ASHRAE Konfor Grafiği	63
Şekil 6.2. Sistem Sınırları	64

Şekil 6.3. Bina Enerji İhtiyacının Karşılama Üzere Kullanılan Enerji.....	65
Şekil 6.4. Bina enerji sınırları ve tanımlamalar.....	66
Şekil 6.5. Binalarda fosil tabanlı enerji tüketiminin azaltılması.....	66
Şekil 6.6. Bina enerji performans seviyeleri.....	67
Şekil 7.1. Bina enerji simülasyonu programlarının genel yapısı.....	70
Şekil 7.2. Modellemede kullanılan iç koşullara örnekler	72
Şekil 7.3. Katlara ait enerji modellemede zonlama	73
Şekil 7.4. Modellemelerde kullanılan yapı elemanları örnekleri	74
Şekil 7.5. Tanımlanan takvimin genel görünümü	74
Şekil 8.1. Sistem genel yapısı ve akış diyagramı	78
Şekil 8.2. İzmir ilinde butik otel olarak kullanılacak binanın kat planları.....	79
Şekil 8.3. İletim ve taşınım yoluyla ısı transferi.....	82
Şekil 8.4. Güneş hava kolektöründen geçen hava debisine bağlı olarak çıkış havası sıcaklık artışı	83
Şekil 8.5. Çok kazanlı kaskad sistemlerde radyatör ile mahal ısıtması ve kullanım suyu boyler devresi	87
Şekil 8.6. Dış hava sıcaklığına bağlı ısıtma tanım eğrisi.....	87
Şekil 8.7. Yoğuşmalı kazan ile döşemeden mahal ısıtması ve kullanım suyu boyler devresi	89
Şekil 8.8. Kule ve Kazan ile Oluşturulmuş Bir Su Kaynaklı VRF Sistemi	91
Şekil 8.9. Isıtmada besleme suyu giriş sıcaklığına bağlı verim değişimi eğrisi	92
Şekil 8.10. Çift kanallı havalandırma sistemi.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Konutlarda Enerjinin Harcandığı Alanlar.....	17
Çizelge 4.2. Bazı yüzey kaplamalarının ve boyaların fiziksel özellikleri.....	34
Çizelge 4.3. Hava özelliklerini bulmak için kullanılan sabitler	40
Çizelge 4.4. Güneş duvarı parametreleri için kullanılan değerler	42
Çizelge 6.1. Binalarda Tipik Konfor Şartları.....	62
Çizelge 6.2. Değerlerine göre enerji sınıfları.....	68
Çizelge 7.1. Yıllık enerji tüketimleri icmalı	76
Çizelge 8.1. İzmir için ortalama aylık dış hava sıcaklığı değerleri	78
Çizelge 8.2. Sistem içerisindeki yapı elemanlarının ve pencerelerin yüzey alanları	80
Çizelge 8.3. Kazan ve radyatör ısıtma sistemine ait veriler	88
Çizelge 8.4. Kazan ve döşemeden ısıtma sistemine ait veriler.....	90
Çizelge 8.5. Su kaynaklı VRF ısıtma sistemi.....	93
Çizelge 8.6. Tam havalı iklimlendirme sistemine ait veriler	95
Çizelge 8.7. Sistemlerin karşılaştırılması	97
Çizelge A.1. Dış Hava Verileri	103
Çizelge A.2. U değerleri.....	104
Çizelge A.3. Günlük Çalışma Saatleri	105
Çizelge A.4. Elektrik ve doğalgaz fiyatları	106
Çizelge B.1. Aylık bazda hava sistemi simülasyon sonuçları	107
Çizelge B.2. Isıtma sistemi doğalgaz tüketimleri.....	108
Çizelge B.3. Soğutma sistemi elektrik tüketimleri	108
Çizelge B.4. Bina bilgileri	109
Çizelge B.5. Sistem bazında aylık enerji tüketim maliyetleri.....	110
Çizelge B.6. Sistem bazında yıllık enerji tüketim maliyetleri	111
Çizelge B.7. Toplam Maliyetler	112

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASHRAE: American Society of Heating
Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BEP: Bina enerji performansı
CFD: Computational Fluid Dynamics
cm: Santimetre
COP: Coefficient of performance
EER: Energy efficiency ratio
 G_{sc} : Güneş sabiti
h: Hour
HVAC: Heating Ventilating and Air Conditioning
ISO: International Organization for
Standardization
J: Joule
K: Kelvin
k: Kilo
km: Kilometre
M.Ö. : Milattan Önce
m: Metre
 m^2 : Metrekare
 m^3 : metreküp
mm: Milimetre
MW: MegaWatt
mZEB: Yaklaşık net sıfır enerjili bina
nZEB: Net sıfır enerjili bina
PV: Photovoltaik
s: Saniye
TSE: Türk Standartları Enstitüsü
V.b. Ve benzeri
 V_s : Yaklaşım hızı
W: Watt
Wwf: World Wide Fund for Nature
YEGM: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
%: Yüzde
°C: Celcius

1. GİRİŞ

Günümüzde tüm alanlarda kullanılan enerji kaynağının büyük bir bölümünü fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Isınma ihtiyacının karşılanması, hızla gelişen teknoloji, büyüyen sanayi, ulaşım araçlarının artması gibi nedenlerden dolayı fosil yakıtlar tükenme belirtileri göstermekte birlikte bu yakıtların kullanımı ile ortaya çıkan çeşitli zararlı gazlar sebebiyle çevreyi ve atmosferi kirletmektedir. Bu sebeplerden dolayı fosil yakıtlara alternatif olarak önceki dönemlerden bu zamana yenilenebilir enerji önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji fosil yakıtlara göre sürdürülebilir olmakla birlikte potansiyel olarak yeryüzünde bulunan atıl durumdaki doğal kaynakların enerjiye dönüşmesini sağlamaktadır. Bu doğal kaynakların en başında ve diğer yenilenebilir enerji kaynakların dolaylı yönden oluşmasını sağlayan güneş enerjisi bulunmaktadır. Güneş enerjisinden faydalanmak üzere fotovoltaiik güneş teknolojisi ve ısı güneş teknolojisi olmak üzere iki ana yöntem bulunmaktadır. Fotovoltaiik güneş teknolojisinde yarı iletken malzemelerden oluşan fotovoltaiik hücreler sayesinde güneş ışığını elektrik enerjisine çevrilmektedir. Isıl güneş teknolojisinde ise çeşitli yöntemlerle güneş ışığından ısı elde edilmektedir. Elde edilen bu ısı ile ya doğrudan kullanılmakta ya da diğer enerji çeşitlerine çevrilerek kullanılmaktadır. Isıl güneş teknolojileri sistemlerinden olan güneş duvarı literatürde güneş hava kolektörü, hava geçişli güneş kolektörü, güneş enerjili hava kolektörü, hava sızdırmalı güneş kolektörleri, havalı güneş kolektörü gibi birçok çeşitli isim ile anılmaktadır. Tez içerisinde kaynaklarda geçen ifadeler ile verilmiştir. Güneş duvarları delikli plakalar ve hava kanallarından oluşmuştur. Bu delikli plakalardan geçen güneş ışığı sayesinde kanallarda bulunan havanın ısınmasını sağlamaktadır. Isınan hava ile kullanım alanlarına göre sisteme dahil edilip fosil kaynaklardan alınan enerjinin azaltılması sağlamaktadır. Azalan fosil yakıt ihtiyacı ile sera gazı salınımında azaltılması hedeflenmiştir. Güneş duvarlarının çalışma prensibi ilgili bölümde detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu tez çalışmasında bir otelin ısıtma giderlerinin azaltılması amacıyla var olan sistemlere güneş duvarları dahil edilerek tasarruf edilmesi amaçlanmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Gan (1997), çalışmasında, Trombe duvar geometriği bulunan kapalı alanlarda hava akışının ve akış hızının tahmininde kullanılabileceğini bir program geliştirmiştir. Soğutması için bir Trombe duvarı kullanıldığında, yüzdürme etkisinin neden olduğu havalandırma oranı duvar sıcaklığı, güneş ısı kazancı, duvar yüksekliği ve kalınlığı ile arttığını göstermiştir. Giriş ve çıkış açıklıkları ile kanal genişliğinin arttırılmasıyla, havalandırma oranını arttırdığını belirtmiştir. Bir Trombe duvar sistemi için tek cam yerine çift cam kullanılması sadece kışın ısı kayıplarını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda yaz aylarında pasif soğutmayı da arttırmaktadır. Yaz soğutmasında havalandırma oranını en üst düzeye çıkarmak için, depolama duvarının iç yüzeyi yalıtılmalıdır. Ayrıca duvardan konveksiyon ve radyasyon ısı transferi nedeniyle oda havasının istenmeyen şekilde ısınmasını da önlemektedir.

Hirunlabh vd. (1999), konut ısıtma sistemlerinde Bangkok'taki bir metalik güneş duvarı kullanılarak incelenmişlerdir. Çalışmalarında metalik güneş duvarı cam kapak, hava boşluğu, siyah metalik plaka ve mikro fiber ve kontrplaktan yapılmış yalıtıktan oluşan 14.5 cm hava boşluğu ve 2m² yüzey alanı (YxG: 2x1 m) olan metalik güneş duvarının yaklaşık 0.01-0.02 kgs⁻¹ en yüksek hava kütle akış hızını ürettiği bulmuşlardır. Testler sırasında metalik güneş duvarı tarafından sayesinde oda sıcaklığı ortam havasına yakın olarak ölçülmüştür. Hazırlanan sayısal model sayesinde simülasyon ve deneylerden yakın sonuçlar elde edilmiştir. Böylece modelin, uzun süreli ısı transferinin yaşam alanına indirgenmesini değerlendirmek için kullanılabilirlik sağlamaktadır.

Kundakçı (2004), çalışmasında Trombe duvarın binaların dış cephe performansına etkini incelemiştir. Dış cephenin ve Trombe duvarın ısı performanslarını karşılaştırmıştır. Çalışılan sistem, İstanbul ilinde bir binaya uygulamıştır. Trombe duvar, binanın ısıtma enerjisi korunumu bakımından incelemiştir.

Sayım (2005), bu çalışmada; binaların ısıtılması amacıyla kullanılmak üzere, güneş enerjili havalı toplayıcı tasarlanmış ve imal edilerek uygulanmıştır. Tasarlanan bu yeni güneş enerjili havalı toplayıcı, deney için inşa edilmiş olan iki odalı, biri kolektörlü diğeri kolektörsüz, deney evine uygulanarak güneşli günlerde sıcaklık farkında artış sağladığı görülmüştür. Yapılan bu deneysel çalışma ile, 3. iklim bölgesinde bulunan Elazığ ili için sistem verimliliğe pozitif katkı sağlamıştır. Ayrıca soğuk kış aylarında da bu sistemden faydalanılabileceği görülmüştür.

Zalewski vd. (2011), gerçek hava koşullarına altında küçük ölçekli bir Trombe kompozit güneş duvarının faz değişim malzemesini içeren termal bir sistemin deneysel bir çalışmasını yapmışlardır. Hava akışını ve sıcaklık değerleri ölçümleri yoluyla, bu tür malzemenin kendine özgü termal davranışı incelemişlerdir. Faz değişim malzemesi 27°C'de erime fazı, algılanabilir enerjinin depolama fazları olarak gözlenmişler ve duvar gece boyunca enerjiyi boşalttığı anda, ani bir ısı salınımının eşlik ettiği katılaşma aşamasına vurgulanmışlardır. Erime ve katılaşma sıcaklıkları arasındaki süper soğutma ilgili fark, gündüz gece döngüleri sırasında açıkça belirtmişlerdir.

Hami vd. (2012), güneş duvarlarının hava akımı simülasyonu için hesaplamalı akışkanlar dinamiği tekniği (CFD) kullanılmıştır. Akışın laminar olduğu, kararsız ve sıkıştırılmadığı varsayılmıştır. Güneş duvarlarının değişkenlik derinliğinin sistemin ısı verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada incelenen simülasyonlarda plakalar arası açıklıkların seviyesindeki sıcaklık, üst kısım (sıcak hava) güneş akışına yakından bağlıdır. Çıkışın oldukça yüksek olduğu bir havanın sıcaklığı vermek için elde edilen simülasyon sonuçları, iyi bir termal konfor sağlamak için elverişlidir. Kütle duvarı, bir Trombe duvar tipi termal depolama duvarının en önemli bileşeni olduğundan içinde güneş ısı depolanacak ve binanın içine iletilecektir. Bir çatı çıkıntısı, güneşin yüksek olduğu yerlerde termal depolama duvarını gölgeleyerek sıcak aylarda ısı kazanımını azaltabilir. Ve gösterileceği gibi, termal depolama duvarlarını güneş kazanımını arttırmak veya azaltmak ve ısı kaybını azaltmak için uyarılmanın başka birçok yolu bulunmaktadır.

Akdur (2012), çalışmasında İzmir ili Bornova ilçesi koşulları için bir Trombe duvarı tasarlamış ve elde ettiği sonuçları değerlendirilmiştir. Elde ettiği sonuçlar doğrultusunda Aralık, Ocak ve Şubat ayları için, ısınan havanın hacme giriş sıcaklıkları Aralık ayı için 25,2°C, Ocak ayı için 25,9°C ve Şubat ayı için de 26°C bulunmuştur. İncelemelerinde bulutlanma sürelerini, rüzgar faktörünü hesaplarına dahil etmemiştir.

Briga vd. (2013) bu çalışmada, Trombe duvarının enerji performansının, Portekiz iklim koşullarına uyarlanmış ISO 13790: 2008 (E) esas alınarak hesaplanan metodolojisi tanımlanmış ve masif duvar kalınlığı, havalandırma sistemi ve harici kepenklerin sistemin ısı performansına etkisi gösterilmiştir. Bu sistem ile Portekiz termal düzenlemesini de bir konut binasına uygulamıştır. Bina cephesine bir Trombe duvarı eklenirse, enerji ısıtma ihtiyacının %16,36 oranında azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bojić vd. (2013), Trombe duvarı olan ve olmayan binalarda enerji ve çevresel performans, için karşılaştırması yapmışlardır. Çevresel performans için kış aylarında ısınma için birincil sistem enerjisinin ve Trombe duvarları kullanılarak tüketilen yıllık enerjinin toplamıdır. Lyon, Fransa'da bulunan "Mozart" tipindeki bir evin güney tarafında iki Trombe duvarı kullanılmıştır. Trombe duvarlarının çeşitli yapılarının performansları incelenmiştir. Trombe duvarları olan evlerin yıllık yaşam döngüsü için yıllık enerji kullanımı açısından daha az enerjiye ihtiyaç duyduğundan düşük olabilir. Binalarda Trombe duvarı kullanıldığında, ısıtma sırasında yıllık nihai enerji tasarrufu %20 civarındadır.

Khanları (2013), çalışmasında 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.

Şener (2013), çalışmasında güneş hava kolektörlerinin yamuk, üçgen ve kare formlarının sisteme katkısını incelemiştir. Elde ettiği sayısal modellemenin doğruluğu grid optimizasyonu ve deney düzeneği tasarlayarak karşılaştırmıştır. Tasarlanan sistemde iki farklı akım yoluna sahip havalı güneş kolektörü tasarlanmıştır. Birinci kolektör için standart hava akış yoluna sahip iken diğer kolektörde hava akımı yolunu uzatmak için yönlendirici kullanmıştır. Kolektörlerde hava, düz kolektörde 185 cm yol alırken, üç bölmeli kolektörde 190 cm ve beş bölmeli kolektörde 475 cm yol almaktadır. Bu yönlendirmeli tasarım sebebiyle kolektör içerisinde havanın daha uzun bulunmasından dolayı kolektör hava çıkış sıcaklığı artırılarak kolektör veriminin de artırdığını göstermiştir.

Hu vd. (2014), Çalışmalarında jaluzi perdesi gibi farklı açılarda ayarlanabilen Trombe duvarı ve bu sistemde hava akışını sağlayabilmesi için bir fan motoru bağlayarak bir deney düzeneği geliştirmişlerdir. Termal performansını incelemek için, kış ve yaz aylarında Hefei'de bir dizi karşılaştırmalı deney yapılmıştır. Kışın, aynı cepheye sahip iki oda arasındaki (0° , 45° , 90°), açılardaki sonuçlar ölçülen hava verilerine göre normal sıcaklık artışının değerinin kör kanat açısı 45° ye ayarlandığında daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Yaz aylarında ise sistem kör kanat açısını 90° 'ye ayarlayarak farklı saatlerde 22°C , 24°C ve 26°C 'de iki duvar arasındaki güney duvarının ortalama sıcaklık farkının sırasıyla 1.95°C , 1.72°C , 1.71°C düşürdüğünü gözlemlemişlerdir.

Aydede (2014), çalışmasında hava geçişli güneş hava kolektörünün enerji tüketimine katkısını incelemek üzere Sabiha Gökçen havalimanının giden yolcu bekleme salonunu incelemiştir. Güneş enerjisi ile ısıtma yükünün bir bölümünün karşılanması hedeflemiştir. Geliştirdikleri sistem ile binanın hem taze hava ihtiyacını karşılamışlar hem de ön ısıtma yaparak harcanan enerjinin azaltılmasını sağlamışlardır. Çalışmasında binanın güney cephesine 1420m^2 güneş duvarı monte edilmiştir. Bu çalışma sonuçları gösteriyor ki camsız transparan sistem yapının güney duvarına entegre edildiğinde %12 verimle çalışmaktadır. Yatırım maliyetinin geri dönüş süresi ise 14 yıl olarak bulunmuştur. Ayrıca binaların enerji performansı sınıflandırılmasına göre, güneş duvarı uygulanamadan önce bina 70 kWh/m^2 ile B sınıfı olarak belirlenirken,

güneş duvarı uygulamasından sonra bu miktar 64.9 kWh/m²'ye kadar düşmektedir.

Ay ve Khanları (2015), çalışmalarında güneş duvarlarının ülkemizde ve diğer ülkelerde kullanımını, binaların iklimlendirme sistemlerine katkısını incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda otel, hastane, okul gibi gün boyu sürekli havalandırma ihtiyacı duyulan binalarda ve bölgesel olarak ise kış aylarında uzun güneşlenme sürelerine sahip konumlara uygun sistemler olarak önerilmiştir.

Doğan (2015), bu çalışmada havalı güneş kolektörü tasarlanarak imal edilmişlerdir. Sistemin katkısını Karabük ili iklim şartları için deneysel olarak incelenmişlerdir. Kurulan güneş paneli sayesinde sistemin fan enerji ihtiyacı güneş panellerinden karşılamışlardır. Yapılan deneyler sonucunda ortalama kolektör verimi %43 olarak bulunmuştur. Kolektörlerin üfleme havası sıcaklığı en yüksek 48 °C iken, yutucu yüzey sıcaklığı ise en yüksek 96 °C olarak elde edilmiştir. Ölçümler sırasında güneş kolektörlerinden elde edilen ısı enerjisi ortalama 53 W'tır.

Bokor vd. (2017), güneş enerjisi toplayıcısının pasif soğutma etkisinin deneysel performansı üzerinde çalışmışlardır. Kolektörlerin farklı dizilişlerde güneş ışıını, ortam sıcaklığı, soğurucu sıcaklığı, boşluk ve arka plaka sıcaklıkları yaz boyunca takip etmişlerdir. Açık uçlu çift katmanlı çatılarda olduğu gibi aynı şekilde hareket eden delikli plakanın içinden doğal bir hava akışının geldiği bulunmuştur. Bu hava akımı, arka plakayı açığıdaki delikli plakadan ayıran plenumdan çıkan ısıyı tahliye etmektedir. Bağlantılı kolektör altındaki tavanı temsil eden arka levhanın sıcaklığı, tipik güneşli bir günde maruz kalan çatınıninkine kıyasla önemli ölçüde daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Briga vd. (2017), Trombe duvarındaki termal performansın farklı havalandırma açıklıkları ve tıkama cihazlarının çalışması için analitik ve deneysel bir analiz yapmışlardır. Deneysel veriler kullanılarak sistemdeki ısı kazanımlarını ve kayıplarını tahmin etmek için bir hesaplama metodolojisi uygulanmış ve

havalandırma açıklıkları ve tıkama tertibatı etkisi, sıcaklık dalgalanmalarında ve sonuçta ısı kazanımlarında ve kayıplarını incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar, bir tıkama tertibatı olmadığında, masif duvar dış yüzey sıcaklığı değerlerinin 60 °C'yi aştığını ve yerleştirildiğinde, 30 °C'ye veya altına düşürdüğünü göstermiştir. Hava hızı, havalandırma açıklığının altından tepesine çapraz bir desen izleyerek artmış ve değerleri, 0.10 m/s ve 0.40 m/s arasında değişmekte olup, 0.002 m³/s ve 0.008 m³/s arasında hava akımı değerlerine ulaşmışlardır.

Kılıç (2018), bu çalışmada tarım ürünlerini güneş enerjisinden faydalanarak kurutmak için yutucu plakaları farklı üç adet havalı güneş kolektörü tasarlanmış, imal edilmiş ve performansları deneysel olarak araştırılmıştır. Deney seti genel olarak havalı kolektör, hava sirkülasyonu için radyal fan, kurutma kabini ve ölçme sisteminden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında yutucu plaka yüzey geometrisi trapez profil şekline getirilmiş ve plakalara kare ve dikdörtgen profilde kanatlar eklenmiştir. Bu şekilde oluşturulan farklı kolektör modelleri test edilmiştir. Kurutma deneylerinde Konya yöresinde yetiştirilen bir taze fasulye türü kullanılmış ve kurutma havasının farklı debilerinde (0.022, 0.033 ve 0.044 kg/s) deneyler gerçekleştirilmiştir. Kolektör modelleri için havanın giriş çıkış sıcaklığının, yutucu plaka sıcaklığının, havaya aktarılan faydalı enerjinin ve kolektör veriminin anlık değişimleri belirlenmiş ve birbirleri ile kıyaslanmıştır.

3. DÜNYANIN SAHİP OLDUĞU ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji kaynakları kısaca, bir maddenin iş yapabilmesi için ihtiyacı olan enerjinin sağlandığı kaynaklara denir. Dünyanın sahip olduğu enerji kaynakları, oluşum çeşitlerine göre yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Enerjibes, 2017).

Enerji çeşitlerinin sınıflandırılması;

- Yenilenemez enerji kaynakları,
 - Doğalgaz,
 - Nükleer,
 - Kömür,
 - Petrol.
- Yenilenebilir enerji kaynakları,
 - Rüzgar,
 - Biokütle,
 - Hidrolik,
 - Jeotermal,
 - Deniz Dalgası,
 - Güneş.

3.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları Çeşitleri

Yenilenemez enerji kaynakları tükenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılabilir. Yani bu enerji kaynakları tükenebilir yakıtlardır. Ve bu tür yakıtların kullanımı hem çevre için hem de insanlık için tehlike teşkil eder. Bu yakıtlar kullanıldığında doğaya ve çevreye zararlı gazlar ve atıklar salmaktadır. Ve bu durum insanoğlunun alternatif yani yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterdiği rağbeti arttırmıştır (Enerjibes, 2017).

a) Kömür Enerjisi

Kömür en eski enerji kaynağı olarak görülmektedir. 1860' lı yıllarında sanayi devriminin etkisiyle kömürün kullanımı artmıştır, buharlı makinelere duyulan enerji ihtiyacı kömür ile sağlanmıştır. Termik santraller ile kömürden enerjisi elde edilmektedir. Kömür fosil yakıtlar sınıfında yer almaktadır.

b) Petrol Enerjisi

İlk petrol üretimi 18 yüzyılların başlarında başlamıştır. O tarihten itibaren petrol son derece önemli bir enerji kaynağıdır, petrol birçok alanda kullanıldığı gibi yakılması ile elektrik üretilmektedir. Ayrıca birçok alanda petrol enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Fakat uzmanlara göre petrol rezervlerinin yaklaşık 50 yıl ile sınırlı olduğu düşünülmektedir.

c) Doğalgaz Enerjisi

Petrol ve kömür gibi doğalgaz da çok önemli bir enerji kaynağıdır. Doğalgaz ülkemiz için de çok önemli bir role sahiptir. Türkiye elektrik üretiminin yaklaşık olarak %30'unu doğalgazdan sağlamaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019).

d) Nükleer Enerji

Nükleer enerji verimi çok yüksek bir enerji kaynağı türüdür. Fosil yakıtlara dâhil değildir. En fazla nükleer enerji kullanılan bölge Avrupa'dır. Fakat nükleer enerji radyoaktif atığından dolayı en riskli ve tehlikeli enerji kaynağıdır sebebi ise olası bir kaza durumunda geri döndürülemez düzeyde insanlara, canlı yaşamına ve çevreye kalıcı hasarlara yol açabilmektedir. Ancak gelişen teknoloji ve mühendislik anlayışı sayesinde bu riskler oldukça minimum seviyelerdedir.

3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Çeşitleri

Yenilebilir enerji kaynakları, yenilenemez enerji kaynaklarına göre daha temiz ve daha zararsızdır. Bu enerji kaynaklarına tükenmeyen enerji kaynakları da denmektedir.

a) Rüzgâr Enerjisi

Güneşin dünya yer yüzeyinin her alanını aynı ısıtmaması sebebiyle yer yüzeylerinde farklı nem ve sıcaklık sebebiyle farklı bölgeler arası basınç farkları meydana getirir. Meydana gelen bu basınç farkları da havanın hareketine sebep olur. Meydana gelen bu hava hareketleri sayesinde de çeşitli sistemler yoluyla elektrik üretimi sağlanır. Bu sistemlere örnek olarak rüzgâr türbinleri, yel değirmenleri vb. gibi sistemler verilebilmektedir.

b) Jeotermal Enerji,

Jeotermal enerjinin geçmişi M.Ö. 1500'lü yıllara dayanmaktadır. Antik Romalılar ve Çinliler jeotermal enerjiyi banyo, ısınma ve pişirme amaçlı kullanmışlardı. Jeotermal enerji dünyanın yer kabuğunda biriken termal enerjiye verilen isimdir. Jeotermal enerjiden elektrik üretmek için jeotermal suyun sıcaklığının bir hayli yüksek olması gerekmektedir. Aksi takdirde jeotermal enerji elektrik üretimi yerine farklı alanlarda kullanılabilmektedir.

c) Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerjisi, hidroelektrik santrallerinin suyun bulunduğu iki nokta arasındaki yükseklik farkını yani potansiyel enerji farkını kullanarak ürettiği enerji türüdür. Barajlarda belirli bir miktarda su biriktikten sonra aşağı bırakılmasıyla debisi yüksek olan bu akışkanın bir türbinin dönmesi sağlanır, dönmekte olan bu türbin elektriği üretilen jeneratöre aktarmaktadır. Böylelikle potansiyel enerji önce kinetik enerjiye ardından da mekanik enerjiye dönüştürülüp elektrik üretilmektedir (Dünya Doğayı Koruma Vakfı, 2019).

d) Biokütle Enerjisi

Biokütle enerjisi de yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alır. Biokütle enerjisinden yararlanılma çeşitleri oldukça geniştir. Hazır gıda restoranları veya evlerdeki atık yağlar kullanılarak araçlar için yakıt üretilabilmektedir. Çöp atıkları biokütle tesislerinde değerlendirilip elektrik üretilabilmektedir. Görüldüğü üzere Biokütle enerjisi hem yenilebilir hem de zararlı atıkları değerlendirme oldukça iyi bir yöntemdir.

e) Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi, deniz ve okyanuslarda sürekli meydana gelen dalgaların gerekli sistemler sayesinde enerjiye dönüştürülmesidir. Dalga enerjisinden elektrik üretmek, dalganın sıklığı ve genliği ile doğru orantılıdır. Ayrıca kutuplara yakın bölgelerde dalgadan elektrik üretmek metre başına 75 kW civarı iken bu miktar ekvator bölgelerinde ise 10-15 kW'a kadar düşmektedir (Enerjibes, 2019).

f) Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, yenilebilir enerji kaynakları arasında en temiz enerji kaynağıdır. Ayrıca insanlığın var olmasını sağlayan güneş gezegeni dünyaya sadece bir ışık kaynağı değildir, aynı zamanda gerekli güneş enerjisi teknolojileri kullanılarak güneş ışınlarından hem elektrik üretilabilir hem de ısınma amaçlı faydalanılabilir. Güneş enerjisinin temeli, Güneş yüzeyinde durmaksızın gerçekleşen, 4 hidrojen atomunun 1 helyum atomuna dönüşmesi esnasında meydana gelen enerjiye dayanmaktadır (Dünya Doğayı Koruma Vakfı, 2019).

3.2.1. Güneş enerjisi ve Güneş

Dünyanın var olmasını ve dünyadaki canlıların yaşamlarını sürdürebilmesini sağlayan Güneş orta yaşlı ve 1,4 milyon km çapıyla orta boyutlu bir gezegendir. Güneş, Dünyadan $1,5 \times 10^{11}$ m uzaklıkta olan çok yüksek sıcaklığa ve çok yüksek basınca sahip bir gezegendir. Yüzey sıcaklığı yaklaşık 5800 K olup merkezinde ise

bu sıcaklık 8×10^6 K sıcaklığına kadar çıktığı tahmin edilmektedir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

Güneşin içindeki büyük çekimsel kuvvetler, nükleer füzyon olarak adlandırılan bir işlem ile 4 Hidrojen atomunun 1 Helyum atomuna dönüştürürken büyük bir enerji üretir. 4 Hidrojen atomu 1 Helyum atomuna dönüşürken yaklaşık 0,029 birim ağırlıktaki kütle kaybı uzaya enerji olarak yayılmaktadır. Yani güneşte bir saniyede meydana gelen 564 milyon ton Hidrojen atomunun 560 milyon ton Helyuma dönüşme tepkimesi esnasında kaybolan 4 milyon ton kütlenin uzaya enerji olarak yayılır bu 4 milyon ton kütle de yaklaşık olarak $3,86 \times 10^{26}$ J enerjiye denk gelmektedir. Güneşin sahip olduğu enerji rezervi göz önüne alındığında milyonlarca yıl daha dünyaya bir enerji kaynağı olmayı sürdürecektir. Güneşten dünyaya ışınlar yoluyla saniyede yaklaşık 178 milyon MW enerji gelmektedir ve bu miktar Dünya'nın yıllık olarak enerji tüketiminin yaklaşık 20 bin katıdır (Varınca ve Gönüllü, 2006).

Güneşten gelen ışınlar, direkt ve endirekt olarak enerji elde edimini sağlamaktadır. Direkt olarak enerji elde edimi, güneş panelleri vb. sistemler sayesinde güneş ışınlarının bu sistem yüzeylerine vurması sonucunda fotovoltaiik piller vasıtası ile enerji üretimi sağlanmaktadır. Güneş ışınlarının endirekt olarak enerji elde edimine örnek vermek gerekirse, barajların kurulu olduğu alanlarda ve yüksek rakımlarda biriken karların güneş ışınları vasıtasıyla erimesi sonucunda suya dönüşüp aşağı yönde akmasıyla ve kontrol altındaki türbinden geçen suyun türbinin dönmesini sağlamasıyla elektrik üretimine yol açar. Potansiyel enerjinin mekanik enerjiye dönüşümü şeklinde ifade edilebilmektedir.

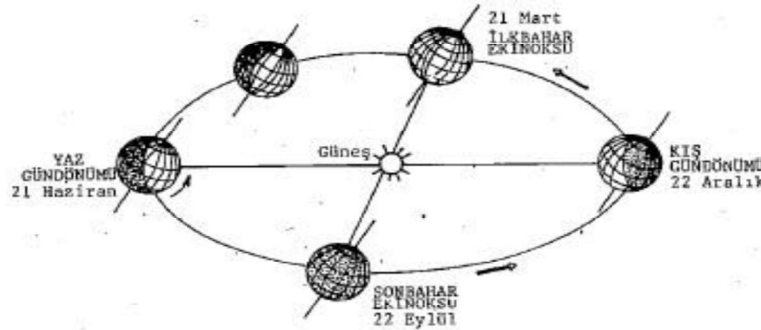
3.2.1.1. Güneş ışıınımı

Dünyadaki güneş ışınlarına dik 1 m² alana saniye başına gelen enerji miktarı 1.367 J'dür. Bu sayıya Güneş sabiti denmektedir ve G_{sc} olarak isimlendirilir. Dünyaya gelen bu enerji atmosferden geçişi sırasında atmosfer tarafından %6'sı yansıtılır ve %16'sı da sönümlenir böylece dünya yüzeyine ulaşan en yüksek

güneş ışınlamı 1.09 J'dür. İlâveten bulutlar güneş ışınlamlarını yansıtmasıyla %20'sini ve yutmasıyla da %16'sını daha azaltmaktadır.

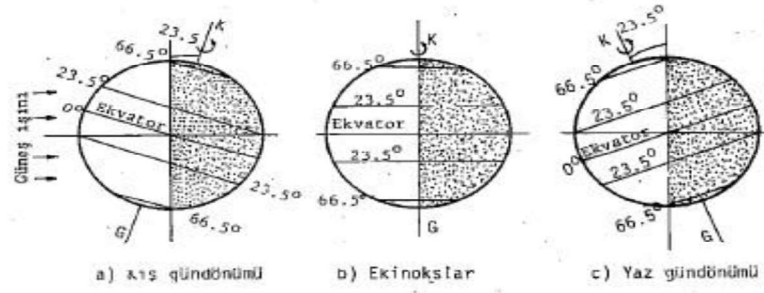
Dünya yüzeyindeki toplam güneş ışınlamı, yaygın, yansıyan ve direkt ışınlamlardan oluşmaktadır. Direkt güneş ışınlam bileşeni doğrudan güneşten yüzeye gelen ışınlamdır. Yaygın (difüz) güneş ışınlamı ise atmosferden geçerken ve varsa bulut ve tozların da etkisiyle ışığın kırılmasıyla oluşan ışınlamdır (Fatih Ö. 2011).

Dünyaya gelen enerji miktarı, ışınlamların ulaşma açılara göre değişmektedir. Bu durum yatay bir masa yüzeyine tutulan dik bir el feneri ışınlamıyla açıklanabilir. Fenerden çıkan ışınlamlar masa yüzeyine yayılır. Eğer fenerin masa yüzeyiyle açısı değiştirilirse ışınlamların yüzeye yansıdığı alan da değişir bu da masa yüzeyinin bir birim alanına düşen enerji miktarının değişmesine sebep olacaktır (Chen, 1982). Gezegenler güneşin etrafında eliptik bir yörünge etrafında dönmektedir. Dünyanın güneşin etrafında 1 tur alması 365 gün 6 saat sürer. Dünya, yörünge düzleminin normalinden $23^{\circ} 27'$ açı yapan eksen etrafında dönmektedir (Şekil 3.1).



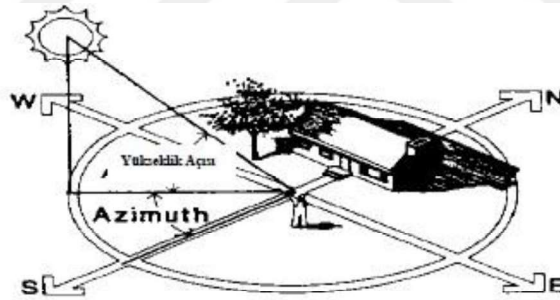
Şekil 3. 1. Dünyanın farklı zamanlarda güneşe göre konumu

Güneş ışınlamlarının dünyaya gelme açısında farklı faktörler vardır. Güneş ışınlamları yüksek enlemlerde yeryüzüne ulaşma açısı daha düşüktür. Bu enlem etkisi, dünya eksenini dikeyden 23° eğik olduğu için oldukça karmaşıktır. Mevsimlerin meydana gelmesi, gece ve gündüz uzunluklarının değişmesi ve güneş doğrultusunun günlere göre değişmesi bu eksen eğikliğinin sonucudur (Şekil 3.2) (Fatih Ö. 2011).



Şekil 3. 2. Dünyanın farklı zamanlarda güneş ışınlarının açısı (Kılıç ve Öztürk, 1983)

Güneşin uzaydaki pozisyonu, yükseklik ve azimut olarak adlandırılan iki açı ile belirlenebilir. Yükseklik açısı, güneş ışınımı ile dünya yatay yüzeyinin arasındaki açıdır. Azimut açısı ise güneş ışınlarının yatay düzlem üzerindeki izdüşümünün tam güney doğrultusundaki sapma açısına denir. Güneş doğrultusunun tam bilinebilmesi için azimut açısına ihtiyaç vardır ve bu saat yönünde ölçülmektedir (Şekil 3.3).

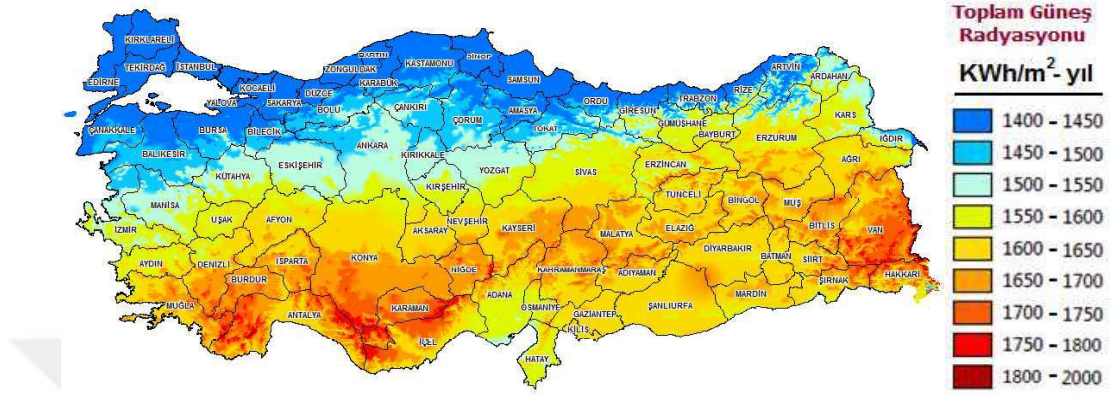


Şekil 3. 3. Azimut ve yükseklik açısı (Chen, 1980)

3.2.2. Türkiye'nin Güneş enerjisi potansiyeli

Türkiye'nin coğrafi konumu Kuzey Yarım Küre'de yer almaktadır ve $36 - 42^{\circ}$ kuzey enlemleri ile $26 - 45^{\circ}$ boylamları arasında bulunmaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu bu mükemmel coğrafi konumu sayesinde Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli dünyanın birçok ülkesine göre onu daha avantajlı konuma sokmaktadır. Sahip olunan potansiyele oranla Türkiye'nin güneş enerjisi kullanımı günümüzde artmaktadır.

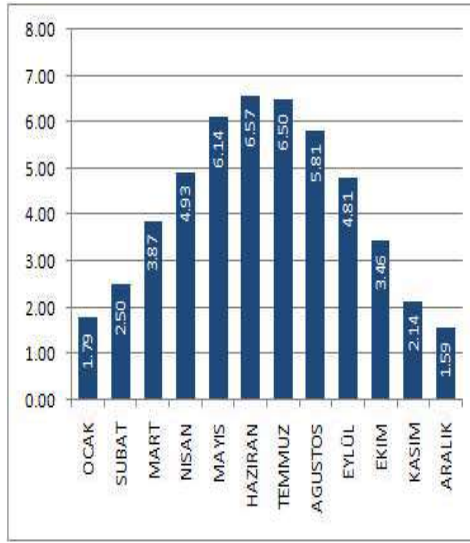
Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) verilerine göre, Türkiye’de m^2 ’ye düşen güneş ışınlamı güney bölgelerde kuzey bölgelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Karadeniz en az güneş alan bölgesi olurken Güneydoğu bölgesi ise Türkiye’nin en fazla güneş alan bölgesidir (Şekil 3.4).



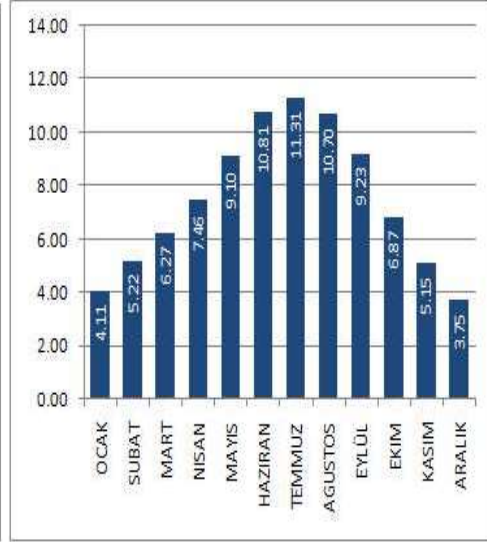
Şekil 3. 4. Türkiye’nin toplam güneş radyasyon atlası (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2019)

Ayrıca Türkiye’nin günlük ortalama güneş ışınlamı $4,17 \text{ kWh}/m^2$ ’dir (Şekil 3.5- a) ve Türkiye’nin günlük ortalama güneşlenme süresi ise 6,6 saattir (Şekil 3.5- b). Her geçen gün gelişen güneş enerjisi teknolojileri sayesinde ve meydana gelen yeni güneş enerjisi sistemleri sayesinde güneşten elde edilen enerji miktarı bir önceki sistemlere göre oldukça arttırılmaktadır. Örneğin yeni nesil güneş kürelerinin verimliliği %57 dolaylarındadır ve kullanılan güneş pilleri %25 oranında azaltılmaktadır (M. Devaraj, S. Shanmuga Priyan 2016).

Türkiye’nin radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri Şekil 3.5’te verilmiştir. Güneşlenme süre kış aylarında ortalama günlük beş saat iken yaz aylarında ortalama on saat olarak görülmektedir.



a)



b)

Şekil3. 5. Türkiye global radyasyon değerleri ve Türkiye güneşlenme süreleri (Yegm, 2019)

a) Türkiye Global Radyasyon Değerleri (kWh/m² -gün) (Ay içerisindeki Bir Günlük Toplam Güneş Radyasyonu)

b) Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat) (Ay içerisindeki Bir Günlük Toplam Güneşlenme Süresi)

4. BİNALARDA ISITMA AMAÇLI KULLANILAN GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ

İnsanların gün içerisinde yoğun olarak kullandığı binalar; en fazla enerjinin harcandığı yerlerden biri olduğu için binalara enerji tasarrufunun uygulanması oldukça önemlidir.

Binalar, insanların ihtiyaç duyduğu konfor koşullarını yerine getirmek ve dış ortamın olumsuz şartlarını ortadan kaldırmak için tasarlanan yapılardır. Bu yapılarda yaşayan bireylerin konfor şartları, binalara bir takım enerji girdileri sayesinde oluşturulmaktadır (Kundakçı, 2004).

Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere, konutlarda harcanan enerjinin en büyük bölümü mekanların ısıtılması için kullanılmaktadır. Isıtılmada harcanan enerji kaynaklarının türlerini fosil yakıtlardan temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dönüştürülmesi hem ülkemizde hem de dünya üzerinde enerji tüketimini ciddi boyutta azalmasını sağlamaktadır ayrıca da daha yaşanabilir bir dünyanın da oluşmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Çizelge 4. 1. Konutlarda Enerjinin Harcandığı Alanlar (Kundakçı, 2004)

Konutlarda Enerji Kullanımı	Miktar (%)
Mekânların Isıtılması	36
Mekânların Soğutulması	8
Aydınlatma	6
Su Isıtılması	14
Pişirme	3
Buzdolabı	9
Diğer (Ütü, Bilgisayar vb.)	21
Yıkama ve Kurutma	3

Güneş enerjisi, konutların ısıtma amaçlı kullanımları için sürdürülebilir enerji kaynakları arasında en uygun enerji çeşidi olup daha yaşanabilir daha temiz bir çevre için uygulanması gereken bir enerji kaynağıdır. Binalarda ısıtma amaçlı

kullanılan güneş enerjisi sistemleri ikiye ayrılır bunlar aktif sistemler ve pasif sistemlerdir.

4.1. Aktif Güneş Enerjisi Sistemleri

Aktif sistemlerde kullanılan kolektörler vasıtasıyla güneş enerjisi toplanır, toplanan bu enerji mekân, su veya sanayi amaçlı kullanım için harcanmaktadır. Güneş kolektörleri, üzeri ışığı geçiren bir malzeme ile kaplı, ana gövdesi koyu renkte metal, alüminyum veya plastikten yapılmış olup elde ettiği ısıyı içerisinde dolaşan akışkana aktararak enerjinin depolanmasını veya kullanılmasını sağlamaktadır (Zeiher vd., 2000).

4.2. Pasif Güneş Enerjisi Sistemleri

Pasif güneş enerjisi sistemlerinde, binanın güneşe göre inşa edilme durumu, binanın yapımı esnasında uygulanan tasarımlar, yalıtım, pencerelerin boyutları ve yönleri esas alınmaktadır. Pasif sistemlerde aktif sistemler gibi bir iş akışkanı bulunmaktadır, bu yüzden enerjinin elde edimi, enerjinin depolanması ve kullanılacak alanlara dağıtılması tümüyle binaya ait parametrelerle gerçekleştirilmektedir.

Pasif güneş enerjisi sistemleri, aktif güneş enerjisi sistemleri gibi binanın ihtiyaç duyduğu enerjinin bir kısmını sağlayarak enerji tasarrufunda bulunmaktadır. Bu ihtiyaç duyulan enerji alanları ise binanın ısıtılması, soğutulması ve aydınlatılması gibi alanlardır (Zeiher vd., 2000).

Binanın güney cephesinin güneş ışınımını gölgesiz alabilmesi ve güney cephesinde bulunan saydam alanların artırılması binalarda güneş enerjisinden faydalanmayı arttıran en yaygın yoldur. Güneş ışınlarının direkt olarak geçirilmesini sağladığı için güneş enerjisinin toplanmasında cam yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir güneş evinde, güneş ışınları camın içinden geçerek ev ortamında bulunan nesneler tarafından absorbe olur. Absorbe olan bu nesneler belirli bir miktar ısı kazanır ve radyasyon yoluyla ortama bu ısıyı vererek binanın

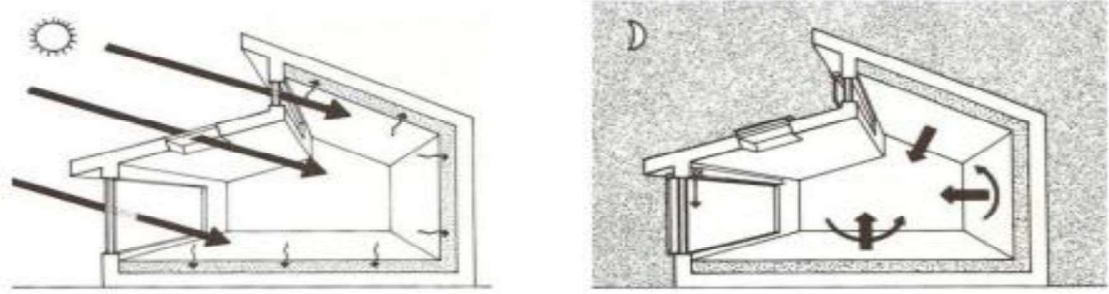
içindeki havanın ısınmasını sağlamaktadır. Güneş ışınları evin dışına kurulan yönlendiriciler ve gölgelikler sayesinde binaya ulaşması sağlanmaktadır ayrıca binaya uygulanan ısı yalıtımı da bina içerisinden bina dışarısına olan ısı kaybını en aza indirmektedir (Zeiher vd., 2000).

Güneş enerjisinden yararlanılma durumlarına göre pasif sistemler dört gruba ayrılmaktadır:

- Doğrudan kazanım sistemleri
- Dolaylı kazanım sistemleri
 - Su duvarı
 - Çatı havuzu
 - Trombe duvarı
 - Güneş duvarı
- Termosifon – duvar kolektör sistemleri
- Yalıtılmış kazanım sistemleri
 - Sera ısıtılmal sistem

4.2.1. Pasif güneş enerjisi sistemlerinde doğrudan kazanım

Pasif güneş enerjisi sistemlerinde doğrudan kazanım için bina, güneş ışınlarını direkt olarak bina iç mekânlarına alacak bir biçimde tasarımı yapılmaktadır. Doğrudan kazanımda, herhangi bir sisteme gerek duyulmadan güneş ışınlarının cam yüzeylerden geçerek iç mekânda bulunan nesnelere ve yüzeylere depolanması sağlanmaktadır. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere bu sistemlerde binanın güney kısımlarının daha fazla güneş ışınlamından yararlanabilmesi için çatılara yerleştirilmiş yatay ve düşey açıklıklardan faydalanılmıştır (K. Demircan ve Gültekin, 2017).



Şekil 4. 1. Doğrudan pasif güneş enerjisi sistemleri (Yüre, 2007)

Doğrudan kazanım sistemlerinde Şekil 4.1’de görüldüğü üzere bina güneş ışınlarını rahat alabilecek şekilde tasarlanmış olup binanın bir enerji toplayıcısı gibi kullanılması hedeflenmektedir. Bu sistemin yaygın olarak tercih edilmesinin en önemli nedenleri arasında başka bir sisteme ihtiyaç duyulmadığı için maliyetin çok düşük olmasıdır.

4.2.2. Pasif güneş enerjisi sistemlerinde dolaylı kazanım

Dolaylı kazanımda doğrudan kazanımdan farklı olarak güneş ışınları, binanın iç mekânı ile dışı arasında kalan alana yerleştirilen termal kütleler tarafından depolanmaktadır. Depolanan bu ısı, iletim, taşınım ve ışıyım ile iç mekâna verilmektedir. Yerleştirilen bu termal kütleler, genelde siyah renkte beton, dolu tuğla, kerpiç veya taş gibi ısı depolamaya uygun malzemelerdir (Özdoğan, 2005).

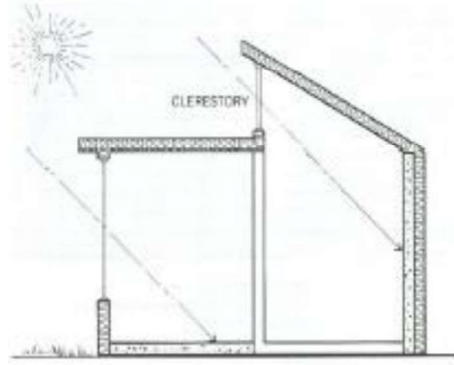
Uygulanması kolay olması ve yalıtım dışında herhangi bir parça veya sistem gerektirmemesinden dolayı tercih edilmektedir. Termal kütlelerde depolanan ısılar gün boyu iç mekâna verilmektedir. Böylece iç mekânda bulunan yüzeyler sürekli ılık kalmaktadır. Sistemin olumsuz yönleri ise termal kütlelerinin sabah saatlerinde güneş ışınlarının çok yoğun olmaması sebebiyle geç ısınması ve de iç mekâna termal kütlelerden transfer edilen ısının denetlenememesidir (Alparslan, 2010). Bu sistemlerde perde kullanmak gece ısı kaybının önüne geçerken kepenk gibi gölgeleme elemanları da yazın aşırı ısınmanın önüne geçmektedir. Böylece bu sistemden alınan verim oldukça arttırılmaktadır (Özdoğan, 2005).

4.2.3. Pasif güneş enerjisi sistemlerinde yalıtılmış kazanım

Yalıtılmış kazanım, daha önce bahsettiğimiz dolaylı ve doğrudan sistemlerinin birlikte kullanılmasıdır. 1978 yılında Balcomb, doğrudan kazanç ile Trombe duvarını birlikte uygulayarak sera ısıtılmalı sistemi oluşturmuştur. Trombe duvarının sayesinde sera içerisinde bulunan hava, daha fazla ısınmaktadır. Isınan hava duvarın üst kısımlarında bulunan menfezlerden doğal yolla yahut fan yardımıyla mekâna geçmektedir. Bu sistemde sadece Trombe duvar kullanılmamaktadır onun yerine su duvarı da Trombe duvarına alternatif olarak kullanılmaktadır.

Seranın iç mekânları ile dış ortam arasında bir tampon bölge oluşturulması ısı kayıplarının önüne geçerken mekândaki aşırı ısınmayı da azaltmaktadır. Ayrıca serada kullanılan hareketli yalıtım yazın aşırı ısınmaların önüne geçmektedir (Balcomb, 1992).

Güneş odalarını ve ısı depolayan çatıları, yalıtım sistemine çevirebilmek için iç mekân ile ısı depolayan eleman arasına bir yalıtım uygulanmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4. 2. Pasif güneş enerjisi sistemlerinde yalıtılmış kazanım (Yüre, 2007)

4.2.4. Pasif güneş enerjisi sistemlerinin karşılaştırılması

Binalarda ve çeşitli yapılarda kullanılan pasif güneş enerjisi sistemlerinin avantajları ve dezavantajları açısından karşılaştırılması aşağıda yer almaktadır.

I. Doğrudan kazanımlı pasif güneş enerjisi sistemleri

Avantajlar

- Pencereler geniş olduğu için geniş manzara görüntüsü sağlamaktadır.
- Diğer iki sisteme göre en yüksek verime sahiptir ve en ekonomik olan sistemdir.
- Doğrudan kazanımlı sistemlerde çatı pencereleri verimli bir şekilde değerlendirilmektedir.
- Aydınlatma ve ısıtma birlikte kullanılabilir olduğundan dolayı okul ve çok büyük olmayan ofisler için oldukça kullanışlıdır.
- Sistem için harcanacak olan toplam masraflar geleneksel işlemlere harcanacak masraflar kadardır.

Dezavantajlar

- Çok fazla miktarda güneş ışınlarını aldığı için parlamaya sebep olmaktadır.
- Termal depolama duvarına ısı transferini olumsuz etkisinden dolayı çok fazla dekor eşyası asılmamalıdır.
- Termal depolama döşemelerini halı ile kaplamak sistemin verimini azaltmasından dolayı bu tür uygulamalardan kaçınılması gerekmektedir.
- Gerekli önemlerin alınmaması iç mekânın aşırı bir şekilde sıcaklığının artmasına sebep olabilmektedir.
- Sıcaklık dalgalanmaları çok yüksek olduğundan sistemi kullananların buna alışması gerekmektedir.
- Geceleri ısı kayıpları fazla olacağından hareketli ısı yalıtım sistemi kullanılmalıdır.

II. Dolaylı kazanımlı pasif güneş enerjisi sistemleri

Avantajları

- Termal konfor açısından en iyi sistemdir.
- Dolaylı kazanımlı sistemde, güneş ışınları kontrol altına alınarak kullanıldığından parlama önlenmektedir.
- Mevcut duvarların yenilenmesi bu sistemde kolaydır.
- Fazla ısı depolanması açısından oldukça kullanışlıdır.

Dezavantajları

- Çok yağış alan bölgeler için kullanımı uygun değildir.
- Çok fazla pencere kullanılmadığı için manzara görüşü ve gün ışığı doğrudan kazanımlı sisteme göre daha kısıtlıdır

III. Yalıtılmış kazanımlı güneş enerjisi sistemleri

Avantajları

- Bu üç sistem arasında sıcaklık dalgalanmaları en az olan sistemdir.
- Estetik açıdan güzel bir mimariye sahiptir.
- Sera olarak da kullanılmaktadır.

Dezavantajları

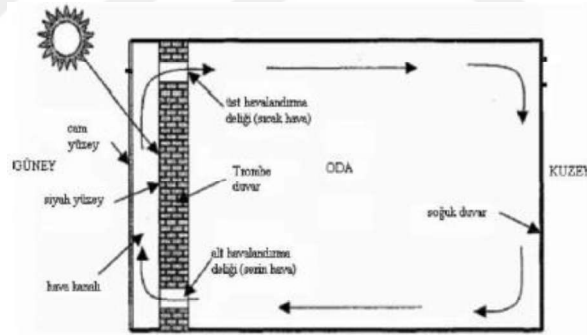
- Üç sistem arasında maliyeti en yüksek olan uygulamadır.
- En düşük verime sahip sistemdir.
- Yazları aşırı ısınmanın önüne geçmek için sıcaklık kontrolü gerekmektedir (Lechner, 1991)

4.3. Dolaylı Kazançlı Aktif ve Pasif Güneş Enerjisi Sistemleri

Dolaylı kazançlı pasif ısıtma amaçlı kullanılan sistemlerinde, cam yüzeyin arkasında genellikle siyah renkte bulunan termal kütleler güneş ışınlarından elde ettiği ve depoladığı ısıyı iletim yoluyla önce yüzeye ardından da ışıyım ve taşınım yoluyla da iç mekâna transfer etmektedir. Bu tür pasif sistemlere pompa veya fan kullanılarak aktif sistem oluşturulmaktadır. Bu karma sistemlere örnek bazı sistemler aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

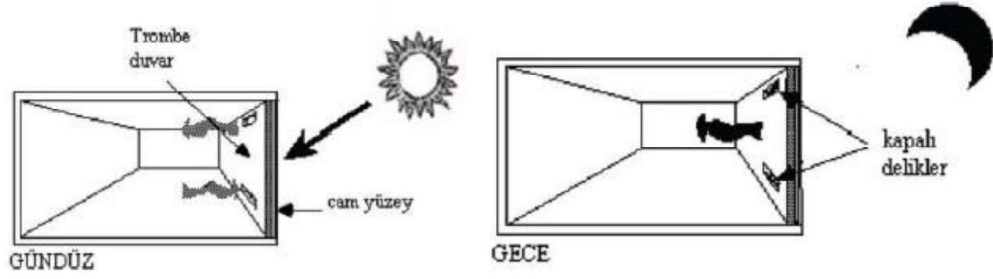
4.3.1. Trombe Duvar

Trombe duvar, 1960 yıllarında Fransa'da bulunan Centre Nationale de la Revherche Scientifique'de içlerinde Dr. Felix Trombe'nin de bulunduğu bir ekip tarafından geliştirilmiştir. Sistem ismi Dr. Felix Trombe'nin adından alınmaktadır (Stazi, 2012). Trombe duvarı çift camdan oluşan bir cephenin arkasına yerleştirilmektedir. Trombe duvar sisteminde güneş ışınları iç mekâna ulaşamamaktadır. Duvar kalınlığı 20 ila 45 cm arasında değişmekte olup duvar dış yüzeyi pürüzlü ve serttir. Siyah rengi güneş ışınlarının emiliminde kolaylık sağladığı için duvar dış yüzeyi siyah veya koyu renkte olmaktadır. Duvarın üst bölgelerinde ve alt bölgelerinde havalandırma için birtakım boşluklar bulunmaktadır (Şekil 4.3). Bu havalandırma boşlukları gündüz saatlerinde havanın sirküle olabilmesi için kullanılmaktadır. Bu sirkülasyonun sorunsuz olabilmesi için cam ve duvar arasında bırakılan boşluk minimum 10 cm olmalıdır. Havanın dolaşımı için açılan havalandırma boşlukları gece saatlerinde kapatılmaktadır ve ısı taşınım ve ışınlama mekâna aktarılmaktadır (Şekil 4.4).

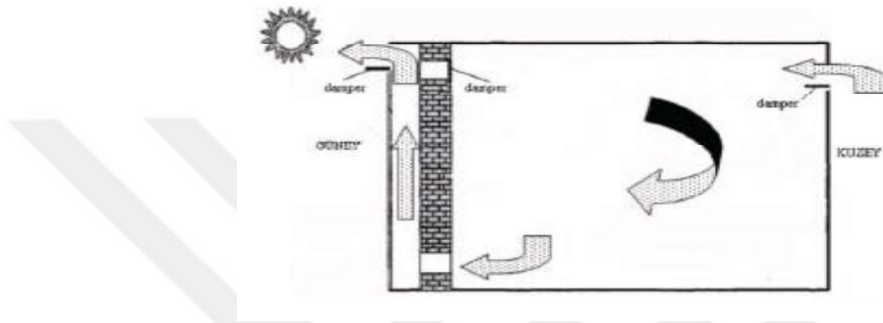


Şekil 4. 3. Trombe duvarın çalışma ilkesi (Khanları, 2013)

Geceleri ısı kaybının önüne geçilmesi için mutlaka sistemin dış yüzeyine yalıtım yapılmalıdır. Havanın dolaşımı için açılan boşluklar elle kapatılabilen veya kumanda ile kontrol edilebilen kapaklarla kapatılması gerekmektedir. Şekil 4.5'te görüldüğü üzere, yazın hem havanın sirkülasyonu için hem de iç mekânın soğutulması için üst kısımda bulunan boşluk kapatılmakta ve cam yüzeyinin üst kısmında bulunan kapak açılmaktadır (Sugözü, 2005; Stazi, 2012).



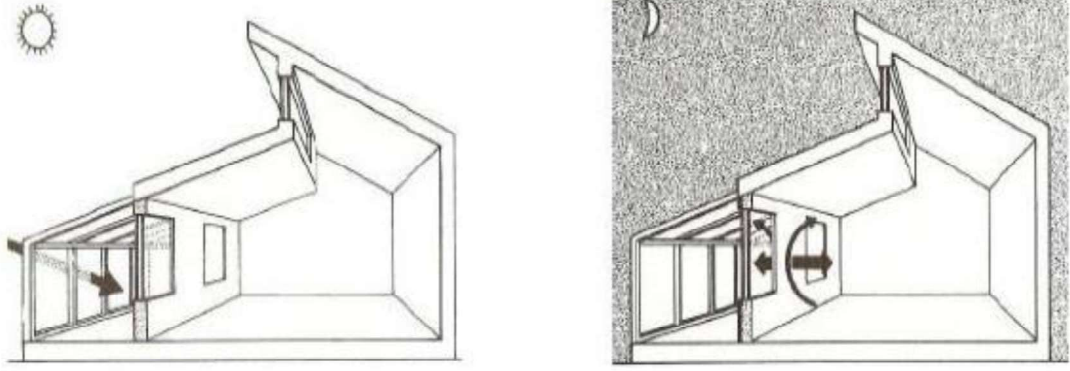
Şekil 4. 4. Trombe duvarının gündüz ve gece çalışma şekli (Khanları, 2013)



Şekil 4. 5. Yaz aylarında Trombe duvarı ile havalandırma (Khanları, 2013)

4.3.2. Güneş odası

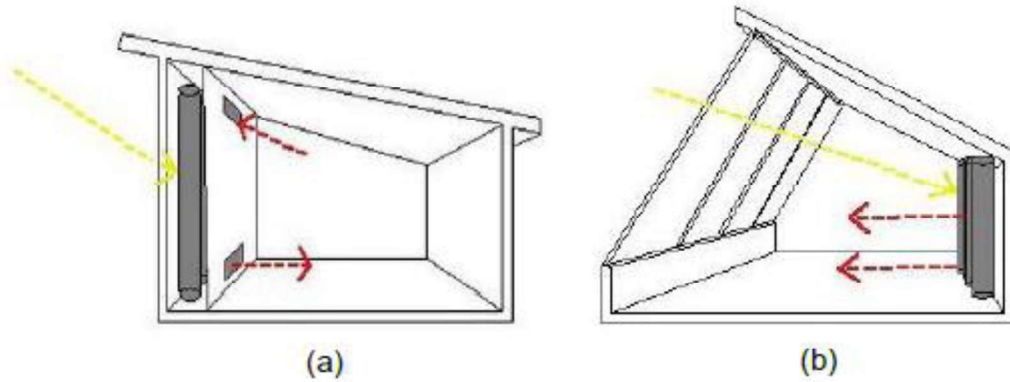
Trombe duvarı uygulamasında, ısı depolayan duvar ile cam yüzey arasında kalan boşluklar genişletilerek güneş odası oluşturulmaktadır (Şekil 4.6). Oluşturulan bu alan hem iç mekânda kullanım alanını arttırarak hem de güneş enerjisinden yararlanma işlevini de yerine getirmektedir. Güneş odasının uzun kısmını doğu-batı yönünde olması uygulamanın verimini arttırmaktadır. Güneş ışınlarından elde edilen enerjinin güneş odasından iç mekâna aktarımı güneş odasında bulunan; kapılar, pencereler, havalandırma boşlukları, duvarlar veya su duvarları sayesinde olmaktadır. Bina ile güneş odası arasında iki açıklık bulundurmak havanın iyi bir şekilde dolaşımını sağlamaktadır. Cam odaları ılımlı iklimler haricinde tüm iklimlerde, cam elyaf, plastik veya camdan oluşan iki katman biçiminde olması gerekmektedir. Böylece bina ve güneş odası arasında hava akışı rahat bir biçimde sağlanmaktadır (Tayfun, 2007).



Şekil 4. 6. Güneş odasının çalışma prensibi (Tayfun, 2007)

4.3.3. Su duvarı

Su duvarı, dolaylı su duvarı ve direkt kazançlı su duvarı olmak üzere iki tipten oluşmaktadır (Şekil 4.7- a, b). Dolaylı su duvarının uygulanış biçimi, doğrudan güney cepheye bakan duvarın arkasına içi su dolu düşey borular veya kanallar yerleştirilerek suda depolanan ısının gün boyunca ortama transfer edilmesi prensibine dayanmaktadır. Direkt kazançlı su duvarı ise su kanallarının yahut borularının önünde herhangi bir duvar bulunmayıp güneş ışınları doğrudan bu su duvarına gelmektedir. Bu sistemin dezavantajları ise korozyon ve suyun sızmasıdır. Sistem uygulamasında kullanılan malzemelerin kalitesi ile bu tür dezavantajlar ortadan kaldırılarak sistem ömrünü 30 yıla kadar uzatmak mümkün olmaktadır (Sugözü, 2005; Wang, 2013).

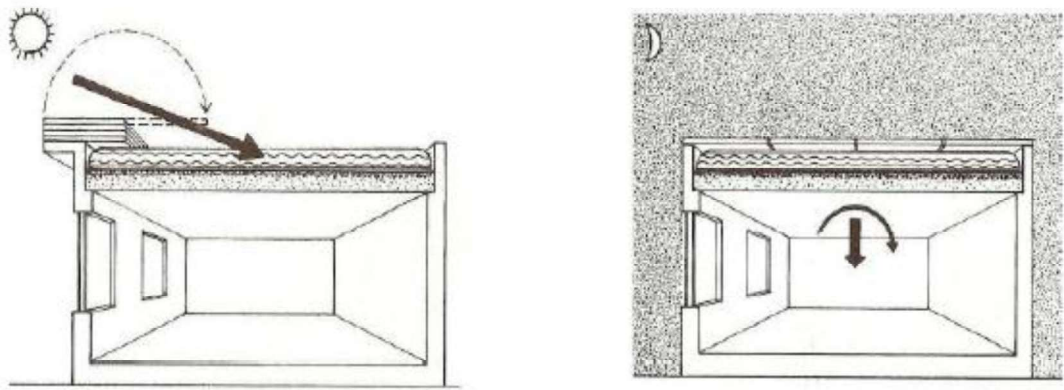


Şekil 4. 7. a. Dolaylı su duvarı, b. Direkt kazançlı su duvarı (Khanlari, 2013)

4.3.4. Çatı havuzları

Çatı havuzları, evin çatısına yerleştirilen derinliği 15cm ila 30 cm arasında değişmekte olan plastik malzemeden yapılmış su havuzlarıdır (Şekil 4.8). Çatı havuzları su duvarlarındaki prensiple aynı prensibe sahiptir. Tavana yerleştirilen su havuzları güneş ışınlarından elde ettiği ısıyı iletim yoluyla iç mekândaki tavana aktarmakta ve varsa alttaki odalara da ışıınım yoluyla ısıyı transfer etmektedir. Havuzun üzerini şeffaf bir örtüyle kapatmak ısıyı hapsedeceğinden ve de sera etkisi yaratacağından dolayı verimi arttırmaktadır. Sistemde hareketli bir yalıtım da kullanılmaktadır. Bu sistem genellikle tek katlı yapıları için uygundur çalışma prensibi, havuzda depolanan ısının sadece altında bulunan mekânın ısıtılması için kullanılmaktadır. Yazın aşırı ısınmanın önüne geçmek için de gün içerisinde hareketli yalıtım havuz yüzeyinde kalmaktadır.

Çatı havuzları iklimsel olarak sıcak bölgelere uygulanmalıdır aksi takdirde havuz içerisindeki suyun donması ya da havuz yüzeyinde birikebilecek kar yükleri sistemin çalışmasını negatif yönde etkileyebilmektedir. Soğuk iklimlerde bu uygulama uygulandığında bina çatısının güney cepheleri camla kaplanır ve havuz bu cam yüzeylerin altında yer almaktadır.



Şekil 4.8. Çatı havuzu (Tayfun, 2007)

Çatı havuzu sistemi uygulanmadan önce çatının bu havuzu kaldırabilecek düzeyde olduğundan emin olunmalıdır ve soğuk iklimlerde uygulanan çatı havuzlarında cam yalıtımının sağlanması gerekmektedir (Sugözü, 2005; Tayfun, 2007).

4.3.5. Güneş duvarı

Güneş duvarlarının geliştirilmesi, verimini arttırırken ekonomik masraflarının düşürülmesi birçok araştırmacının çalışma kaynağı olmaktadır. Güneş duvarı şimdiye kadar anlatılan sistemler gibi binaların ısıtılmasında kullanılan bir sistemdir ve de Trombe duvarına oldukça benzemektedir. Güneş duvarını Trombe duvarından ayıran en önemli özelliği ise iç mekâna temiz hava verilmesidir. Bu hava iç mekâna verilmeden önce bu sistemde ısıtılıp ardından iç ortama aktarılarak ön ısıtma gerçekleştirilmiş olur. Ön ısıtma sağlanmış olan bu binalarda genel ısıtma sisteminin yükü azaltılmış olmaktadır. Böylece güneş duvarları hem ekonomik açıdan tasarruf sağlamakta hem de içeriye sağlamış olduğu temiz hava sayesinde de konfor şartlarını gerçekleştirmiş olmaktadır. Fakat Trombe duvar sisteminde iç mekânda bulunan temiz hava ısıtıldığından dolayı tazeliğini yitirmektedir. Ayrıca güneş duvarı sistemleri, dış ortam ile bina duvarı arasında bir set görevi görmekte ve iletim yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarının önüne geçerek bir yalıtım sistemi olarak da görev yapmaktadır.

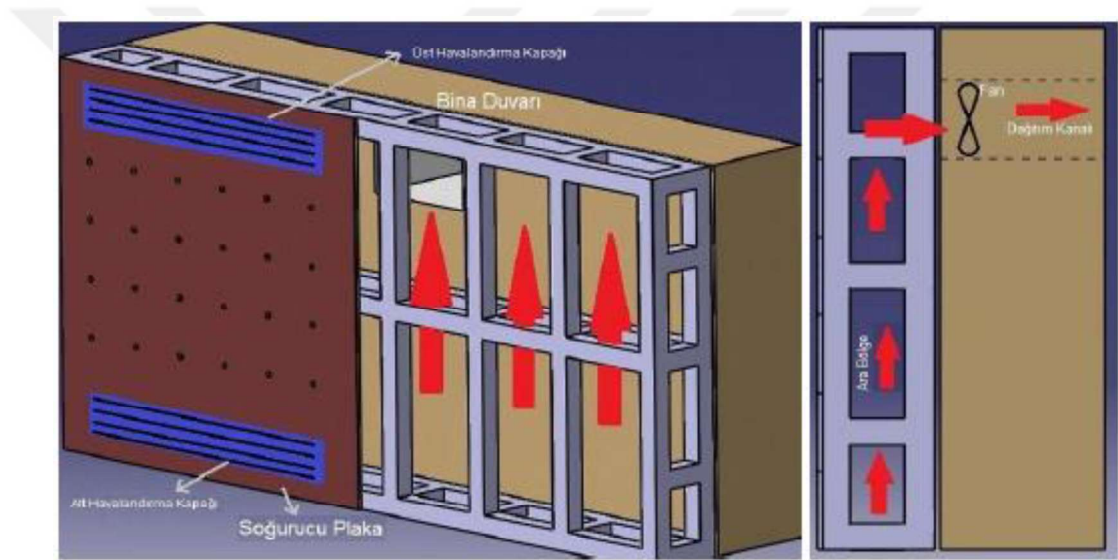
Güneş duvarı sistemlerinin kullanım alanları arasında tarımsal ürünlerin kurutulması ve fotovoltaik pillerin çok fazla ısınmasını engellemek gibi alanlar da yer almaktadır (Hollick, 1994; Barker, 2011).

4.3.5.1. Güneş duvarının yapısı

Güneş duvarları Trombe duvarlarından farklı olarak önünde cam bulundurmaz metal delikli bir yapıya sahiptir ve soğurucu özelliği bulunmaktadır. Güneş duvarlarının monte edilmesi için binaların güney tarafı seçilmektedir ve binadan 10 cm ila 30 cm arası uzaklığa monte edilmektedir. Sistemin veriminin hem yüksek olması için hem de ekonomik olması için soğurucu duvarın malzemesi

elik ve alüminyum tercih edilmektedir. Bu malzemelerin ısı iletim katsayıları yüksektir. Ayrıca soğurucu levhaların kalınlığı 1 mm tercih edilmektedir. Soğurucu yüzey boyanabilir ya da seçici bir yüzey ile kaplanabilir. Seçici bir yüzey ile kaplamak sistemin ısınım yoluyla ısı kayıplarını minimuma çekmektedir.

Soğurucu levhaların delikli olmasının sebepleri ise rüzgâr ve benzeri dış etkenlere karşı mukavemeti arttırmak ve de havanın levha üzerinde daha fazla noktaya temas etmesini sağlamaktır. Soğurucu levhanın 1 mm gibi ince bir tabaka seçilmesinin sebebi ise ısınım hızlı ve mümkün olduğunca her alanda eşit bir şekilde dağılması içindir (Khanlar, 2013).



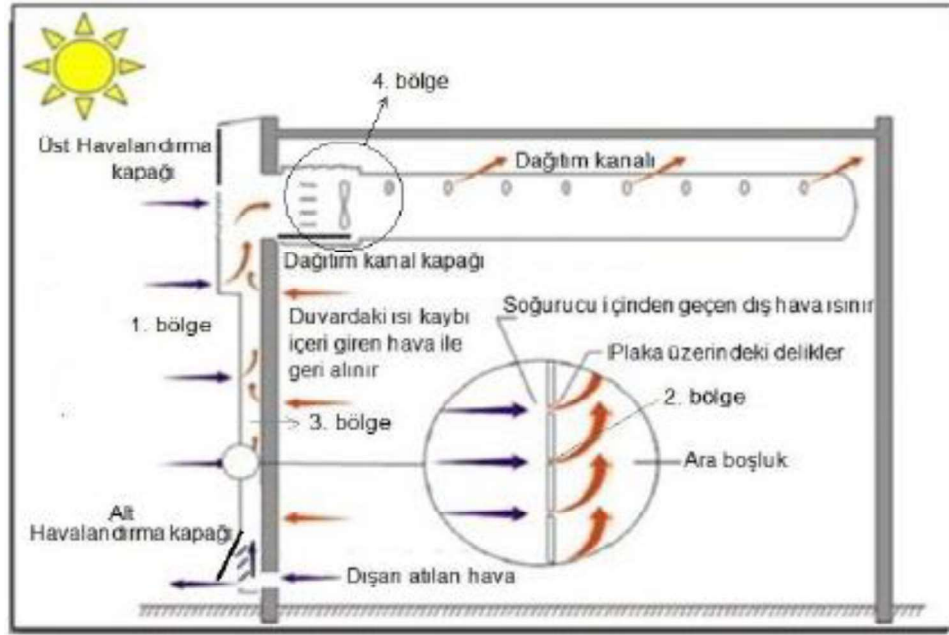
şekil 4.9. Güneş duvarı monte edilmiş bir bina yüzeyi (Khanlar, 2013)

şekil 4.9’da görüldüğü üzere güneş duvarının bilgisayarlı destekli program yardımıyla çizimi gösterilmektedir. Soğurucu plakanın üzerinde altta ve üstte olmak üzere hava sirkülasyonunu gerçekleştirmeye yarayan iki adet havalandırma bulunmaktadır. Bina ile soğurucu plaka arasında bulunan elik iskelet yapısı hem soğutucu plakayı tutacak şekilde hem de bu bölgede hava dolaşımını mümkün kılacak bir biçimde tasarlanmıştır. Bu elik iskeletin bulunduğu kısım plenum adı verilen bir bölgedir burada hava ısınmaktadır ve ısınan hava fan yardımıyla dağıtım kanalından i mekâna aktarılmaktadır.

4.3.5.2. Güneş duvarının çalışma prensibi

Güneş duvarı dört ana bölgeden oluşmaktadır. 1. Bölge güneş duvarının en dış bölgesidir yani soğurucu plakanın bulunduğu kısımdır. 2. Bölge ise soğurucu plakanın üzerinde bulunan havalandırma kapakları ile soğurucu plakanın yüzeyinde bulunan olukları temsil etmektedir. 3. Bölge duvar ile soğurucu plaka arasında kalan ara bölgeyi temsil etmektedir. 4. Bölge ise havanın iç mekâna aktarıldığı dağıtım kanalı ile fanı içermektedir.

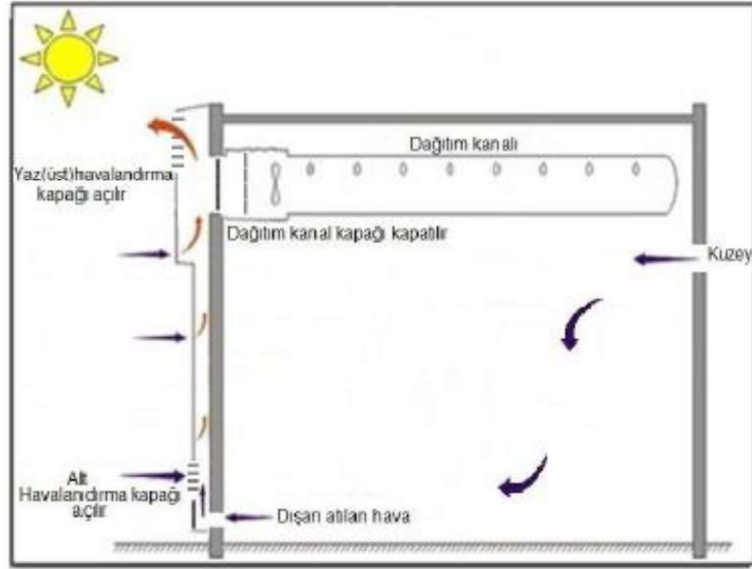
Güneş duvarının çalışma prensibi yazın ve kışın farklı olarak gerçekleşmektedir. Kış uygulamasında alttaki havalandırma kapağı ve dağıtım kanalı kapağı açık olup üstteki havalandırma kapağı kapalı tutulmaktadır. İç mekânda dolaşan havanın bir kısmı alt havalandırma kapağı açık olduğu için buradan atılır, kalan kısmı ise yeni alınan ve ısınmış havayla ara bölgede karışıp dağıtım kanalı yoluyla da tekrar iç ortama verilmektedir. Havanın ısınması ve iç ortama aktarılması şu yollarla gerçekleşmektedir. Güneş ışınları 1. Bölgede soğurucu plakanın yüzeyine temas eder, güneş ışınlarına maruz kalan soğurucu plaka ısınmaktadır ve belirli bir ısıya sahip olmaktadır. Isınan bu soğurucu plaka havanın 1. Bölgede plakaya girmeye çalışırken ısınmasını sağlamaktadır. Havanın ısınmasının yaklaşık olarak %60'ı bu bölgede gerçekleşmektedir. Bu bölgede ısınan hava soğurucu plakanın deliklerinden geçerken yani 2. Bölgeden geçerken iletim ve taşınım yoluyla ısınmasına devam etmektedir. Bu aşamada ise havanın ısınmasının yaklaşık %30'u gerçekleşmektedir. Son ısınma aşaması ise bina ile soğurucu plaka arasında kalan ara bölgeye giren ısınmış hava ile iç mekândan gelen havanın bir miktarı burada karışarak son ısınma işlemini gerçekleştirmektedir (Shukla, 2012). Isınan hava 4. Bölgeden bulunan fan yardımıyla ve de doğal yollarla iç mekâna ortam ısıtması için gönderilmektedir (Şekil 4. 10).



Şekil 4.10. Güneş duvarının çalışma prensibi (Solarwall, 2013)

Güneş duvarı sisteminde fan kullanılması, ara bölgede ve soğurucu plaka yüzeyinde sürtünen havanın soğurucu plakanın yüzeyinde gerçekleştirdiği basınç düşüşünü ortadan kaldırmaktadır.

Güneş duvarının yazın uygulaması Şekil 4.10'da görüldüğü üzere altta ve üstte bulunan iki havalandırma kapağı da açıktır fakat 4. Bölgede bulunan dağıtım kanalının kapağı kapalı tutulmaktadır ve ara bölgede bir havalandırma kanalı oluşturulmaktadır. Yaz aylarında güneş ışınlarının binanın yüzeyi yerine soğurucu plakaya temas etmesi ve de bina duvarı ile soğurucu plaka arasındaki bölgede dolaşan hava sayesinde bina duvarı yaz aylarında serin tutulmaktadır. Ayrıca binanın kuzey cephesinde açılan bir pencere yardımı ile de serin havanın bina içerisinde dolaşıp 2. Bölgeden binayı terk etmesi sağlanmaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Güneş duvarının yazın çalışma prensibi (Khanlar, 2013)

4.3.5.3. Güneş duvarının avantajları

Güneş duvarının avantajları aşağıda belirtilmektedir;

- Kış mevsiminde iç ortama temiz ve sıcak hava sağladığı için binanın hem konfor şartlarını arttırmakta hem de ısıtma yükünü azaltarak enerji tasarrufu sağlamaktadır. Yazın ise güneş ışınlarını soğurucu plakada tutarak binanın soğutmak yükünü azaltmaktadır.
- Güneş duvarı binayı yağmur, rüzgâr, güneş, nem vb. gibi dış etkenlerden korumaktadır.
- Güneş duvarı sisteminin ömrü minimum 30 yıl olduğundan dolayı da diğer sistemlere göre daha avantajlı olmaktadır.

4.3.5.4. Güneş duvarının verimliliğini etkileyen faktörler

Güneş duvarını etkileyen 5 farklı etken vardır bunlar; yer kısıtlamaları, iklim koşulları, delik adımı ve çapı, yüzey kaplaması ve fan gücü olarak sıralanabilir.

İklim koşulları: İklim koşullarını rüzgâr hızı ve güneş radyasyon miktarı olarak iki başlıkta inceleyebiliriz. Güneş radyasyon miktarı belli bir düzeye kadar sistem verimini arttırmaktadır fakat belirli bir miktardan sonra yüzey sıcaklığını çok

arttıracağından sistemden dışarıya ışıınım yoluyla ısı kaybı gerçekleşmesini sağlamaktadır bu da sistem verimini düşürmektedir (Augustus, 2007).

Rüzgâr hızının artması yaklaşım hızının da artmasına sebep olmaktadır. Yapılan deneylerde, yaklaşım hızının (V_s) 0,05 m/s civarına kadar artması verimi arttırdığı gözlenmektedir. Bu hızdan itibaren daha fazla artması ise sistem verimini giderek azalttığı görülmektedir. Sebebi ise hızı artan rüzgârın soğurucu plaka üzerinde soğutma işlemi gerçekleştirmesidir bu da sistem verimini azaltmaktadır.

Yer kısıtlamaları: Güneş duvarı sistemleri binaların gölgelere maruz kalmadığı kısımlara ve kuzey yarım kürede bulunan yapıların güney cephelerine, güney yarım kürede bulunan yapıların ise kuzey cephelerine uygulanması gerekmektedir.

Yüzey kaplama: Yüzey kaplamaları iki grupta incelenmektedir.

1. Boya ile kaplama, yöntemde alüminyum ve çelik soğurucu yüzey uzun ömürlü mat siyah boya ile kaplanmaktadır. Siyah mat boyanın yüksek güneş ışıınımı yutma oranına sahip olması ve de yayıcılığı çok yüksek düzeyde olması sistem verimini arttırmaktadır. Maliyet ucuzluğu ve imalat kolaylığından dolayı güneş duvarlarının soğurucu plakaları genelde siyah boya ile kaplanmaktadır.
2. Seçici yüzey kaplama, yüzey kaplama soğurucu plakayı atmosferik koşullardan korumasını sağlamaktadır. Fakat asıl amacı ise kısa dalga boylu ışıınımların hepsine yakınının yutulmasını sağlayarak dalga boylu ışıınımların yayıcılığını en aza indirmektedir. Böylece çok yüksek sıcaklıklarda bile sistem verimini az ışıınım yaydığından dolayı arttırmaktadır.

Çizelge 4.2’de bazı seçici yüzey kaplamalarının özellikleri verilmiştir. Bu tabloya göre en iyi ve en dayanıklı seçici yüzey olarak çelik malzemeye nikel üzerine siyah krom kaplaması olduğu görülmektedir (Tırıs, 1999; Goswami, 2000).

Çizelge 4. 2. Bazı yüzey kaplamalarının ve boyaların fiziksel özellikleri (Goswami, 2000)

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 plaka üzerindeki delik çaplarının belirli bir uzunluktan itibaren büyümesi termal verimin düşmesine sebep olmaktadır. Aynı şekilde delik çapının sabit tutulup delik adımlarının büyümesi de verimin düşmesine sebep olmaktadır. Delik çapının ve delik adımlarının hesaplanmasında rüzgâr hızı ve fan gücü de etkili olmaktadır. Bunlara ek olarak Delik adımı her zaman delik çapından daha büyük tutulmalıdır.

Fan gücü: Binalarda yüksek sıcaklık isteniyor ise fan gücünün azaltılması, düşük sıcaklık isteniyor ise fan gücünün arttırılması gerekmektedir. Fan gücü ara

İfadesi ile verilmiştir. Bina dış duvarının yüzeyindeki enerji denklemi ise:

$$Q_{i,d} = Q_{t,d-a} - Q_{rad,d-s} \quad (4.2)$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada verilenlerden;

$Q_{giriş}$: Soğurucu plakadan soğurulan ısı miktarı.

$Q_{rad,d-s}$: Bina duvarının dış yüzeyinden soğurucu levhaya ışıınım ile aktarılan ısı miktarı.

$Q_{t,s-h}$: Soğurucu plakadan taşınım ile deliklerden geçen hava ve ara bölgesindeki havaya aktarılan ısı miktarı.

$Q_{t,kayıp}$: Soğurucu plakadan taşınım ile çevreye verilen ısı miktarı.

$Q_{rad,kayıp}$: Soğurucu plakadan ışıınım ile çevreye aktarılan ısı miktarı.

$Q_{i,d}$: İç ortam sıcaklığının bina duvarının dış yüzeyine iletim ve taşınım yoluyla olan ısı aktarımı.

$Q_{t,d-a}$: Bina duvarının dış yüzeyinden ara bölgesindeki havaya taşınım ile aktarılan ısı miktarı.

$Q_{t,kayıp}$ ile $Q_{rad,kayıp}$ eşitlik 4.1'de verilen soğurucu levhanın üzerindeki meydana gelen kayıpları oluştururken, diğer enerji grupları soğurucu plaka yüzeyindeki ve ara bölgedeki havanın ısıtılmasını sağlamaktadır.

Delikli plakada soğurulan enerji miktarı:

$$Q_{giriş} = \alpha_s I_T A_s \quad (4.3)$$

denklemi ile verilmektedir.

α_s : Soğurucu plakanın soğurma oranı.

I_T : Yüzey üzerine düşen güneş ışıınım şiddeti (W/m^2).

A_s : $A_s = (1 - \sigma)A$ ifade ile verilen soğurucu plakanın net alanıdır (m^2).

σ : Soğurucu plaka üzerindeki deliklerin toplam alana oranıdır.

$$\sigma = 0,907 (D/P)^2 \quad (4.4)$$

İfadesiyle verilmektedir.

D: Delik Çapı (m).

P: Delik adımıdır (m).

Bina duvarının dış yüzeyinden soğurucu plakaya aktarılan ısı miktarı:

$$Q_{\text{rad,d-s}} = \frac{\sigma_{\text{sb}} A (T_d^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\varepsilon_d} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1} \quad (4.5)$$

ifadesiyle verilmektedir. 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 faktörünü ifade etmektedir. Soğurucu plakadan sistem ara bölgesine giren havaya taşınım yoluyla transfer olan ısı miktarı:

$$Q_{\text{t,s-h}} = \dot{m}_k C_p (T_a - T_{\text{çev}}) = \dot{m}_k C_p \varepsilon_{\text{HX}} (T_s - T_{\text{çev}}) \quad (4.6)$$

denklemleri ile bulunmaktadır. Burada C_p , havanın sabit basınç altında özgül ısısı (J/kgK); $T_{\text{çev}}$, güneş duvarından 60 cm uzaklıkta ölçülen çevre sıcaklığı (1. bölgenin sıcaklığı) (K); $\dot{m}_k$, $\dot{m}_k = \rho V_s A$ ifadesiyle verilen havanın kütleli debisidir (kg/s); V_s , güneş duvarından yaklaşık 60 cm uzaklıkta ölçülen rüzgârın soğurucu yüzeye yaklaşım hızıdır (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:

$$\varepsilon_{\text{HX}} = \frac{T_{\text{giriş}} - T_{\text{çev}}}{T_s - T_{\text{çev}}} = 1 - \exp\left(-\frac{k \text{Nu}_D (1-\sigma)}{D \rho V_s C_p}\right) \quad (4.7)$$

ifadesi ile verilmektedir. 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 $100 < Re_D < 2000$ için deliğin Nusselt sayısı:

$$Nu_D = 2,75 \left[\left(\frac{P}{D} \right)^{-1,2} Re_D^{0,43} + 0,011 \sigma Re_D \left(\frac{V_\infty}{V_s} \right)^{0,48} \right] \quad (4.8)$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada V_∞ , açık havadaki rüzgâr hızı (m/s); Re_D , $Re_D = V_D \left(\frac{D}{\nu} \right)$ ifadesiyle verilen delikteki Reynolds sayısı (Re sayısı bir akışta, akışın laminar veya türbülanslı olduğunu belirleyen sayıdır); ν , kinematik viskozite (m^2/s); $V_D, V_D = \frac{V_s}{\sigma}$ ifadesiyle verilen denklem ise rüzgârın delikten geçme hızıdır. Güneş duvarı için taşınım ile çevreye olan ısı kaybı ihmal edilemez ve kayıp;

$$q_{t,kayıp} = h_{kayıp} A (T_s - T_{\text{çev}}) = \frac{Nu_{kayıp} k}{Y} A (T_s - T_{\text{çev}}) \quad (4.9)$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır. Bu denklemde $h_{kayıp}$, ısı taşınım katsayısını (W/m^2K); Y , soğurucu plaka yüksekliğini (m) ve $Nu_{kayıp}$ kayıp Nusselt sayısını ifade etmektedir.

$$Nu_{kayıp} = 0,82 \frac{\rho C_p V_\infty \nu}{k V_s} C_f \quad (4.10)$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır. Burada C_f , oluk faktörüdür.

Radyasyon yoluyla çevreye olan ısı kaybı:

$$q_{rad,kayıp} = \epsilon_s \sigma_{sb} A_s (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (4.11)$$

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

$$T_\infty^4 = 0,5 (T_{gök}^4 + T_{zemin}^4) \quad (4.12)$$

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

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

$$q_{i,d} = k_{i,d}A(T_{oda} - T_d) \quad (4.13)$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada $k_{i,d}$; bina duvarının bileşik ısı iletim katsayısıdır (W/m^2K).

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

$$q_{t,d-a} = h_y A(T_d - T_a) = \frac{kNu_y}{Y} A(T_d - T_a) \quad (4.14)$$

ifadesinden elde edilmektedir. Burada h_y , ısı taşınım katsayısı ve Nu_y , soğurucu plakanın yüksekliğine bağlı olan Nusselt sayısıdır ve

$$Nu_y = \begin{cases} 0,664Re_y^{0,5}Pr^{0,333} & Re_y < 5 \times 10^5 \\ ((0,037Re_y^{0,8} - 871)Pr^{0,333}) & Re_y > 5 \times 10^5 \end{cases} \quad (4.15)$$

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

En son olarak da binaya aktarılan ısı:

$$q_f = \dot{m}_k C_p (T_{giriş} - T_{çev}) = \dot{m}_k C_p (T_a - T_{çev}) \quad (4.16)$$

ifadesiyle verilir. Buna göre güneş duvarının verimi;

$$= \frac{q_f}{I_T A} = \frac{\dot{m}_k C_p (T_a - T_{çev})}{I_T A} \quad (4.17)$$

ifadesiyle bulunur.

Motahar ve çalışma arkadaşları havanın termofiziksel özelliklerini hesaplamak için, daha önce Incropera tarafından yapılan çalışmalara uygun olan $f(T) = AT_{\text{çev}}^4 + BT_{\text{çev}}^3 + CT_{\text{çev}}^2 + DT_{\text{çev}} + E$ polinom eğrisini elde etmişlerdir (Incropera, 2007; Motahar, 2010). Bu eğrideki sabitler çizelge 4.3’de verilmektedir. Havanın yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi de $\rho = 360.7782T^{-1.00336}(\text{kg/m}^3)$ olarak hesaplanmıştır (Mohatar, 2010).

Çizelge 4. 3. Hava özelliklerini bulmak için kullanılan sabitler (Mohatar, 2010)

f(T)	A	B	C	D	E
Cp (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 konulursa;

$$\alpha_s I T A_s + \frac{\sigma_{sb} A (T_d^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\epsilon_d} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} = \dot{m}_k C_p [1 - \exp\left(\frac{k \text{Nu}_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p}\right)] (T_b - T_{\text{çev}}) + \epsilon_s \sigma_{sb} A_s (T_s^4 - T_{\infty}^4) + \frac{\text{Nu}_{\text{kayıp}} k}{Y} A (T_s - T_{\text{çev}}) \quad (4.18)$$

$$k_{i,d} A (T_{\text{oda}} - T_d) = \frac{\sigma_{sb} A (T_d^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\epsilon_d} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} + \frac{k \text{Nu}_Y}{Y} A (T_d - T_a) \quad (4.19)$$

ifadeleri elde edilmektedir. Burada ara bölge sıcaklığı (T_a) ile binaya giriş sıcaklığı ($T_{\text{giriş}}$) yaklaşık olarak eşit kabul edilir. Eşitlik 4.7’den elde edilen giriş sıcaklığı ($T_{\text{giriş}} \cong T_a$) Eşitlik 4.19’da yerine konulursa;

$$k_{i,d} A (T_{\text{oda}} - T_d) = + \frac{k \text{Nu}_Y}{Y} A (T_d - (T_{\text{çev}} + [(T_s - T_{\text{çev}}) (1 - \exp\left(\frac{k \text{Nu}_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p}\right))])) + \frac{\sigma_{sb} A (T_d^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\epsilon_d} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} \quad (4.20)$$

ifadesi elde edilmektedir.

Şimdi Eşitlik 4.18 ve 4.20’de bina duvarının dış yüzey sıcaklığı ve soğurucu plaka sıcaklığı olarak iki belirsiz vardır. Bu iki belirsizi elde etmek için Newton’un yöntemi kullanılmaktadır (Balagurusamy, 2008). 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;

$$X_{i+1} = X_i - \frac{f(x)}{f'(x)} \quad (4.21)$$

ifadesi ile verilmektedir. Bu işlemler maksimum yinleme sayısına veya hata miktarına ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Eşitlik 4.7’den elde edilen sıcaklık artışı (ΔT) eşitlik 4.17’de yerine konulursa verim;

$$\eta = \frac{\dot{m}_k C_p (T_s - T_{\text{cev}})}{I_T A} \left[1 - \exp\left(\frac{k N u_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p}\right) \right] \quad (4.22)$$

ifadesiyle verilmektedir. 4.18, 4.20 ve 4.22 denklemlerindeki çok sayıda bulunan değişkenlerden bazıları; çevre sıcaklığı, rüzgâr hızı, güneş radyasyon şiddeti gibi coğrafik faktörlerle ilişkilidir. Diğer değişkenler ise; soğurucu levha yüksekliği, delik çapı, delik adım aralıkları, soğurucu levhanın soğurma oranı, soğurucu plakanın emisyonu gibi parametreler istenildiği gibi ayarlanabildiğinden tamamen bizim tercihimize bağlı olmaktadır.

Çizelge 4.4’te ayarlanabilen ve ayarlanamayan parametreler olarak gösterdiğimiz bu değişkenlerin, tarafımızdan belirlenen değerleri 4.18, 4.20 ve 4.22 denklemlerinin çözümü için kullanılmıştır.

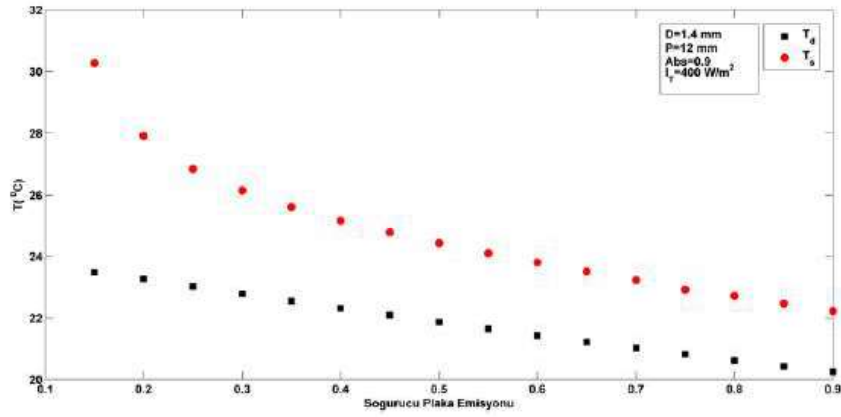
Rüzgârın yaklaşım hızı güneş duvarı sistemini etkileyen faktörlerden bir tanesidir. Bu parametre doğal koşullara bağlı olduğundan sabit kalmaktadır. Ancak yapılan deneysel çalışmalara göre rüzgârın yaklaşım hızı 0,05 m/s’de maksimum değere ulaşırken verim değeri en yüksek seviyededir, rüzgâr hızı ve yaklaşım hızının daha da büyük değerlerinde, rüzgârın soğurucu yüzey üzerinde

soğutma gerçekleştirerek verimi azalttığı gözlenmektedir (Kutscher, 1993). 0,05 m/s'lik yaklaşım hızı çok yüksek rüzgâr 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 4. 4. Güneş duvarı parametreleri için kullanılan değerler (Khanları, 2013)

Ayarlanabilen Parametre	Değer	Ayarlanamayan Parametre	Değer
Soğurucu plaka yüksekliği	2(m)	Çevre sıcaklığı ($T_{\text{çev}}$)	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 rüzgâr 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 4.4'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 4.13'te gösterilmiştir. Buna göre soğurucu yüzeyin emisyon oranı arttıkça T_d ve T_s değerleri azalmıştır. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi maksimum verim için ε_s değerinin minimum olması bunun için de seçici yüzey kullanması gerekmektedir.

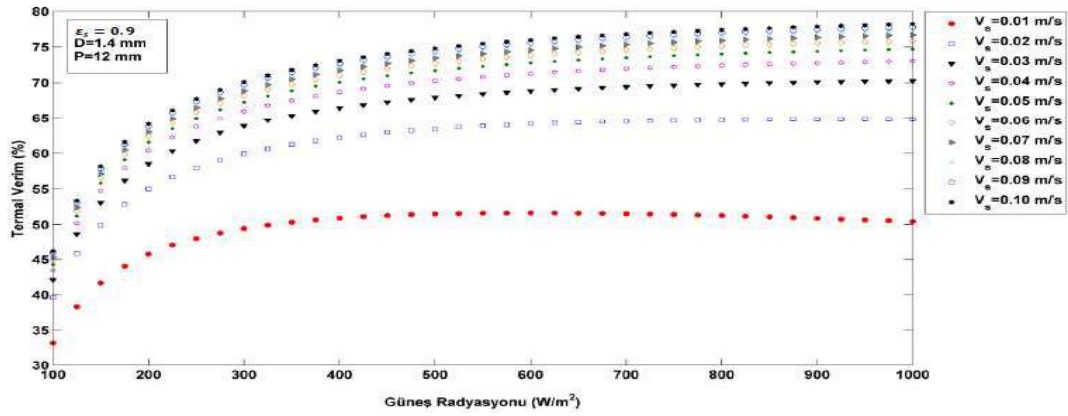


Şekil 4.13. Soğurucu plaka sıcaklığı ve bina duvarının dış yüzey sıcaklığının soğurucu plaka emisyonuna göre değişimleri (Khanlar, 2013)

Eşitlik 4.22 kullanılarak on farklı yaklaşım hızı için, güneş ışınlam miktarının değişimine göre verimlilik incelendiğinde Şekil 4.14'te görüldüğü gibi radyasyon miktarının yaklaşık 400 W/m² değerine kadar artması ile termal verim yüzdesi artarken 400 W/m²'nin üzerindeki radyasyon miktarı için termal verim yüzdesi sabit kalmış hatta düşük yaklaşım hızları için azalmıştır.

Aynı zamanda Şekil 4.14'te yaklaşım hızının artması ile termal verimdeki artışın lineer olarak artmadığı da görülmektedir. $V_s=0,05$ m/s'den sonraki yaklaşım hızlarında verimdeki değişim çok az olurken 0,09 m/s'den sonraki yaklaşım hızlarında sabit kaldığı görülmektedir. Teorik olarak yapılan bu çalışma deneysel uygulamalara benzemesinin yanında Eşitlik 4.22'de rüzgârın soğutucu etkisinin konmaması nedeniyle çok yüksek yaklaşım hızlarında deneysel olarak gözlenen soğutucu etkisi gözlenememiştir.

Şekil 4.14'te görüldüğü üzere güneş duvarı sistemlerinin uygulama alanlarında güneş ışınlam miktarının çok yüksek değerlerde olmasının gereği yoktur. 300-400 W/m²'lik bir ışınlam değeri bu sistemlerin uygulanması için yeterlidir.

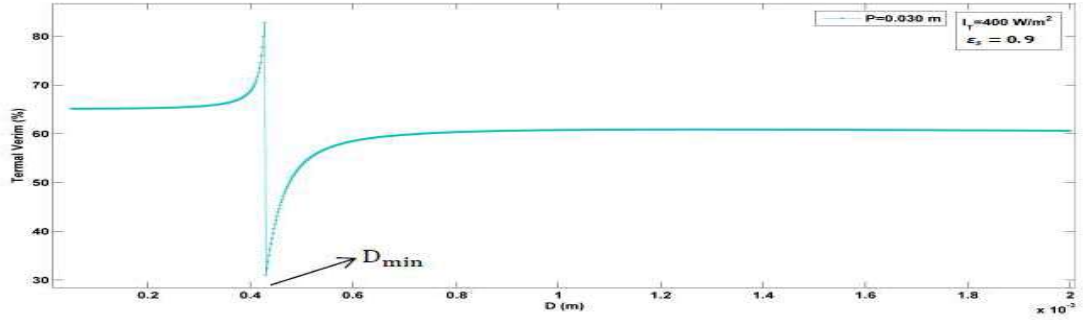


Şekil 4.14. Güneş duvarın üzerine düşen güneş radyasyonuna göre verimin değişimi (Khanlar, 2013)

Delik adımı ve delik çapı güneş duvarının verimini etkileyen en önemli faktörler arasında yer almaktadır. Her iki parametre birbirine oldukça bağlıdır. Ama belirlenmesi gereken ilk parametre delik çapıdır. Bina içine alınacak hava miktarı ve akış hızını belirleyen parametre delik çapıdır.

Delik adımı değeri küçüldükçe delik çapının küçük olması gerektiği beklenen bir parametredir. Eşitlik 4.22 kullanılarak sabit bir delik adımı için farklı delik çaplarında termal verimliliğin değişimi Şekil 4.15'te gösterilmektedir. Şekil 4.15'te görüldüğü üzere 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 düşük seviyededir.

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.



Şekil 4.15. Termal verimin delik çapına göre değişimi (Khanları, 2013)

Aynı davranış farklı adım aralıkları için de gözlenmiştir (Şekil 4.16). Ayrıca delik adım aralıklarının küçülmesiyle; verimin arttığı ve D_{min} değerinin daha küçük değerlere çekildiği görülmektedir.

Her adım aralığı için Şekil 4.16’da gözlenen bu asimptotik pikler aslında adım aralığı için seçilmesi gereken kritik delik çaplarının (D_k) belirlenmesini sağlamaktadır. Buradaki D_k değeri D_{min} değerinden çok az küçük olup yaklaşık eşit sayılabilir ($D_k \cong D_{min}$). Ayrıca Şekil 4.16’dan her adım aralığı için belirlenen kritik delik çapından daha küçük delikler için sistemin istenildiği gibi çalışmadığı (içeriye temiz hava girişinin olmadığı) anlaşılmaktadır.

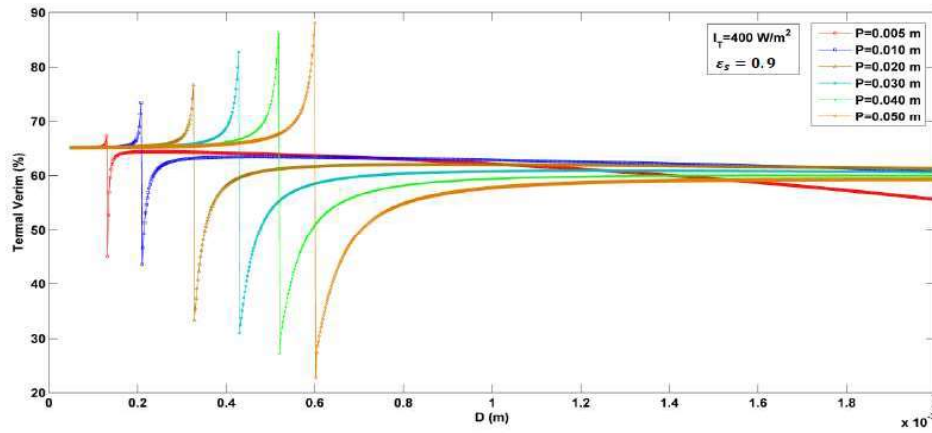
Buna göre $D < D_k$ bölgesi Trombe duvarı davranışı gösterirken $D > D_k$ bölgesi güneş duvarı davranışı göstermektedir. Delik çapının D_k ’ya eşit olduğu noktada ise eşitlik 4.22’deki verim ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\eta = \lim_{D \rightarrow D_k^-} \frac{\dot{m}_k C_p (T_s - T_{cev})}{I_T A} [1 - \exp\left(\frac{k Nu_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p}\right)] = + \infty \quad (4.23)$$

$$\eta = \lim_{D \rightarrow D_k^+} \frac{\dot{m}_k C_p (T_s - T_{cev})}{I_T A} [1 - \exp\left(\frac{k Nu_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p}\right)] = - \infty \quad (4.24)$$

Dolayısıyla güneş duvarı sistemlerinde her adım aralığı değeri için bir minimum delik çapı değeri (D_{min}) bulunmaktadır. Bu minimum delik çapı değerinin adım aralığı ile değişimine bakıldığında (Şekil 4.17); adım aralığının artmasıyla delik çapının minimum değerinin (D_{min}) lineer olarak arttığı görülmektedir. Bu grafiğe

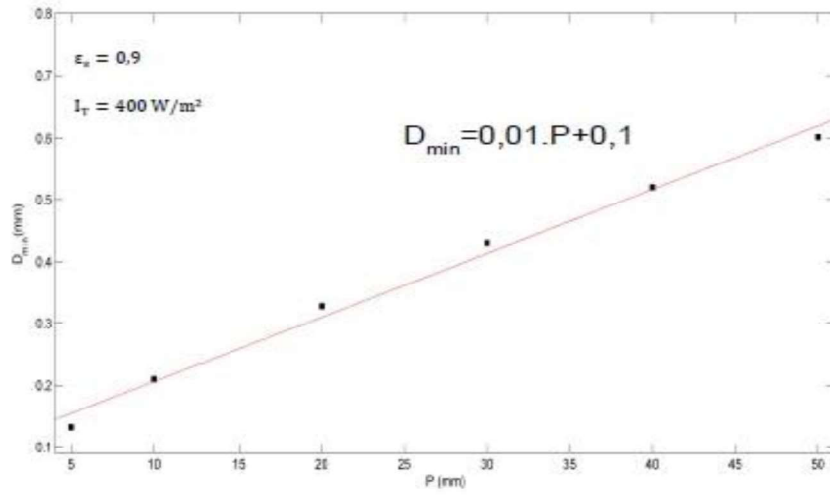
göre farklı adım aralıkları için Çizelge 4.4'te verilen koşullara göre minimum delik çapı hesaplanabilmektedir.



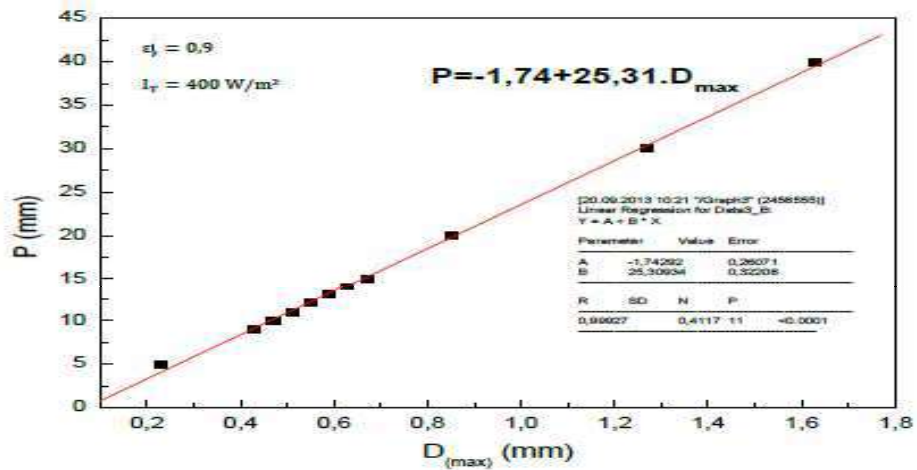
Şekil 4.16. Farklı adım aralıkları için termal verimin delik çapına göre değişimi (Khanlar, 2013)

Şekil 4.16'da görüldüğü üzere belirli bir adım aralığına kadar termal verim artmaktadır belirli bir adım aralığından itibaren ise termal verimde bir azalma gözlemlenmektedir. 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 4.18). Gözlenen lineer eğrinin eğiminden; seçilecek olan delik çapı değeri için en iyi delik adımı değerini bulunabilmektedir. Böylelikle Çizelge 4.4'te verilen koşullar için en yüksek termal verim sağlanmış olur.

Maksimum verime elde etmek için öncelikle delik çapının belirlenmesi ardından da delik adımının belirlenmesi gerekmektedir. Delik çapı olabildiğince küçük seçmek verimi arttırmaktadır ancak delik çapının belirlerken bizi sınırlandıran bazı coğrafik koşullar bulunmaktadır. Çevrede bulunan kum veya talaş gibi cisimlerin bu delikleri tıkamamaları gerekmektedir. Bu yüzden maksimum verim için öncelik olarak seçilebilecek minimum delik çapı seçilip ardından da Şekil 4.18'deki eğri yardımıyla da en uygun delik adımı belirlenmelidir.



Şekil 4.17. Farklı adım aralıkları için minimum delik çapı değerinin değişimi (Khanları, 2013)

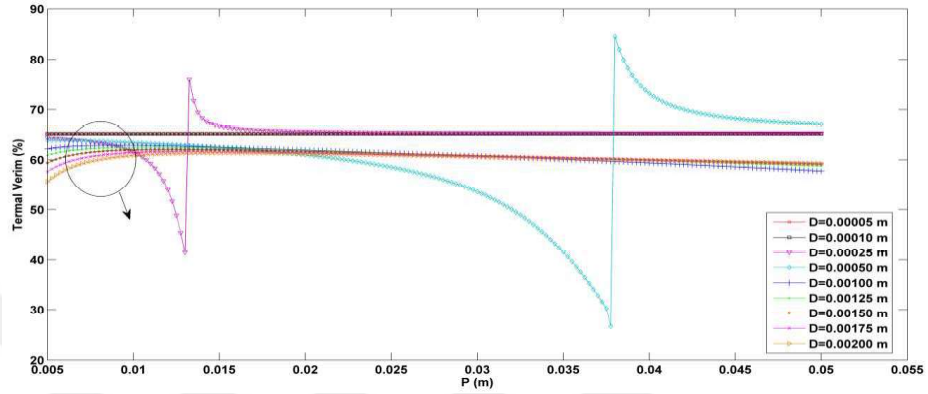


Şekil 4.18. Maksimum verim elde etmek için maksimum delik çapı değerine göre delik adımının değişimi (Khanları, 2013)

Aynı şekilde eşitlik 4.18, 4.20 ve 4.22 kullanılarak dokuz farklı delik çapı için termal verimin delik adımına bağlı olarak değişimi Şekil 4.19'da gösterilmektedir. Burada gözlemlenen olay ise Şekil 4.19'daki davranış Şekil 4.16'nın tam tersi konumundadır.

Şekil 4.19'da görüldüğü üzere farklı delik çapları için termal verimin, delik adımının bir noktaya kadar artmasıyla arttığı bir noktadan sonra ise termal verimin azaldığı gözlenmektedir. Delik adımının büyük olması delikler arasındaki

mesafenin uzun olmasını ifade etmektedir bu da sisteme giren hava akışının daha az olması anlamına gelmektedir. Sisteme giren hava akışının azalması da kayıpların artmasına sebep olur bu da termal verimin düşmesine neden olmaktadır. Delik adımlarının çok büyük olması, hava akışını çok aza indirdiğinden sistem güneş duvarı yerine Trombe duvarı gibi davranmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4.19. Farklı delik çapları için verimin delik adımına göre değişimi (Khanları, 2013)

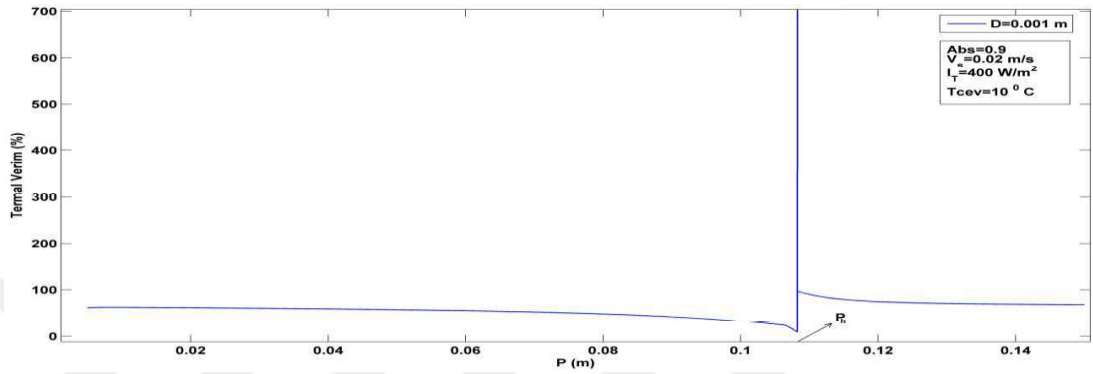
Şekil 4.19'daki asimptotik davranış bize, asimptot eğrisinin sol tarafında kalan bölgenin güneş duvarı gibi çalıştığını ifade ederken, eğrinin sağ tarafında kalan bölgenin ise delik adımının çok büyük olmasından dolayı sistemin Trombe duvarı gibi davranış gösterdiğini ifade etmektedir.

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 Eşitlik 4.22'deki verim ifadesi aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\eta = \lim_{P \rightarrow P_k^-} \frac{\dot{m}_k C_p (T_s - T_{\text{cev}})}{I_T A} \left[1 - \exp \left(\frac{k \text{Nu}_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p} \right) \right] = -\infty \quad (4.25)$$

$$\eta = \lim_{P \rightarrow P_k^+} \frac{\dot{m}_k C_p (T_s - T_{\text{cev}})}{I_T A} \left[1 - \exp \left(\frac{k \text{Nu}_D (1 - \sigma)}{D \rho V_s C_p} \right) \right] = +\infty \quad (4.26)$$

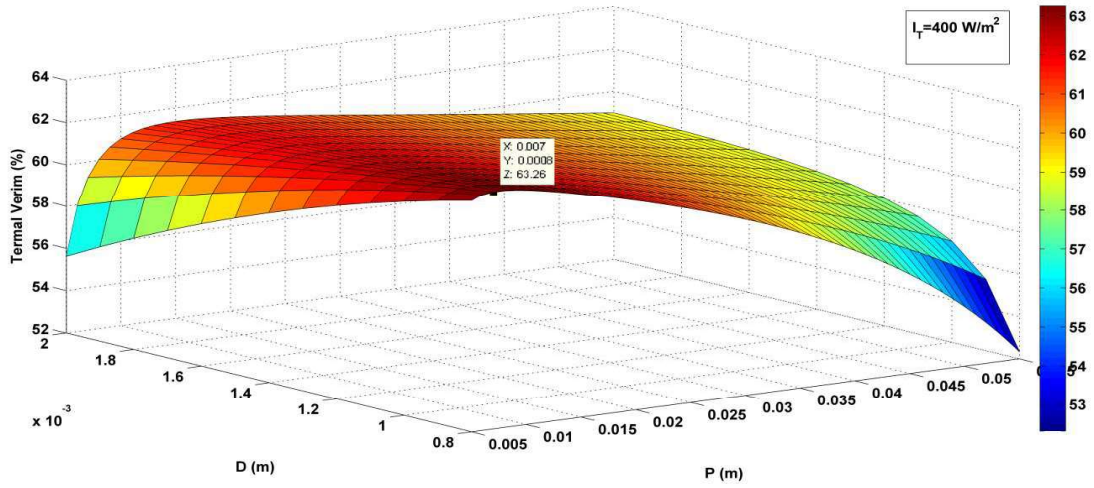
Şekil 4.20’de ise 1 mm delik çapı için; verimin çok büyük delik adım aralığına değişimi gösterilmektedir. Bu çizimde asimptot eğrisinin değişimi daha net olarak gözükmemektedir. Ancak Şekil 4.20’de görüldüğü üzere çok büyük delik adımlarında ($P > P_k$) sistem güneş duvarı gibi değil de Trombe duvarı gibi davranmaktadır.



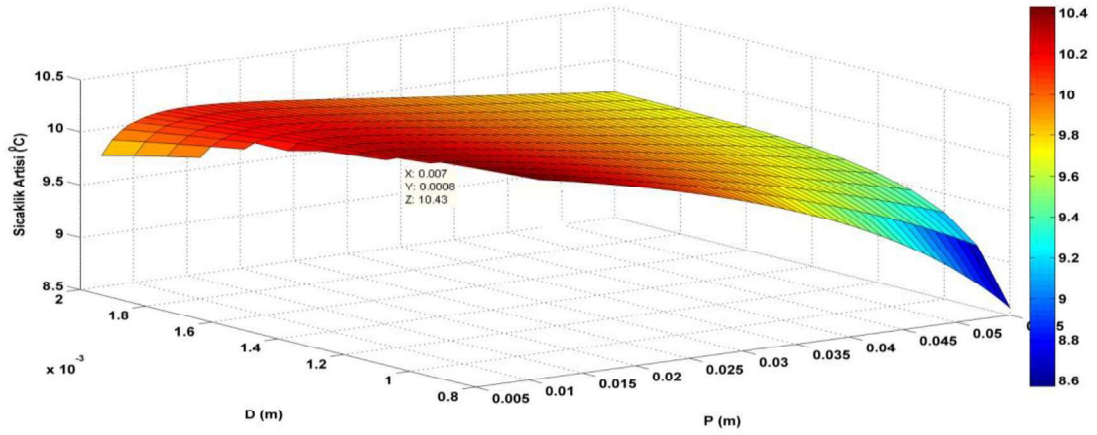
Şekil 4.20. 1 mm delik çapı için verimin delik adımına göre değişimi (Khanları, 2013)

Şekil 4.16 ve Şekil 4.19 ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde delik çapı ve delik adımının birbirinden bağımsız olarak ele alınmasının doğru olmadığı anlaşılmaktadır. En uygun delik çapı ve delik adımını bulabilmek için Şekil 4.16 ve 4.19 güneş duvarı için geçerli bölgelerde ($D > D_k$ ve $P < P_k$) birleştirilip üç boyutlu bir şekilde Şekil 4.21’de gösterilmektedir.

Şekil 4.21’de görüldüğü üzere $D = 0,8$ mm ve $P = 7$ mm için maksimum termal verim değeri %63,26 olarak elde edilmektedir. Ayrıca Eşitlikler 4.18, 4.20 ve 4.22 kullanılarak delik çapına göre ve delik adımına göre sıcaklığın değişimi Şekil 4.22’de verilmektedir. En yüksek sıcaklık artışı $10,43^{\circ}\text{C}$ olarak $D = 0,8$ mm ve $P = 7$ mm parametrelerinde gerçekleşmektedir. Elde edilen bu değerler Çizelge 4.4’teki koşullara bağlı olarak en yüksek verim ve sıcaklık artışı için en uygun delik adımı ve delik çapını vermektedir.



Şekil 4.21. Verimin delik çapı ve delik adımına göre değişimi (Khanlar, 2013)



Şekil 4.22. Sıcaklık artışının değişimi delik çapı ve delik adımı değişimlerine göre (Khanlar, 2013)

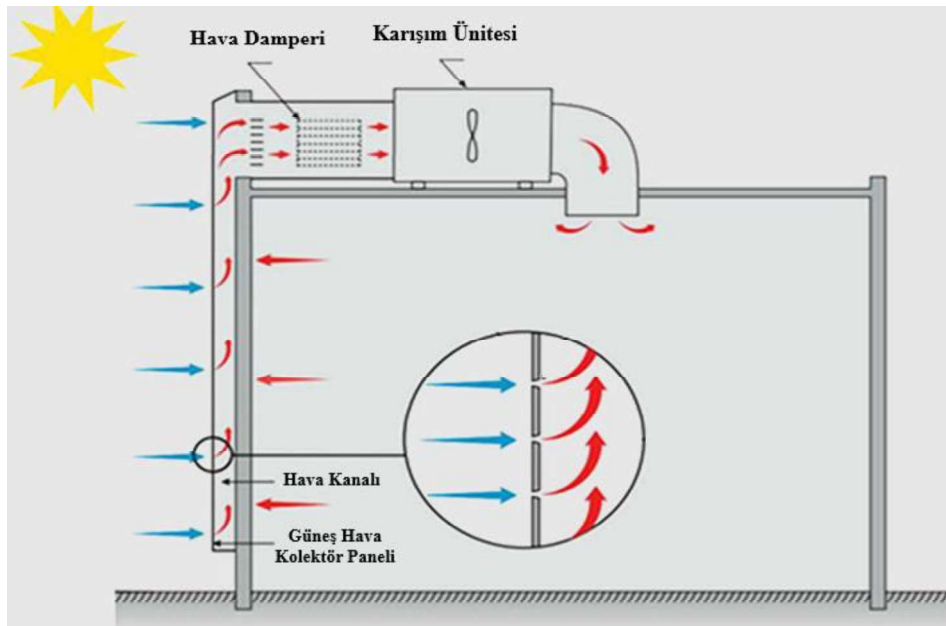
4.3.5.7. Güneş duvarı tasarımı ve tipleri

a. Tek aşamalı güneş duvarı:

Merkezi ısıtma ve havalandırma sistemine sahip olan binalar HVAC ünitelerinden temiz hava almaktadır. Kışın, bu birimler soğuk gelen havayı ısıtmak için muazzam miktarda enerji harcamaktadır. Güneş duvarı sistemiyle gelen temiz hava HVAC ünitesinin temiz hava tarafına ulaşmadan önce güneş enerjisi ile ısıtılır ve ısıtma mevsimi boyunca binanın yakıt tüketimi en aza indirilmektedir.

Güneş ışıınımı, güneş duvarı cephesinin yüzeyini ısıttığında, kolektörün yüzeyinde taze, güneş tarafından ısıtılan hava birikmektedir. Mevcut HVAC üniteleri, güneş enerjisiyle ısıtılan bu havayı güneş duvarı panellerindeki binlerce küçük delikten geçirmektedir.

Güneşle ısıtılan bu hava, güneş duvarı panellerinin arkasındaki hava boşluğunda toplanır ve mevcut HVAC ünitesinin temiz hava girişine mekanik kanal aracılığıyla geçmektedir. Yaz aylarında, güneş tarafından ısıtılan hava istenmediğinde, güneş duvarı sistemi atlanır ve HVAC sistemi havayı doğrudan ortamdan çekmektedir. Tek aşamalı güneş duvarı sistemleri gelen temiz havayı ortam sıcaklığının yaklaşık olarak 24 °C üzerine kadar ısıtabilmektedir. Bu da binanın ısıtma yükünü oldukça düşürmektedir. Etkili bir şekilde tasarlanan güneş duvarları sistemleri bina ısıtma yükünün % 20 ila % 50'sini alabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.23. Tek aşamalı güneş duvarı (Solarwall, 2019)

Tek aşamalı bir güneş duvarının pratik olarak uygulanışı şekil 3.24'te gösterilmektedir.



Şekil 4.24. Tek aşamalı güneş duvarının bir binaya uygulanması (Hollick, 1994)

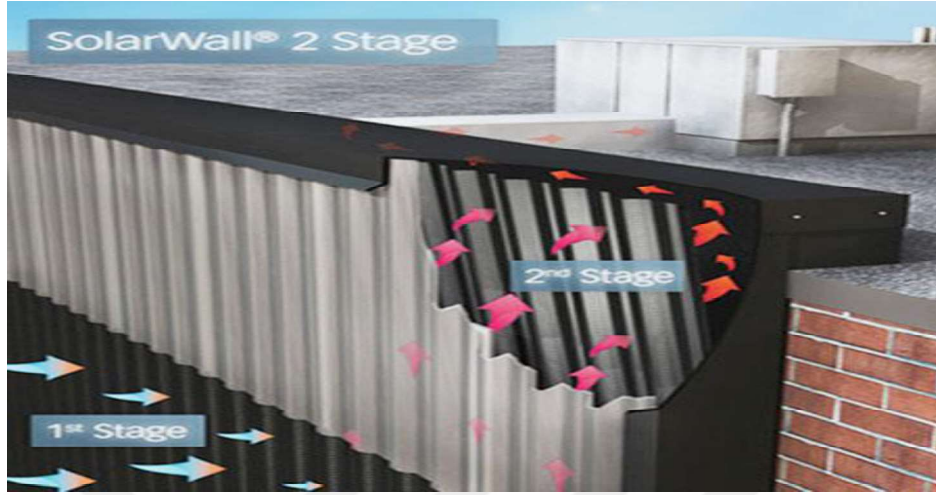
b. İki aşamalı güneş duvarı:

İki aşamalı güneş duvarı şeffaf cam panellerle donatılmıştır ve gelen temiz havayı iki ısıtma aşaması boyunca yönlendirmektedir. Bu tasarım, bina enerjisinin korunmasını, ısıtma maliyet tasarrufunu artırırken, sera gazı emisyonlarını daha da azaltmaktadır tek aşamalı güneş duvarı sistemine göre. Tek aşamalı güneş duvarı sisteminde sıcaklık ortam sıcaklığının maksimum 24 °C üzerine çıkartılabilirken iki aşamalı güneş duvarı sisteminde bu değer 47 °C'ye kadar çıkartılabilmektedir. Ayrıca normal güneş duvarları sistemlerinde çevrenin rüzgâr hızı arttıkça verimi düşerken bu sistemde rüzgâr hızı arttıkça sistemin sağlamış olduğu enerji de artmaktadır.

İlk ısıtma aşaması; güneş radyasyonu, Şekil 4.25'te gösterilen metal güneş duvarı panellerini ısıtmaktadır ve kolektör yüzeyinde sınırsız miktarda taze, ısıtılmış hava tabakası oluşturmaktadır. Giriş fanları bu ılık havayı panellerdeki binlerce mikro delikten geçirmektedir. Sıcak hava, kolektör içindeki hava boşluğunda toplanmaktadır.

İkinci ısıtma aşaması; Güneş radyasyonu Şekil 4.25'te gösterilen polikarbon camlara nüfuz edip ikinci aşamadaki metal güneş duvarı panellerini ısıtmaktadır. Rüzgâr kaynaklı ısı kaybına karşı korunan oyuk içindeki sıcak hava, güneş duvarı

panellerinin ikinci aşamasındaki deliklerinden geçirilmeden önce daha fazla ısı almaktadır.

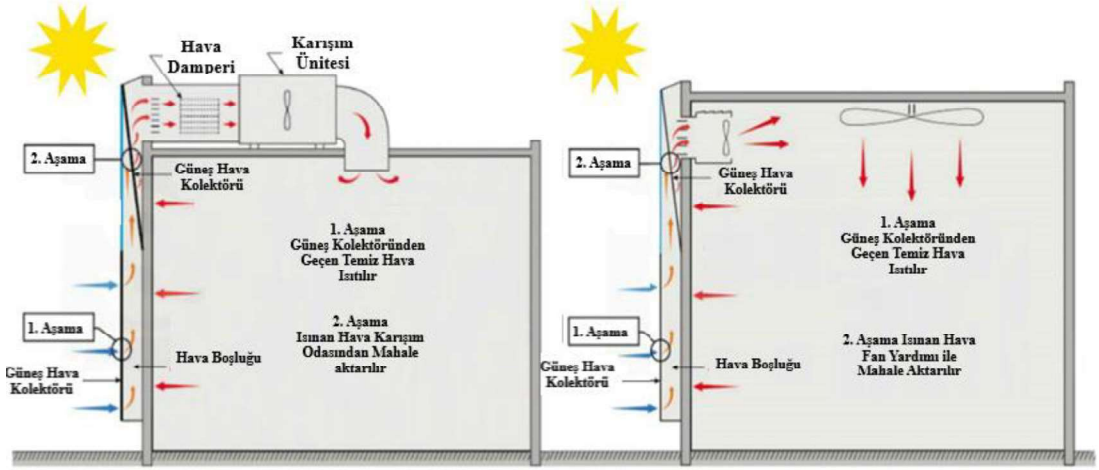


Şekil 4.25. İki aşamalı güneş duvarı ve iç kesiti (Solarwall, 2019)

Ön ısıtma uygulaması: Mevcut HVAC fanları, güneş duvarının toplayıcısına ve binanın ısıtma ve havalandırma ağına güneş enerjili ısıtılmış hava çekmektedir. Isıtma mevsimi boyunca, güneş ışınları tarafından ısıtılan temiz havayı ayar noktasına kadar ısıtmak için önemli ölçüde daha az ısıtma yakıtı gerekmektedir. Soğutma mevsiminde, güneş duvarı basitçe atlanmaktadır.

Alan ısıtma uygulaması: Güneş duvarı giriş fanları, kolektör yardımıyla ısıtılan havayı ihtiyaç durumunda tesise iletmektedir. Yüksek alanlarda, fanlar sıcak havayı binanın içerisine yollayarak binada yaşayan kişinin konforunu ve enerji tasarrufunu en üst seviyeye çıkarmaktadır.

İki aşamalı güneş duvarının çalışma prensibi Şekil 4.26'te gösterilmektedir.



Şekil 4.26. İki aşamalı güneş duvarının çalışma prensibi (Solarwall, 2019)

Dünyanın farklı yerlerinde uygulanan iki aşamalı güneş duvarının bir örneğine de Şekil 4. 27’de de görüleceği üzere uluslararası bir havalimanının hangarına ve tesislerine uygulanışı görülmektedir.



Şekil 4.27. Uluslararası Plattsburgh Havalimanında iki aşamalı güneş duvarının hangar ve tesis uygulaması (Solarwall, 2013)

c. Fotovoltaik ve güneş duvarının birlikte uygulandığı uygulamalar:

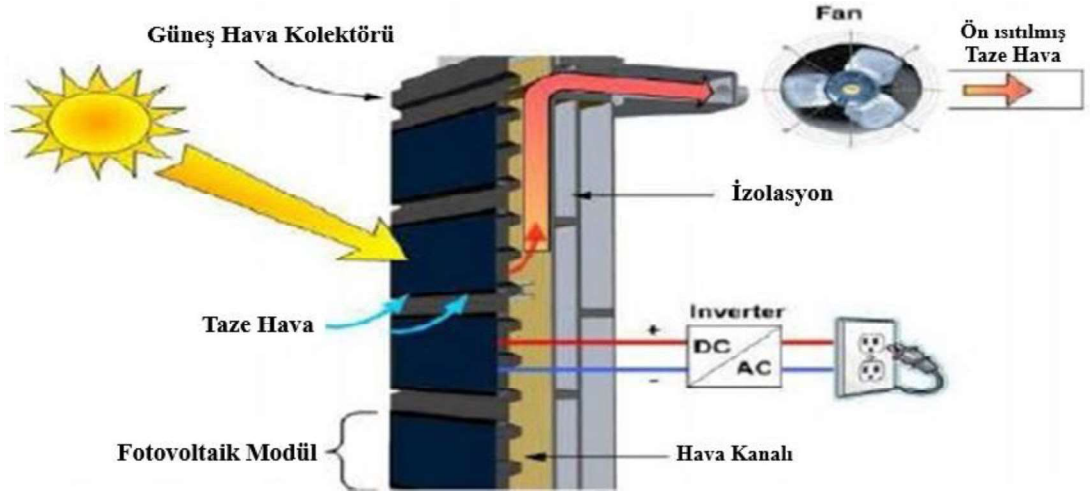
Güneş duvarı ile fotovoltaik teknolojinin birlikte uygulanması güneş duvarının verimini %300'e kadar arttırmaktadır. Bu sistemin en büyük faydası ise PV modülünde oluşan ve PV modülünün verimini düşüren yüksek sıcaklıkların azalmasını sağlamaktır. PV modülünün arkasında oluşan gereksiz ısı yükü binanın ısıtma sistemine aktarılmaktadır. 25 °C üzeri sıcaklıklar PV modülünden çıkan elektriği düşürmektedir (Solarwall, 2019).

2009 yılında Concordia Üniversitesi PV modüllü güneş duvarı sistemi kurmuştur. Toplam kurulum kapasitesi 100 kW'tır ve bunun 75 kW'ı ısıtma için 24.5 kW'ı ise elektrik için ayrılmıştır. Şekil 4.28'de görüleceği üzere PV/T sistem 288 m² güneş duvarı bileşenlerinden ve 384 PV modülden oluşmaktadır. Isıtma sistemi içerisindeki hava akış hızı 25500 m³/h'dır.



Şekil 4.28. Concordia Üniversitesi güneş duvarı uygulaması (Solarwall, 2013)

Kombine sistem PV modülünün verimini geleneksel PV modüllerine göre kıyaslandığında yüzde 5'e kadar arttırmaktadır. Sistemin çalışması Şekil 4.29'da gösterilmektedir. PV modülleri elektrik üretirken aynı zamanda ısı da üretmektedirler, HVAC kanallar vasıtasıyla da ısıtmada kullanılacak olan ısılar taşınmaktadır.



Şekil 4.29.PV sistemle kombine edilmiş güneş duvarının çalışma prensibi (Solarwall, 2019)

Türkiye’de bulunan iki tane önemli güneş duvarı uygulamasında ısıtma yükü yalnızca güneş duvarından sağlanmaktadır. Uygulamalar CRH grubu ve Pim-Sa tesislerinde bulunmaktadır. Bu sistemler Teknosolar A.Ş. tarafından bu iki grubun Kocaeli-Gebze’de bulunan tesislerine entegre edilmiştir. Fabrika 18.000 m² üretim alanına sahiptir. Johnson Control CRH grup tarafından kurulan 780 m² güneş duvarı şekil 4.30’da gösterilmektedir (Solarwall, 2013).



Şekil 4.30. CRH Grup tesislerinde camsız ve transparan güneş duvarı uygulaması (Solarwall, 2013)

5. SİSTEM SEÇİMİ VE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Son yıllarda kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının artması ile binalardaki enerji verimliliği ve enerji ekserji geri kazanımlarındaki farklılıklar kullanılan fosil yakıtlı sistemlerle karşılaştırıldığında dikkat çekmektedir. Binalardan istenen konfor şartlarının artması ile daha verimli ve az yakıt tüketimi olan ayrıca bakımı kolay olan sistemler kullanılması avantaj sağlamaktadır. Binaların gerekli ihtiyaçları göz önünde bulundurularak ve hedeflenen alternatif sistemler karşılaştırılarak en verimli, geri dönüşümü en karlı olan sistemlerin kullanılması amaçlanmaktadır. Çevreye verecek olan zararlardan ve sistem kurulduktan sonra oluşacak parametreleri en aza indirerek en uygun olan sistem seçilmektedir (Şişman, 2010).

5.1. Performans

5.1.1. Havalandırma yeteneği

Kullanıcı isteğine göre havalandırma yapılacak alanların kapasitesi hesaplanarak sistemin gerekli ihtiyacı karşılaması sağlanmaktadır. Fanların karakteristik özellikleri sistemlerin kurulumunda en çok dikkat edilmesi gereken noktadır. Fanın kapasitesini hesaplamak için kritik nokta baz alınarak basma yüksekliği değerleri ile havanın taşınabileceği uzaklık mesafesi ve kanaldan ortama taşınacağı menfezlerin seçimi yapılmaktadır (Şişman, 2010).

Merkezi sistem ısıtma ve soğutma uygulamalarında havalandırma yeteneği bulunmamaktadır.

5.1.2. Soğutma

Soğutma konforunun sağlanabilmesi ve ortamı istenilen konforlu sıcaklığa ulaştırabilmek için ısı kazançlarının en aza indirilmesi gerekmektedir. Isı kazançları tablosu gerekli ihtiyaca göre hesaplanmadığında ısı kazançları artış gösterecektir. Bunun sonucunda soğutma ihtiyacı da artacak ve hava sıcaklığı düşürülecek veya hava miktarı artırılacaktır. Bu durum termal konforu olumsuz

etkileyecektir. Termal konforu etkileyen bir diğerk faktör de ortamdaki hava hızıdır. Sıcaklığa bağılı olarak ortamda 0,1m/s hava hızının altında kalınmalıdır. Aksi halde konforsuz bir hava sıcaklığı oluşacak ve ortama rahatsızlık verecektir (Şişman, 2010).

5.1.3. Isıtma konforu

Isıtmada konforun sağlanabilmesi için ısıtıcıların gerekli mahalde uygun yerlere döşemesi yapılmaktadır. Isıtmanın yapılacağı alan zemine yakın olan ve ısı kayıplarının fazla olduğu yerlerin yakınında olması gerekmektedir. Sıcak hava aşağıdan yukarıya doğru hareket ederek ısıtmanın ortam içinde dengelenmesi sağlanmaktadır. Merkezi ısıtma yapılacak sistemlerde sistem içerisinde doğal sirkülasyondan kaynaklı gürültü olmamaktadır. Klima sistemlerinde sıcak havanın ortama aktarılması için yüksek fan devirlerinde sıcak havayı yukarıdan aşağıya doğru sirküle edeceğinden ses oluşacak ve ortama rahatsızlık verecektir (Şişman, 2010).

5.1.4. Mevsim geçiş kolaylığı

İllere ve o illerde yaşanan mevsim normallerine göre binaların ısıtma ve soğutması belirlenmektedir. Binanın toplam enerji ihtiyacını hesaplarken ağırlıklı olarak bina aydınlatması, priz yükleri, pano odaları, bilgisayarlar, fotokopi makineleri, vb. ısı kaynağı oluşturacak cihazlardan dolayı soğutma yapılması gerekebilmektedir. Binaların konumu ve dış cephe güneşlenme sürelerine bağılı olarak ısıtma ve soğutma gereksinimi değişkenlik göstermektedir. İhtiyaca göre gerekli mahallere veya tüm bina için uygun soğutma sistem seçimi yapılmaktadır (Şişman, 2010).

5.1.5. Aşırı işletme şartlarına uygunluk

Kullanılacak olan sistemin performansını etkileyen parametrelerin başında dış hava sıcaklık değerleri vardır. En kötü şartlar baz alınarak sistemin işletmeye uygunluğu belirlenmektedir. Isıtma ve soğutma için kullanılacak olan COP

(coefficient of performance) ve EER (energyeffiencyratio) değerleri cihazların enerji ihtiyacını belirleyen katsayılardır. Bu katsayılar ne kadar yüksek olursa cihazların enerji verimliliği o kadar iyi olmaktadır. Aşırı işletme şartlarında COP ve EER değerlerinin düştüğü tespit edilirse iç ortam hava kalitesinin dengesizleştii görülecektir. Bu sebeple sistem seçiminde kullanılacak olan cihazların kapasiteleri önemli rol oynamaktadır (Şişman 2010).

5.2. İşletme Maliyeti

5.2.1. Enerji maliyeti

Ülkemizde bulunan binaların iklimlendirmesinde amacıyla kullanılan sistemlerde enerji miktarlarını azaltarak enerji tasarrufunu yapılması istenmektedir. Enerji ihtiyacının karşılanması sistem tasarımının önemi büyüktür. Seçilecek sistemlerde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta yakıt tüketiminin azaltılması ve atmosfere yayılan sera gazı etkisinin minimuma indirgenmesidir. Enerji maliyeti hesaplanırken binanın konumu, ışık yansıtma özellikleri, aydınlatma sisteminde kullanılan lambalar, aygıtlar, kontrol sistemi ve pencereler önem arz etmektedir. Pencerelerin cepheleri, boyutları, biçimleri ve yerleştiriliş düzeni ile pencerelerin ışık geçirme özellikleri, hacim boyutları, iç yüzeylerin ışık yansıtma özellikleri önemli parametrelerdir. Binanın ısıtma, soğutma yükleri ve yapma aydınlatma yükleri hesaba katılarak toplam enerji maliyeti bulunmaktadır (TSE, 2013).

Mevcut binalarda kurulu sistemin yıllık enerji tüketimi belirlenerek enerji tasarrufu yapılacak yeni sistemin projelendirmesi ve uygulaması yapılabilmektedir.

5.2.2. Yıllık verim

Sistemde kullanılan cihaz verimlerini hesaplanan yıllık enerji tüketimi ile karşılaştırarak kullanılan cihazların doğruluğu belirlenebilmektedir (Şişman, 2010).

5.2.3. İşletme durumu

Sistemin kurulum aşamasından sonra gerekli teknik servisin sağlanması için kurulum maliyetine işletme maliyeti de eklenmelidir. Yetkili servisin gerekli onarımları yapacak personeli temin etmesi halinde işletme maliyeti düşürülecektir (Şişman, 2010).

5.2.4. Isıtmada kullanılan yakıt, enerji cinsi

Isıtma yapılacak sistem seçildikten sonra kullanılacak yakıt cinsine göre yıllık ortalama maliyet bulunmaktadır. Kurulacak sistemin enerji geri kazanımlı olması en önemli parametredir. Yenilenebilir enerji kaynakları bu aşamada devreye girmektedir. Isıtmada kullanılacak yakıt cinsine göre sistemin avantajları ve dezavantajları kontrol edilmektedir. Fosil yakıt kullanılan sistemde yakıtın cinsine göre harcanan tüketim, sistemin avantajları ve dezavantajları yenilebilir enerji kaynağı kullanılarak tüketilen enerji miktarı, bu sistemin avantajları ve dezavantajları karşılaştırılarak seçimi yapılmaktadır (Şişman, 2010).

5.3. Sistem İlk Yatırım Maliyeti

Mevcut binaların enerji tüketimleri oldukça yüksektir. Bina konumunun ve çevre etkenlerinin uygun olması durumunda enerji tüketimini azaltacak sistem kurulması ilk yatırım maliyetini etkilemektedir. Tasarım yapılırken iklimsel konfor şartlarını sağlayabilmek enerji performansını etkileyen en önemli parametredir (Yasan, 2011).

Sistemin ilk yatırım maliyetini belirlemede etkili unsurlar;

- İhtiyaca yönelik gerekli ısıtma, soğutma, havalandırma ekipmanları,
- Tesisat borulamaları, boyanması, yalıtım yapılması vb gerekli ekipmanlar,
- İhtiyaçlara yönelik sistemde kullanılacak olan diğer tüm cihazlar ve elektrik panoları.

İlk yatırım maliyetine bu giderlerin haricinde işçilik bedelleri de eklenerek sistemin ilk yatırım maliyeti bulunmaktadır (Şişman, 2010).

5.3.1. Ek ısıtma sistemi

Isıtma sistemine ek olarak binaların evsel kullanım suyunun ısıtılması gerekmektedir. Gerekli ısıtmanın yapılması ayrı bir ısıtma kaynağı veya mevcutta bulunan kazan sistemi ile yapılmaktadır. Sıcak su ihtiyacının karşılanması için günlük güneşlenme radyasyonunun fazla olduğu illerde güneş enerjisinden yararlanmak en ekonomik, en yaygın ve en yüksek verimle kullanılan sistemlerin başında gelmektedir (Karakoç, 2010). Güneş enerji sistemleri sıcak su ihtiyacı ve ısıtmanın belli bir kısmının karşılanmasında alternatif yöntem olabilmektedir.

Güneşten faydalanma oranları günümüzde giderek artmaktadır özellikle petrol fiyatlarının sürekli olarak artması sebebiyle güneş enerjisini cazip kılmaktadır. Ülkemizin Güney ve batı sahillerinde bulunan illerde güneş enerjisi ile sıcak su ihtiyacı karşılanabilmektedir (Uyarel, 1987).

5.4. Sistemin Ekonomik Ömrü

Binaya uygulanacak iklimlendirme sistemlerinde hesaplanan kapasitelere uygun cihazların seçimi yapılırken kaliteli ve gerekli ihtiyacı karşılayarak uzun yıllar kullanılabilmesine dikkat edilmelidir. Cihazların kullanılacağı ortam şartları da göz önünde bulundurularak sistemin ekonomik ömrünün uzun olması sağlanmalıdır.

5.5. İklimsel Koşullar

İklim özellikleri binanın bulunduğu ile göre değişkenlik göstermektedir. Hava sıcaklıkları, güneş radyasyonu, güneş ışıınımı, yağış rejimi (yağmur, kar, dolu, şimşek), nem ve rüzgâr gibi veriler iklimsel analizi oluşturan verilerdir. Bölgenin iklim şartlarına göre seçilen sistemin dış havayla irtibatı önemli rol oynamaktadır (Yasan, 2011).

6. KONFOR GEREKSİNİMİ VE BİNANIN ENERJİ TÜKETİMİ

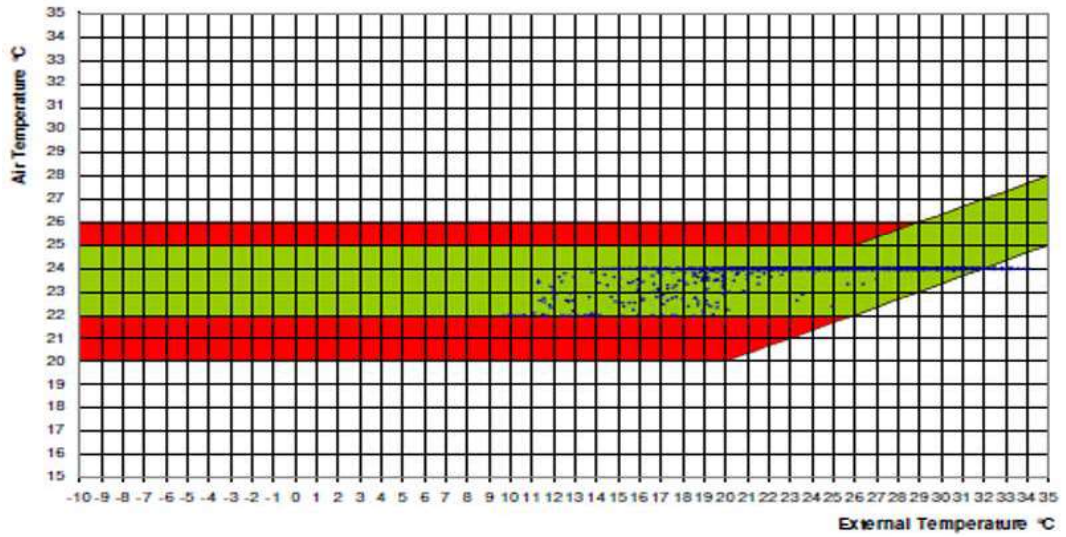
6.1 BİNALARDA KONFOR

Binalarda enerji verimliliği çalışmaları konforun bozulmaması kaydı ile yapılmaktadır. Binalarda iç mekân kalitesi ve buna bağlı olarak öğrenimde verimliliğin arttırılması, sürdürülebilir tasarımın bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle binalar az enerji tüketen yapıda, ancak konforlu olmalıdır. Parasal tasarruf amacıyla sistemlerin kapatılması veya kısıntıya gidilmesi enerji tasarrufu olarak değerlendirilmez. Konfor, “binada yaşayanların büyük bir çoğunluğu için fizyolojik, psikolojik, sosyal ve kültürel rahatsızlıkları en aza indiren bir iç çevre” olarak tanımlanabilir. ASHRAE Standart 55’te konfor şartları, sağlanan koşulların bina içerisinde yaşayan insanların %90’ı tarafından uygun kabul edilen şartlar olarak tanımlanmaktadır. İç mekân kalitesi; iç iklimsel özellikler (sıcaklık ve hava kalitesi), gürültü, aydınlatma, manzara gibi unsurlardan oluşmaktadır. Binalarda iç hava kalitesi parametreleri Çizelge 6. 1’de gösterilmiştir (Çakmanus, 2011).

Çizelge 6.1 Binalarda Tipik Konfor Şartları

Mahal Tipi	Yaz sıcaklık (°C)	Kış sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Mahalde max. hava hızı (m/s)
Otel odaları	25-26	21-22	40-60	0,2
Toplantı Odaları	25	22	40-60	0,2
Çok amaçlı mahaller	25	20	40-60	0,2
Kahvaltı salonu	25	22	40-60	0,2
Cafe	25	20	40-60	0,2
Mutfak	26	18	40-60	0,2
WC	-	18	40-60	0,2
Lobi	25	20	40-60	0,2
VIP Girişi	25	22	40-60	0,2

Çizelge 6. 1’de iç ve dış sıcaklığa bağlı olarak ASHRAE konfor grafiği verilmiştir. Görüldüğü üzere insan sağlığı ve üretkenlik için en uygun sıcaklık 21 – 25°C civarındadır. Bu binadaki enerji simülasyonları bu sıcaklıkların ve iç hava kalitesinin tam olarak sağlanacağı esasına göre yapılmıştır.



Şekil 6.1. ASHRAE konfor grafiği (ASHRAE)

6.2. Enerji Tüketimi ile İlgili Bazı Tanımlamalar

Bu bölümde binaların enerji performansının kısa bir değerlendirmesi yapılmıştır. AB mevzuatında enerji ile ilgili bina içerisindeki teknik özellikleri ve yapılacak işler EN 15603; 2008 standardında verilmiştir. Bu standart genel bir çerçeve belirleyerek, daha detaylı çalışmaların ülkeler bazında yapılması hedeflenmektedir. ISO 52016-1 standardı ise binaların yıllık enerji performansını tanımlayan bir standarttır. Aşağıdaki tanımlamalar buralara dayanmaktadır.

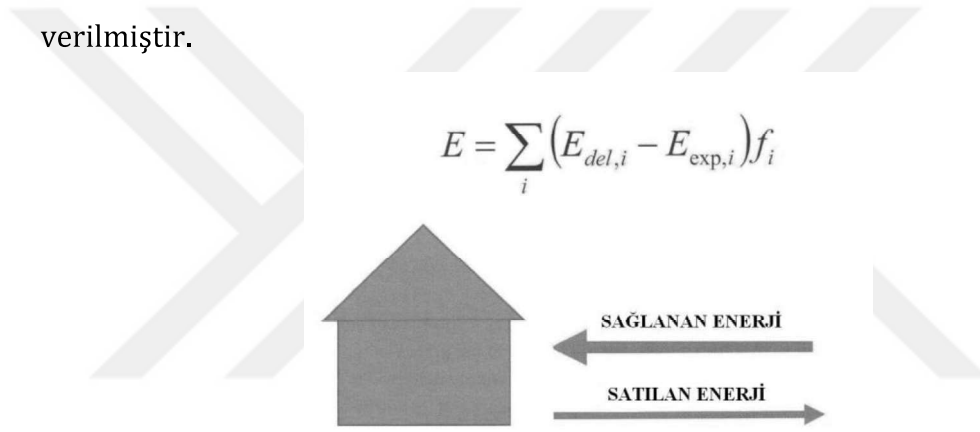
Yenilenemeyen kaynaklar kullanılarak üretilen enerji Primer enerjidir. Binanın tükettiği primer enerjiden kaynaklı CO₂ salınımlarını hesaplamak için kullanılan katsayı CO₂ emisyon kat sayısıdır. Düşük primer enerji kullanan ve binada üretilen yenilenebilir enerjinin belirli bir kısmını satarak yıllık enerji bilançosunu sıfır yapabilen binalara Net sıfır enerjili bina (nZEB) denmektedir. Burada net bilanço olarak primer enerji tüketimi bulunmamaktadır.

Yaklaşık net sıfır enerjili bina (nnZEB) ise Primer enerji tüketimi yaklaşık > 0.0 kWh/m²yıl olan binalar olarak adlandırılmaktadır. Bu durum binada çok az primer (fosil tabanlı) enerji tüketildiği anlamına gelir.

Sistem sınırlarından binaya giren gaz, elektrik gibi enerji miktarlarını sağlanan enerji olarak tanımlanmaktadır. Bu enerji ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak kullanım suyu, aydınlatma ve diğer cihazlar için kullanılmaktadır.

Satılan enerji (EN 15603; 2008) ise bina içinde bulunan sistemlerden elde edilen ve dışarıya aktarılan enerjiyi ifade etmektedir. Net sağlanan enerji (EN 15603; 2008) sağlanan enerjiden dışarıya verilen enerjinin çıkarılması ile kalan enerjidir. Sistem sınırı (EN 15603; 2008) enerji aktivitesini içine alan sınırlardır (Çakmanus, 2011).

Yaklaşık sıfır enerjili bina için sistem sınırı ve net enerji girişi Şekil 6. 2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Sistem Sınırları (Çakmanus, 2011)

Şekil 6.2’de kabul edilebilir düzeyde bir yatırım ile primer enerjinin azaltılması, hangi oranda primer enerjinin yenilenebilir kaynaklardan karşılandığı, gibi hususlar önemlidir. Primer Enerji aşağıdaki denklem ile tanımlanabilmektedir.

$$E = \sum (E_{del,i} f_{del,i}) - \sum (E_{exp,i} f_{exp,i}) \quad (6.1)$$

E ; : Primer enerji tüketimi,

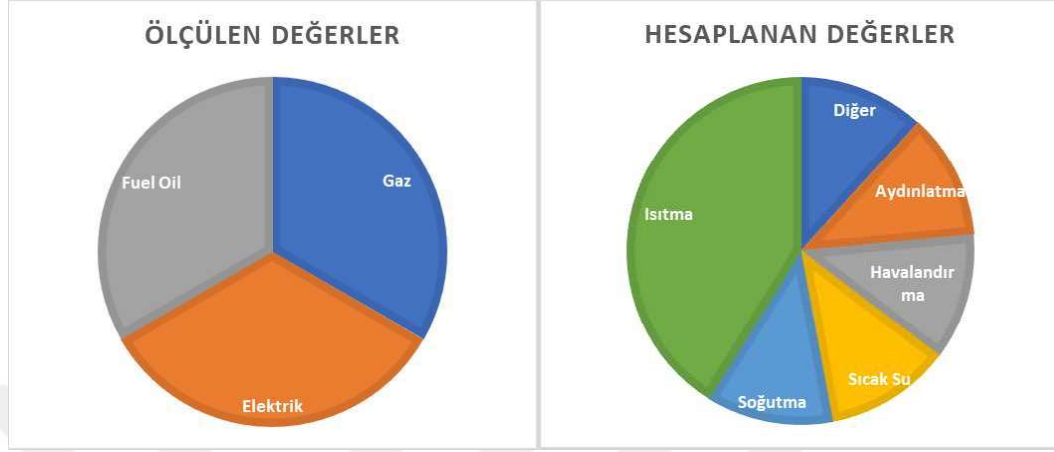
$E_{del,i}$: i tipindeki enerji temini,

$E_{exp,i}$: i tipinde enerji satışı,

$f_{del,i}$: i tipinde satın alınan enerjinin katsayısı,

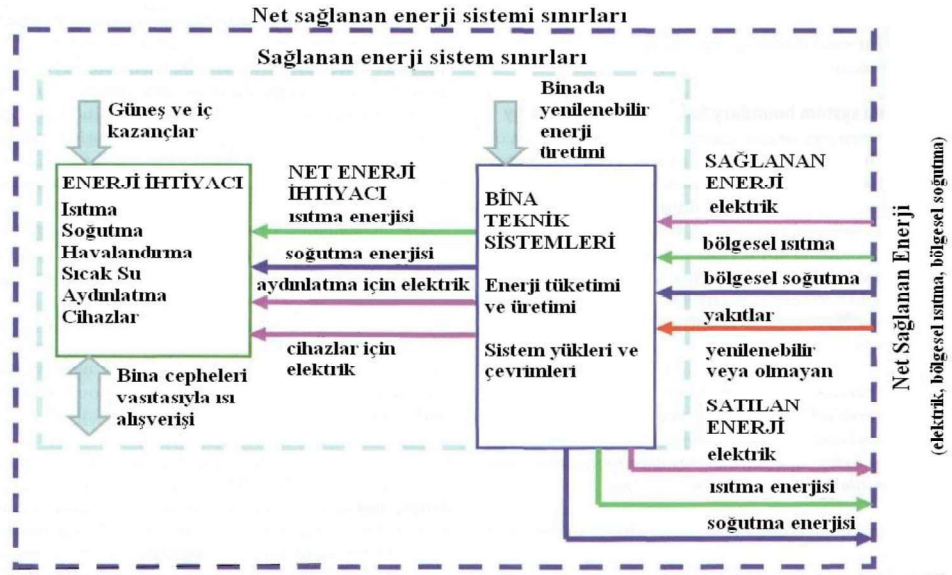
$f_{exp,i}$: i tipinde satılan enerjinin katsayısı.

Bir binanın ısıtma, soğutma, sıcak su, havalandırma, aydınlatma ve diğer yüklerden oluşan enerji ihtiyacı ile bunları karşılamak üzere kullanılan örnek enerji kaynakları Şekil 6. 3'te görülmektedir.



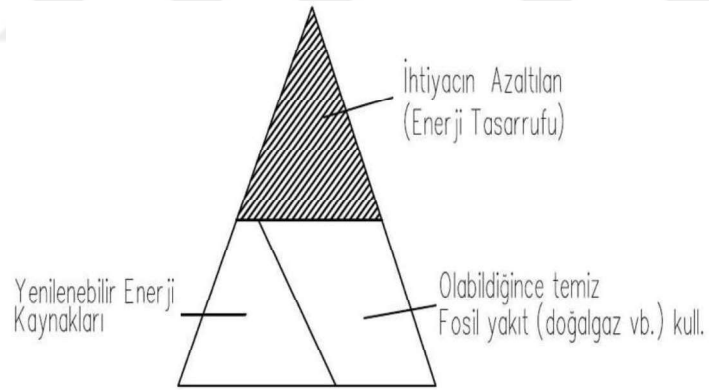
Şekil 6.3.Bina enerji ihtiyacının karşılamak üzere kullanılan enerji (Çakmanus, 2011)

Sistem sınırları içinde kayıplar dikkate alınırken, sistem sınırı dışında dönüşüm faktörü (primer enerji dönüşüm faktörü) şeklinde dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda EN standartları güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını enerji balansı için yardımcı enerji kaynağı olarak değerlendirmektedir. Yenilebilir enerji binanın net enerji ihtiyacından çıkarılarak fosil yakıt tüketimi hesaplanmaktadır. Bina enerji tanımlamaları, bina sınırları ve enerji tüketim ilişkileri ise Şekil 6. 4'te görülmektedir.



Şekil 6.4. Bina enerji sınırları ve tanımlamalar (Çakmanus, 2011)

Enerji verimliliğini ve yenilenebilir enerjinin kullanım oranını arttırmak için binalarda öncelikle enerji ihtiyacı azaltılmalıdır. Bu durum Şekil 6. 5'te gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Binalarda fosil tabanlı enerji tüketiminin azaltılması

Binanın enerji ihtiyacı, bina içindeki ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su, aydınlatma ve diğer yüklerin toplamından oluşur ve yıl boyunca değişiklik göstermektedir. Isıtma için enerji ihtiyacı genelde ısı kayıplarından ve havalandırma havasının iklimlendirilmesi, sıcak su ihtiyacı ve varsa proses gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Isıtmadaki net enerji ihtiyacı;

$$E_{\text{net}} = (E_{\text{ihtiyaç}} - Q_{\text{kazanç}})$$

$$(6.2)$$

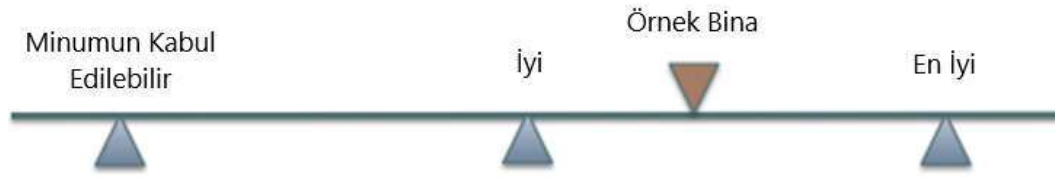
şeklinde hesaplanmaktadır. Burada E_{net} ; ısıtmadaki net enerji ihtiyacını, $E_{ihtiyaç}$; Enerji ihtiyacını, $Q_{kazanç}$; Isı kazançlarını belirtmektedir. Enerji ihtiyacı azaltıldıktan sonra kalan ihtiyaç, ilk yatırım bedellerine ve binanın kullanım amacına bağlı olarak ısı pompası, yenilenebilir enerji teknolojileri, fosil tabanlı kaynaklardan temin edilmektedir.

6.3. Bina Enerji Performansı Değerlendirmesi

Bir binanın enerji performansı (su verimliliği, enerji, çevresel etkiler, ulaşım, konfor vb.) göreceli bir kavramdır ve aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- Yönetmelik ve standartlara göre minimum kabul edilebilir performans,
- Yönetmelik ve standartlara göre iyi bir performans,
- Yönetmelik ve standartlara göre en iyi performans.

Performans seviyesi Şekil 6. 6'daki gibi gösterilebilir.



Şekil 6.6. Bina enerji performans seviyeleri

Binanın enerji performansı, söz konusu olan binanın yıllık m^2 başına düşen enerji tüketim miktarının, referans binanın yıllık m^2 başına düşen enerji tüketim miktarı ile binanın yıllık m^2 başına düşen CO_2 salım miktarının, referans binanın yıllık m^2 başına düşen CO_2 salım miktarı ile kıyaslanmasıyla belirlenmektedir. Binaın enerji performansının, binanın enerji tüketimine göre hesaplanması aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır.

$$E_p = 100(E_{Pa} - E_{Pr}) \quad (6.3)$$

Burada;

E_p : Binaın enerji performansını ($kWh/m^2yıl$),

E_{Pa} : Asıl binanın m^2 başına düşen enerji tüketim miktarını,

E_{Pr} : Referans binanın m^2 başına düşen enerji tüketim miktarını, ifade etmektedir.

CO_2 salınımına göre binanın enerji performansı;

$$E_{p,seg} = 100 (SEG_a/SEG_r) \quad (6.4)$$

Burada;

$E_{p,seg}$: Binanın yıllık m^2 başına düşen CO_2 salım miktarını ($kg.CO_2/m^2.yıl$)

SEG_a : Asıl binanın yıllık m^2 başına düşen CO_2 salım miktarını,

SEG_r : Referans binanın yıllık m^2 başına düşen CO_2 salım miktarını, ifade etmektedir.

Referans bina ile aynı değerlere sahip bir binanın E_p değeri 100'dür ve D sınıfının üst sınırına yerleşmektedir. Çizelge 6.2'de E_p değerlerine göre sınıflandırmayı göstermektedir. Sınıflandırma, enerji tüketimi için ve CO_2 salınımı için ayrıdır, iki sınıflandırma için de aynı çizelge kullanılmaktadır. Çizelge 6. 2'de Türkiye Binalarında Enerji Performans (BEP) Yönetmeliği Ek 5a ve 5b'yi referans almaktadır.

Çizelge 6.2. E_p Değerlerine göre enerji sınıfları

Enerji sınıfı	E_p aralıkları
A	0-39
B	40-79
C	80-99
D	100-119
E	120-139
F	140-174
G	175-...

Referans binada bina kabuğu TS825'teki U değerlerini esas almaktadır. Binanın türüne göre mekanik tesisat asgari özellikleri değişkenlik göstermektedir. Örneğin konutlarda soğutma ve mekanik havalandırma zorunlu değildir.

7. BİR BİNANIN ENERJİ MODELLEMESİ

Enerji verimliliği çalışmalarında enerji tasarruf potansiyelinin ortaya konulabilmesi ve VAP sürecine dönüştürülmesi için mutlaka Uluslararası Laboratuvarlarca onaylı enerji simülasyon programı kullanılması ve yapılacak tasarrufların olanaklar ölçüsünde bu şekilde belirlenmesi istenmektedir.

Mevcut ve önerilen sistemlerin enerji verimliliği farkını tespit edebilmek için LEED, ASHRAE gibi kurumlar tarafından sonuçları güvenilir olarak değerlendirilen CARRIER HAP, EDSL TAS, Design Builder gibi simülasyon programları kullanılabilir. Bu süreçte, sistem ve kontroller için bir simülasyon modeli oluşturularak binanın ve tesisin birleşik simülasyonu hava debilerini, ekipman büyüklüklerini, ekipman ve tesis bağlamında enerji tüketimini otomatik olarak vermektedir. Bu binanın enerji modellemesi CARRIER HAP 5.1 programı kullanılarak yapılmıştır.

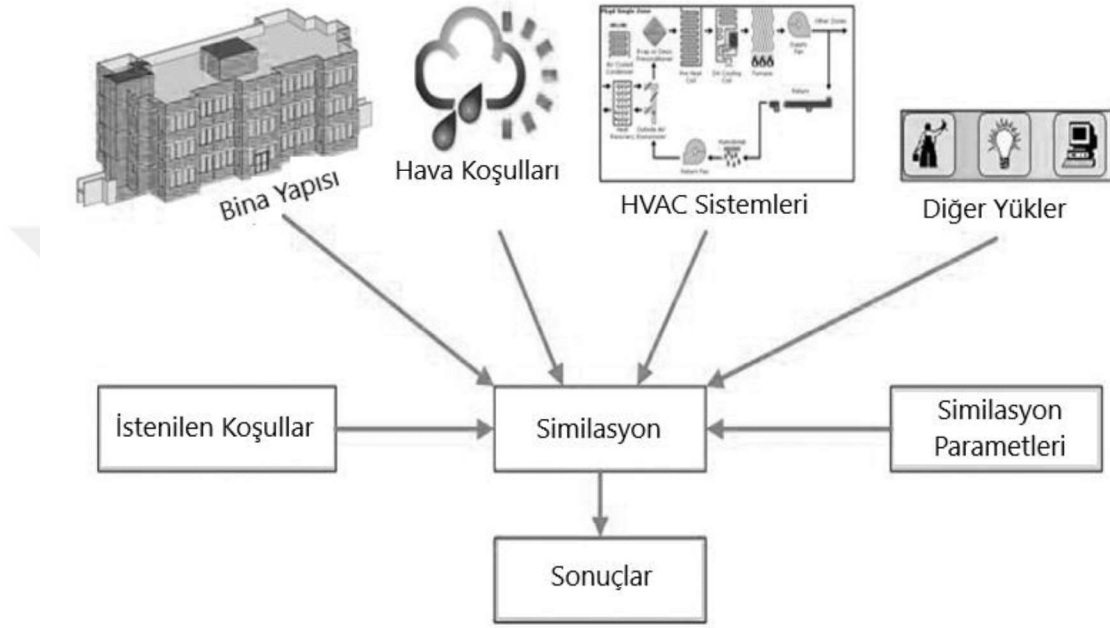
7.1. Enerji Modellemesi

Yeni binalarda ve mevcut binalarda enerji performansının tahmini ve kontrol edilmesinde en büyük yardımcı araç bina enerji simülasyon programlarıdır. Bu programlar ile;

- Yeni binalar konforlu ve enerji verimli biçimde tasarlanabilir,
- Mevcut binaların enerji tüketimlerinin kontrolünde benchmark oluştururlar,
- Mevcut binalarda yapılması önerilen güçlendirilmeyle ve enerji verimliliğini artırıcı öneriler ile binanın yıllık enerji tüketimi hesaplanarak, önerilecek sistemin ne kadar yarar sağladığı ortaya konulabilir.

Bilgisayar ortamında kullanılan simülasyon programları ile yeni bina tasarımı, mevcut binaların yenileme esnasında binaların enerji performanslarının ortaya konulmasında kullanılan araçlarından. Enerji simülasyonu tasarım

aşamasında bir danışmanlık maliyeti getirmesine rağmen binanın yıllık enerji tüketiminin optimize edilebilmesi ve konfor performansının tasarım aşamasında çözümlenmesi olarak sağlamaktadır. Simülasyon programlarının genel veri akışı Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Hava durumu, bina işletim stratejileri, bina geometrisi, bina makina sistemleri, bina yükleri ve diğer parametreler simülasyon için gerekli işleminden geçirilmesi ile istenilen sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 7.1. Bina enerji simülasyonu programlarının genel yapısı

Tasarım geliştirilerek bina sistemleri detaylandırılır. Bu aşamada sistemde kullanılan makinaların özelliklerinin belirlenmesi, taşıyıcı sistemin tasarlanması yapılmaktadır. BIM uygulamaları, klasik analiz metotlarına oranla bilgi girişini kolaylaştırılarak ve kısa süre içinde analiz sonuçlarını alınabilmektedir. Bina analiz programlarında bina yapısı, kullanılan malzemelerin yapısal özellikleri ve yüklerin kullanacağı enerji hakkındaki bilginin yoğun bir şekilde ön işlemlerden geçirilmesini gerektirmektedir.

7.2. Enerji Modellemesinde Kullanılan Bilgiler

Simülasyon programına dış hava verileri, bina mimarisi, çalışma saatleri, iç iklimsel koşullar, zonlar, cam cephe, tavan, duvar, taban U değerleri, ısıtma,

soğutma sistem teknik özellikleri, HVAC sistemleri, aydınlatmadan ısı kazançları, insanlardan ısı kazançları veri olarak girilmektedir. Simülasyon programları yeni tasarlanan veya mevcut bir binada restorasyon aşamasında iç mahal konforunu sağlamak için oluşan enerji talebini belirlemek üzere bina simülasyonuna kullanılacak ekipmanları belirleyerek ve farklı ısıtma/soğutma senaryolarını karşılaştırma olanağı veren ve bunları farklı cephe tasarımlarında yapmaya olanak sağlamaktadır. İlk adım için binanın geometrik tasarımı ile başlanmaktadır.

1. Adım Geometri

Yapının üç boyutlu modeli oluşturulduktan sonra zonlar oluşturulur. Bir zon, bir ofis, bir daire, bir giriş holü, ya da bir bekleme alanı olabilir ve buraların iç koşulları, istenilen iklimlendirme koşulları ve hava değişimleri belirlenir.

2. Adım İç Koşullar/Isıtma yükleri

Bir binadaki insan sayısı, ısı konfor gereksinimleri, iç hava kalitesi gereksinimleri, kullanım biçimi gibi bilgiler iç koşulları oluşturur.

3. Adım Simülasyonda Kullanılan Bilgiler

Simülasyon programına bina mimarisi, zonlar, cam cephe, duvar, tavan, taban U değerleri, dış hava verileri, iç iklimsel koşullar, çalışma saatleri, aydınlatmadan kaynaklı ısı kazançları, insanlardan kaynaklı ısı kazançları, kazan, chiller teknik özellikleri, HVAC sistemleri veri olarak girilmiştir. Bu verilere ilişkin bazı bilgiler aşağıda verilmektedir (Çakmanus 2011).

Dış hava verileri;

Yıllık olarak 8760 saatlik dış hava verileri;

- Dış hava sıcaklıkları,
- Global ve difüzyon güneş radyasyonu değerleri,

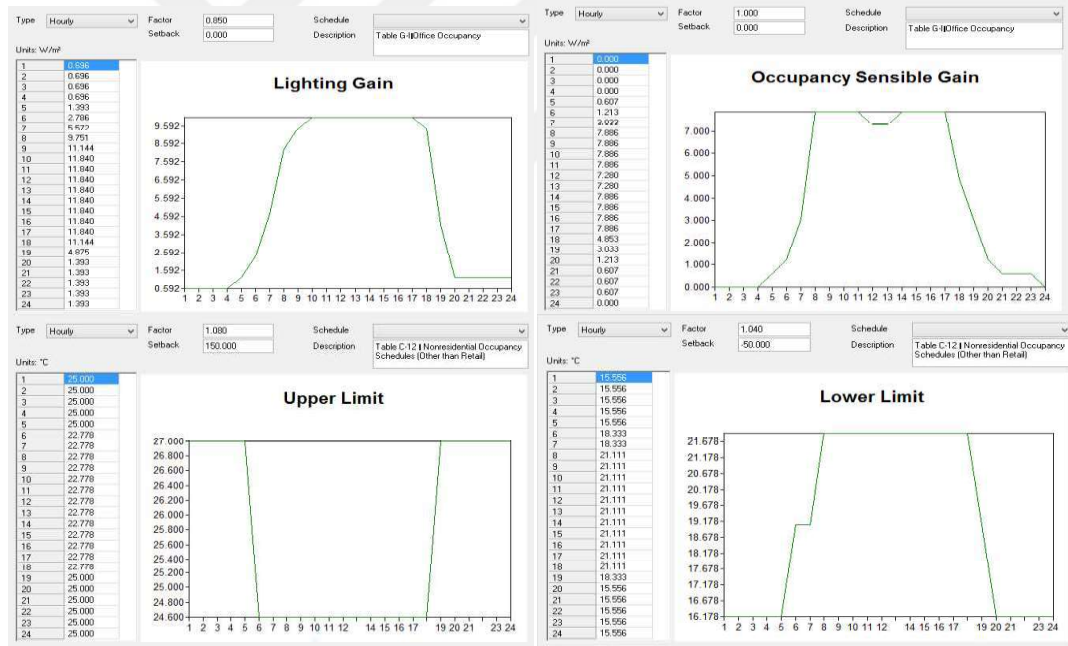
- Rüzgar yönü ve hızı.
- Bağlı nem değerleri,
- Bulutluluk oranları,

Bina kaplama özellikleri;

Bu bina enerji simülasyonunda bina kabuğu ısı değerleri veri olarak girilir.

İç mahal özellikleri;

İç mahallere ait iç iklimsel koşullar için EDSL TAS Programının kütüphanesindeki değerler, CARRIER HAP programı için ise ASHRAE standartları kullanılmıştır. Bunlara ilişkin örnekler Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2. Modellemede kullanılan iç koşullara örnekler (Çakmanus, 2011)

Zonlama

Analizler sırasında ısı zonlamaları yapılması gerekmektedir. Zonlama, mahallerin cephelerinin baktığı yönler, dış zon (cepheden 4-5m’ye kadar olan bölüm) veya iç zon (cephesi olmayan mahaller), iç yükler (insan sayıları, aydınlatma, priz

yükleri ve proses yükleri vb.), kullanım şekil ve saatlerinin farklı olmasına bağlı olarak seçilmektedir. Şekil 7.3'te bina geometrisine bağlı olarak seçilen zonlama örnekleri görülmektedir.



Şekil 7.3. Katlara ait enerji modellemede zonlama

Yapı elemanlarının ısı özellikleri

Seçilen yapı malzemelerin ısı özellikler programa veri olarak girilmektedir. Buna ilişkin örnekler Şekil 7.4'de verilmiştir.

Opaque Construction Name: No Framing R-25.0 Description: 8in. Medium Weight 115 lb/ft3 Concrete Block Wall: Solid Grouted

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance (W/m²·°C)	Time Constant
Ext. Surf.	Int. Surf.	External	Internal		
0.650	0.400	0.900	0.900	0.35	5.683

Layer	M-Code	Width (mm)	Conducti...	Convecti...	Vapour D...	Density (...)	Specific ...	Description
1	Gypsum board-below g...	12.7	0.161	0.000999	11.000	800.923	1088.57	Appendix A, TABLE A9...
2	Glass Fibre Insulation	100.0	0.038	0.0	2.880	11.998	104.67	Glass Fibre, R-6 at 1.6 in.
3	Concrete Block SG 11...	203.2	1.315	0.001	14.800	1842.12	912.723	Density 115, lb/ft3 Solid...

* layer ignored in U-Value/R-Value Calculation

U/R Values (ISO 6946) (Homogenous)

Flow Direction	Internal U Value (W/m²·°C)	External U Value (W/m²·°C)
Horizontal	0.321	0.33
Upward	0.327	0.333
Downward	0.313	0.326

Show U Values
Show R Values

Additional Heat Transfer: 0.0% F-Factor: 0.0 W/m²·°C

Şekil 7.4. Modellemelerde kullanılan yapı elemanları örnekleri (Çakmanus, 2011)

Haftalık çalışma saatleri

Binanın tipine göre (otel, iş yeri vb.) günlük ve haftalık çalışma saatleri programların kütüphanesinden alınabilir veya özel olarak kullanıcı tarafından oluşturulur. Tipik çalışma saatleri Şekil 7.5'te verilmektedir.

Calendar

Day Types: ☒ Weekday ☐ Saturday ☐ Sunday ☐ Heating Design Day ☐ Cooling Design Day

View: ☒ Day Types ☐ Day Numbers ☐ Dates ☐ Shading

Name: Hilton Calendar

Description:

Week	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
1	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Saturday	Sunday
2	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Saturday	Sunday
3	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Saturday	Sunday
4	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Saturday	Sunday
5	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Saturday	Sunday
6	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Saturday	Sunday
7	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Weekday	Saturday	Sunday

Şekil 7.5 Tanımlanan takvimin genel görünümü (Çakmanus, 2011)

4. Adım HVAC sistem tanımlamaları

Farklı ısıtma ve soğutma senaryolarının faydalarını karşılaştırmak için simülasyonlar yapılmaktadır. Bu sayede ısıtma, aydınlatma ve varsa diğer sistemler incelenmektedir. Özellikle konforsuz yaz ve kış performanslarını belirlemek için tipik hava koşulları araştırılır.

5. Adım İç yüklerin tanımlanması

Enerji simülasyonlarında binadaki insan sayıları, yanında aydınlatma yükleri, priz yükleri, yardımcı ekipmanlar (bilgisayarlar, fax, printer vb.), ekipmanlar (fan, pompa vb.) ve bu ekipmanların kontrol edilme süreçleri gibi hususlar da veri olarak girilmesi gerekmektedir.

7.3. Otelin Enerji Modellemesi

Bu binanın enerji modellemesi Carrier HAP 5.1 programı ile yapılmıştır. Burada sezon boyunca iç ısıl konforun sağlandığı kabul edilmiştir. Programa veri girişleri ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Aşağıdaki çizelgelerdeki bilgiler tüm sonuçların özetleri olup tüm çıktılar ayrıca klasörlerde verilmiştir. Binanın simülasyon programına girilen veriler ve verilerin sonuçları Ek A kısmında verilmiştir. Buna ilave olarak programdan elde edilen sonuçlar da Ek B kısmında verilmiştir. Ek B. 1’de binanın aylık olarak ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimleri görülmektedir. Ek B. 3’te binanın tesisat merkezinin (merkezi sistemden beslenen doğalgaz enerjisi, ana elektrik panosunda soğutma için elektrik enerjisi), aylık ısıtmanın, soğutmanın, havalandırma fanlarının ve aydınlatmanın enerji tüketimleri görülmektedir. Ek B. 4’te Görüldüğü üzere ısıtma enerji tüketimi ağırlıklı olarak Aralık – Şubat döneminde gerçekleşmektedir. Diğer aylar için tüketimin büyük bir oranını kullanım sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Ek. B. 5’te görüldüğü üzere ise camlardan gelen güneş radyasyonu ve insan ısı kazançları gibi etkilerle soğutma yükü oluşmaktadır, ancak bu dönemdeki yükler soğutma sisteminin çalıştırması için yeterli değildir.

Fakat Nisan, Mayıs ve Ekim aylarında ise soğutma sisteminin çalışmasını gerektirecek kadar soğutma yükü oluşmaktadır.

Çizelge 7.1’de binanın yıllık enerji tüketimlerinin miktarı ve bu enerji tüketimlerinin mal olduğu ücret tutarları dolar bazında görülmektedir.

Çizelge 7.1. Yıllık enerji tüketimleri icmalı

LEED 2009 EA Credit 1 Optimize Energy Performance Summary Report

190420_NIHAL_ISILAK_TEZ

OLIMPOS DANISMANLIK ENERJİ LTD. STİ.

06.22.2019

11:07

Performance Rating Energy Consumption and Cost by Fuel Type - Performance Rating Method Compliance

Energy Type	Site Energy Units	Baseline		Proposed		Percent Savings	
		Site Energy Use (Units shown per energy type)	Cost(\$)	Site Energy Use (Units shown per energy type)	Cost (\$)	Site Energy Use	Cost
Electric	kWh	0,0	0	420.907,4	42.091	n/a	
Natural Gas	kWh	0,0	0	518.686,4	11.411	n/a	
Energy Model Subtotal	kWh	0,0	0	939.615,3	53.502	0,0%	0

Çizelge 7.1’de görüldüğü üzere binanın yıllık olarak elektrik tüketimi 420907 kWh, 112 kWh/m²yıl olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada binanın elektrik tüketimlerinin azaltılmasına yönelik bir işlem yapılmayacaktır fakat arzu edilirse binanın çatısına bütçe olanakları dâhilinde güneş enerji PV sistemi kurulabilir.

Binanın yıllık doğal gaz tüketimi 518686 kWh, 138 kWh/m²yıl olarak görülmektedir. Bu değer İzmir iklimi ve otel cinsi bir yapı için makul seviyededir. Doğal gaz tüketiminin azaltılması için mimaride kapalı olan binanın güney cephesine güneş hava kolektörü tasarlanmış ve bu sistem hava kanalları ve bir klima santrali vasıtasıyla binanın ısıtma sistemini desteklemesi sağlanmıştır. Bu sistemden maksimum fayda sağlamak için binadan kazana dönüş suyu sıcaklığının ve sisteme gidiş suyu sıcaklığının binada konforu bozmamak kaydı ile mümkün olduğunca düşük olması gerekmektedir. Bu bağlamda radyatörler ve kazan için su rejimi 50 ila 40 °C ’ye göre seçilmiştir. Dış havanın sıcaklığı 5 ila 15 °C arasında olduğu dönemlerde gidiş suyu sıcaklığı daha da düşürülebilecek ve güneş hava kolektörlerinden yararlanabilme ve binanın ısıtma ihtiyacının bu sistemden karşılanma oranı artacaktır. Sıcak kullanım suyunun sıcaklığı 45 ile 50

°C arasındadır kazan çıkış suyu sıcaklığı 50 °C altına düştüğü dönemlerde boyler hattına seri bağlı bir elektrikli ısıtıcı devreye girecektir.

Binanın yıllık CO₂ salınım miktarı 1386521 kgCO₂/yıl olarak hesaplanmıştır. Binaya güneş hava kolektörleri eklendiğinde yenilebilir enerji kaynağı kullanılmış olup fosil tabanlı enerji tüketimi hem miktar hem de parasal olarak düşecektir. Ayrıca kullanılacak yenilebilir enerji sistemi CO₂ salınımını da azaltacaktır.

Burada yapılan simülasyondan binanın yılın tüm saatleri için ısıtma enerjisi ihtiyacı listesi de elde edilmiştir. Ek B. 6'da Binaın Aralık ayı ve Ocak ayına ait saat bazında enerji ısıtma için gerekli olan enerji miktarları görölmektedir.

olduğu pompa da (P3) çalışmayacaktır. Bu dönemde güneş hava kolektöründe yeterli sıcaklık olduğunda P4 boyler pompası ile F1 fanı ve P2 pompası çalışacaktır.

8.2. Çalışmada Seçilen İlin Coğrafi ve İklimsel Özellikleri

Çalışmada seçilen İzmir bölgesinin coğrafi özellikleri ve güneş ışınlamı verilerinin bilinmesi gerekmektedir. İzmir ilinde Akdeniz iklimi hakimdir. Yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları ılık ve bol yağışlı, bahar ayları ise geçiş özelliği göstermektedir. Günlük güneşlenme potansiyeli yüksektir.

Çizelge 8.1. İzmir için ortalama aylık dış hava sıcaklığı değerleri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019)

AYLAR	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
Dış Hava Sıcaklığı (°C)	8.7	9.5	11.6	15.8	20.8	25.5	28.0	27.6	23.6	18.7	14.1	10.4

8.3. Örnek Otel Bina Bilgileri

Referans bina katlarındaki otel odalarının ve ortak kullanım alanlarının ısıtma ihtiyacı 4 farklı sistem kullanıldığı düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 8.2. İzmir ilinde butik otel olarak kullanılacak binanın kat planları (zemin kat, asma kat, normal katlar)

Ele alınan binanın proje kat planları şekil 8.2’de verilmiştir. Referans binanın kullanım amacı işletmedir. Binanın ısıtılması için öngörülen 4 sistemde kullanılan enerji kaynakları; radyatörlü ve döşemeden ısıtma sistemleri için doğalgaz kullanılmış diğer sistem olan su kaynaklı VRF ısıtma sistemi R4-10A soğutucu akışkan kullanılmış tam havalı iklimlendirme sistemi için taze hava kullanılması varsayılmıştır. Bina iç hava sıcaklığı konfor değeri ısıtma sistemleri için 22°C olarak alınmıştır. Çalışmada var olan ısıtma sistemine entegre edilecek tasarım olarak binanın güney cephesine “güneş hava kolektör sistemi” uygulaması ile sistemi desteklemesi varsayılmıştır. Bu varsayımda, güneş hava kolektör sistemi uygulanan mahallerde sezon boyunca iç ısı konforun sağlandığı kabul edilmiştir (Yasan S.A., 2011). Varsayılan bu durumun ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri Carrier HAP 5.1 programı ile hesaplanmıştır.

Çizelge 8.2. Sistem içerisindeki yapı elemanlarının ve pencerelerin yüzey alanları

Yapı Elemanlarının Yüzey Alanları	
Dış duvar, kolon ve giriş toplam alanı	690,09 m ²
Dış duvar- Dolgu (BİMS) alanı	1287,08 m ²
Toprak temaslı duvar alanı	434,91 m ²
Toprak temaslı taban alanı	600,00 m ²
Üzeri açık tavan (Teras)	617,00 m ²
Açık geçit üzeri taban alanı	32,00 m ²
Dış kapı alanı	19,69 m ²
Çatı Alanı	0,00 m ²
Pencere Yüzey Alanları	
Güney ve ön cephe	0,00 m ²
Kuzey ve Arka cephe	319,93 m ²
Batı ve Sol cephe	120,88 m ²
Doğu ve Sağ cephe	102,08 m ²
Toplam pencerelerin alanı	542,89 m ²
Bina yüksekliği	20,50 m
Bina brüt hacmi	12300,00 m ³

Yukarıdaki çizelgede binanın pencere ve yüzey alanları ve bina brüt hacim bilgileri verilmiştir. Binanın ısıtma yapılacak kullanım alanı 3750 m²’dir. Katlara ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir;

- 1-2-3-4. katlar: her katın alanı 558,41 m² olup, 36 odayı kapsamaktadır.

- Zemin kat: 558,41 m² olup, ortak kullanım alanlarını kapsamaktadır.

Burada oturma salonu, yönetim odası, lobby, çocuk oyun alanı, personel dinlenme odası bulunmaktadır.

- Asma kat: 440,3 m² olup, ortak kullanım alanlarını kapsamaktadır.

Burada televizyon salonu, kahvaltı salonu, kahvaltı ofisi, çocuk bakım alanı bulunmaktadır.

- Bodrum Kat: 558,41 m² olup, su ve hidrofor odası, depolar ve sığınak

bulunmaktadır.

Bütün katlarda asansör holü, lavabo, WC, yangın merdiveni bulunmaktadır.

8.4. Otelin Enerji Yüklerinin Belirlenmesi

8.4.1. Isı Yükü Hesabı

Binanın ısı kaybı hesabı yapılırken tüm mahallerin duvarlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen, pencere ve kapıların boşluklarından sızıntı yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları hesaplanarak toplam ısı kaybı bulunur.

Isıtma yapılacak binanın ısı kaybı hesap çizelgesi hazırlanır. Buradaki hesaplarda mahallerin belirlenen sıcaklıkta sabit kalabilmesi için gerekli ısı yükü bulunur. Odadan dışarıya kaybedilen ısı miktarı kadar hesaplanan saatlik ısı kaybı odaya verilmelidir (Karakoç, 2006).

İletim ve taşınım yoluyla kaybolan ısı

$$Q_o = AUT \quad (8.1)$$

Q: Bir ortamdan diğer ortama geçen ısı miktarı (W)

U: Yapı bileşeninin toplam ısı geçiş katsayısı(W/m²K)

A: Bina bileşeninin yüzey alanı (m²)

T: Bina bileşeninin iki tarafındaki sıcaklık farkı (K)

Şekil 8.3. İletim ve taşınım yoluyla ısı transferi (Karakoç, 2006).

T_1 sıcaklığından duvara doğru ısı geçişi gerçekleşmektedir. T_{y1} sıcaklığı duvar iç yüzeyinden T_{y2} sıcaklığındaki duvar dış yüzeyine doğru iletimsel

lığından duvara doğru ısı geçişi gerçekleşmektedir. T_{y1} sıcaklığı

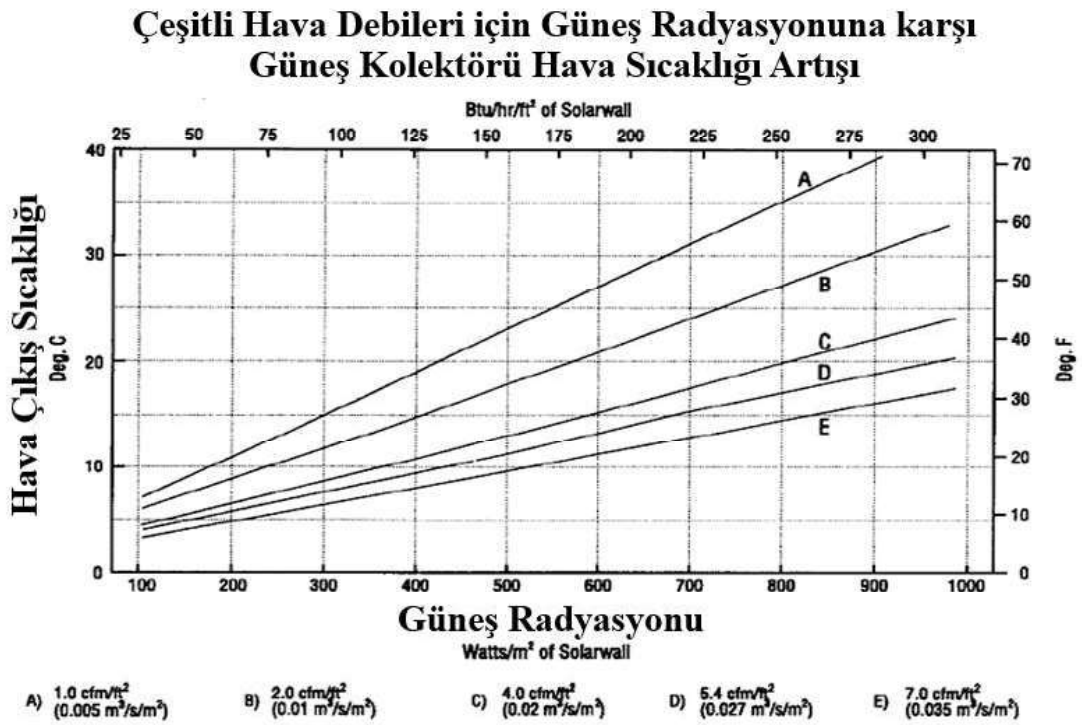
$$Q_s = \sum(a.\ell)RHTZe \text{ (kcal/h)} \quad (8.2)$$

T: İç ve dış sıcaklıklar arasındaki fark ($^{\circ}\text{C}$)

Ze: Köşe açıklıkları etki katsayısı

Odanın ısı kaybı iletim ve taşınım yoluyla olan kayıplar ve sızıntı yoluyla olan kayıpların toplamına eşittir (Karakoç, 2006).

Güneş hava kolektöründen geçen hava debisinin hesaplanmasında Şekil 8.4.'de kolektör çıkış hava sıcaklığına bağlı hava debisi eğrisi verilmiştir



Şekil 8.4. Güneş hava kolektöründen geçen hava debisine bağlı olarak çıkış havası sıcaklık artışı

Şekil 8.4.'te görüldüğü üzere kolektörden geçirilebilecek hava debisi 20 m³/h.m² ile 140 m³/h.m² arasında değişmektedir. Güneş hava kolektörü üzerinden geçirilen hava debisi arttıkça hava çıkış sıcaklığı düşmektedir. Bu binada düşünülen 500 m²'lik Güneş hava kolektöründen 30000 m³/h (60 m³/h.m²), 20000 m³/h (40 m³/h.m²), 10000 m³/h (20 m³/h.m²) hava debileri için elde edilebilecek hava çıkış sıcaklıkları hesaplanmıştır. Kolektör hava çıkış sıcaklığının olabildiğince yüksek olabilmesi için nihai hesaplarda hava debisi 10000 m³/h alınmıştır (aşağıdaki diğer 4 farklı ısıtma sistemlerinde de bu değer

esas alınarak sonuçlar elde edilmiştir). Havalı güneş kolektörü açık sistem olarak incelenir.

Enerji dengesi, sürekli rejim şartlarında şu şekilde ifade edilmektedir;

$$Q_u = \rho \times V \times C_p (T_c - T_g) \quad (8.3)$$

Q_u = Kolektörden alınan kullanılabilir enerji (W)

ρ = Havanın debisi (kg/m^3)

C_p = Havanın sabit basınçtaki özgül ısısı (J/kgK)

Eşitlik (8.3)'teki havanın kütleli debisi ve hacimsel debi ifadesi

$$\dot{m} = v \rho \quad (8.4)$$

$$v = A u \quad (8.5)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitliklerdeki;

v : Hacimsel debi (m^3/sn)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

A : Alan (m^2)

u : Havanın hızı (m/s)' dır.

Güneş hava kolektörün kullanım amacı tüketimi azaltarak verim elde etmektedir. Verim kolektörden toplanan kullanılabilir enerjinin, aynı sürede kolektör yüzeyine dik olarak gelen güneş enerjisine oranı olarak tarif edilmektedir.

$$\eta = \frac{Q_u/A_c}{G_T} \quad (8.6)$$

$$\eta = \frac{m_{cp} (T_c - T_g)}{G_T A_c} \quad (8.7)$$

biçiminde de ifade edilebilir. Burada, η verimi göstermektedir (Turgut,1995).

Binanın toplam ısı yükü Carrier HAP 5.1 programı ile hesaplanmış ve binanın toplam enerji ihtiyacı programdan kullanılmıştır. Güneş hava kolektörünün sisteme katkısına hesaplanan veriler aşağıda ısıtma sistemleri kısmındaki çizelgeler de verilmektedir.

İşlem adımları;

1. Çizelgede referans binanın toplam günlük ve saatlik ısı yükünü vermektedir. Buradaki bilgiler Carrier Hap 5.1 programından alınmıştır.
2. Her bir sistem İzmir ili için -3°C dış hava sıcaklığına bağlı olarak sistem giriş ve çıkış sıcaklıkları belirlenmiştir.
3. Bina güney cephesinde dikeye düşen toplam güneş radyasyonundan elde edilen termal enerji değerleri hesaplanmıştır.
4. Kolektör yüzey alanına düşen güneş radyasyonu değerleri hesaplanmıştır.
5. Kolektör yüzey alanına düşen güneş radyasyonu değerlerinden havaya aktarılan toplam termal enerji hesaplanmıştır.
6. Güneş hava kolektöründen geçmesi istenilen $30000\text{ m}^3/\text{h}$, $20000\text{ m}^3/\text{h}$ ve $10000\text{ m}^3/\text{h}$ hava debilerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Hava çıkış sıcaklıklarının istenilen değere en yakın olan $10000\text{ m}^3/\text{h}$ hava debisi seçilerek kolektör hava çıkış sıcaklıkları hesaplanmıştır.
7. Dört farklı ısıtma sistemine entegre edilmesi planlanan güneş hava kolektöründen ısıtma sistemine transfer edilecek toplam termal enerji hesaplanmıştır. Burada negatif sonuçlar çıktığı görülmektedir. Sistem dönüş sıcaklığının kolektör havası çıkış sıcaklığından yüksek olduğu zamanlarda bu değerler negatif çıkacaktır. Negatif çıkan değerler hesaba katılmamıştır.
8. Güneş radyasyonunun sıfır olduğu gece saatlerinde nadir olsa da çıkabilecek pozitif değerler hesaba katılmamıştır.
9. Güneş radyasyonu değerlerimiz sisteme aktarılan termal enerjiden büyük veya eşit olması gerekmektedir. Bu sonuca göre daha çok yaz aylarında karşılaşılan termal yüklerin fazla olması durumunda bu değerler güneş radyasyonu değerlerine eşitlenerek hesaplanmıştır.
10. Güneş radyasyonundan alınan termal enerji toplam saatlik ısı yükünden daha fazla olmamalıdır. Bu sebeple sistemin ihtiyacı kadar olan ısı yükü

hesaplanmıştır. Nihai olarak güneş hava kolektöründen yararlanılan net enerji bulunmuştur.

8.5. Otel için öngörülen ısıtma sistemleri

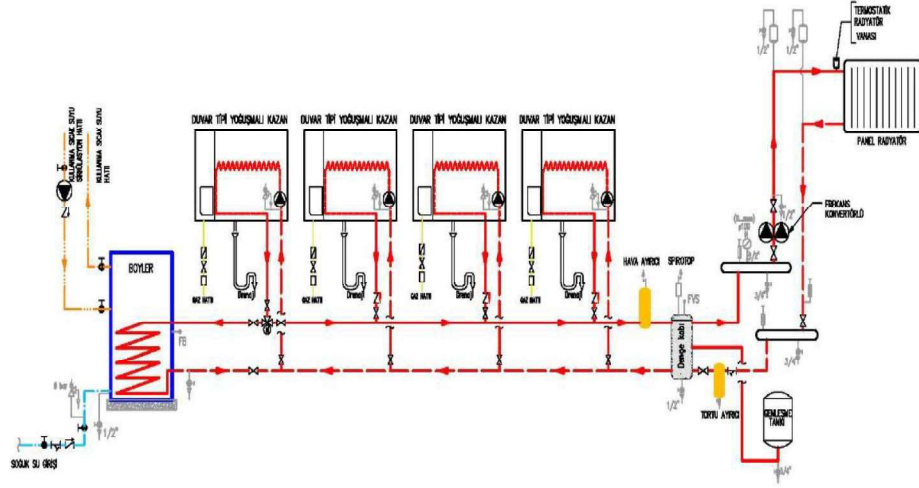
Isıtma sistemi seçimi ve projelendirilmesi ısı kaybı hesaplarından sonra yapılmaktadır. Isıtma sistem seçiminde elde edilmesi gereken bilgiler aşağıdaki gibidir;

- Sistemin Isı Yüğü (kcal/h)
- Çalışma basıncı (mSS)
- Sıcak su gidiş ve dönüş sıcaklıkları
- Kullanılacak yakıtın cinsi

bilgiler doğrultusunda sistemin verimliliği araştırılmıştır (Aybers,2010).

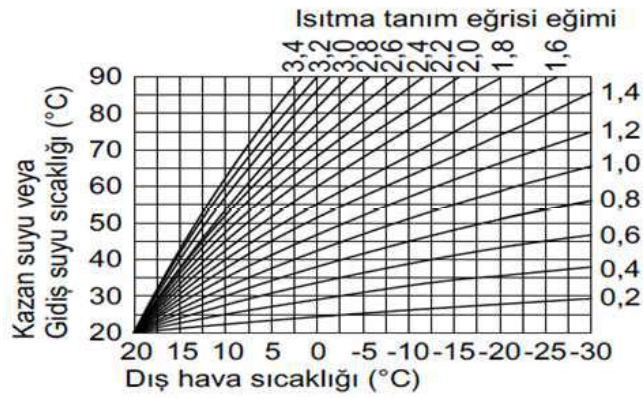
8.5.1. Kazan ve Radyatör Isıtma Sistemi

'Binaların Enerji Performansı Yönetmeliği'nde kullanım alanı 2000 m²'yi geçen binalarda merkezi ısıtma yapılması zorunlu hale getirilmiştir (TS 825,2013). Bireysel ısıtma olan bu sistemde her katın ve katlarda bulunan odaların bağımsız olarak ısıtılması amaçlanmaktadır. Sıcak suyun dağıtımı için boru tesisatı ve ısıyı ortama transfer etmek için odalarda uygun yerlere radyatörler (petek) döşenmektedir. Radyatör, ısıyı ortama taşınım yolu ile ileten bir tür ısı eşanjörüdür (KOÇ, 2016). Diğer yandan binada ısıtma enerjisi ihtiyacı sadece ısıtmadan oluşmamaktadır. Lavabolar, duşlar ve mutfak için 45-50°C sıcaklıkta sıcak kullanım suyu ihtiyacı vardır. Radyatör seçimi için kullanılacak kazan 50/40°C su rejimine göre seçilmiştir. Bu bağlamda 45°C altındaki kazan çıkış suyu sıcaklıkları sıcak kullanım suyu için yetersiz kalacağı görülmektedir. Hesaplarda bu dezavantajı gidermek için sıcak su boylerine bir elektrikli ısıtıcı konulabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 8.5. **Çok** kazanlı kaskad sistemlerde radyatör ile mahal ısıtması + kullanım suyu boyler devresi (ÇAKIR, 2014)

Mevcut dış hava şartlarına bağlı olarak kullanılan sistemin gidiş suyunu belirli bir sıcaklık seviyesinde tutmak için kullanılan ısıtma eğrisi üzerinde dış hava sıcaklık değerlerine göre gidiş suyu sıcaklığı ayar değerleri bulunmaktadır. Isıtma eğrisinden faydalanılarak bireysel ihtiyaçlara göre kazan çıkış gücü ve oda sıcaklığı ayarlanır. Isıtma eğrisinin eğimi arttıkça, dış hava sıcaklığı düştüğünde gidiş suyu sıcaklığı daha hızlı artmaktadır. Böylelikle düşük dış hava sıcaklığında oda sıcaklığı istenilen sıcaklıkta değil ise ancak daha yüksek dış hava sıcaklıklarında oda sıcaklığı istenilen seviyede ise; ısıtma eğrisinin eğimi tekrar ayarlanmalıdır. Şekil 8.6.'de dış hava sıcaklığına bağlı ısıtma eğrisi verilmiştir (Gassero Isı Teknolojileri).



Şekil 8.6. Dış hava sıcaklığına bağlı ısıtma tanım eğrisi (Gassero Isı Teknolojileri)

Şekil 8.6.'da görüldüğü üzere kazan çıkış suyu sıcaklığı ile ona bağlı olarak dönüş suyu sıcaklığı ne kadar düşük olursa (örneğin döşemeden ısıtma sistemleri) kazan verimliliği o kadar yüksek olmaktadır. Sadece bu durum kullanılarak %10'a varan oranlarda verimlilik farkı oluşmaktadır. Diğer yandan kazan imalatçıları kazanların farklı iklim bölgelerinde ve farklı tesisat sistemlerinde kullanılabileceğini dikkate alarak kontrol panellerinde farklı gidiş suyu sıcaklıkları senaryoları için kompanzasyon eğrileri oluşturmaktadır. Şekil 8.6.'da görüldüğü üzere 50/40°C gibi bir ısıtma rejimi İzmir şartlarında 1.2 eğriye denk gelmektedir. Bu eğri incelendiğinde dış hava sıcaklığı -3°C- 0°C arasında kazan çıkış suyu sıcaklığı 50°C, 0°C - +5°C arasında 45°C, +5°C-+10°C arasında 40°C, +10°C-+15°C arasında 35°C olduğu görülmektedir. Sistemden kazana dönüş suyu sıcaklığı ise yaklaşık olarak 10°C daha düşük olacaktır. Diğer sistemler için de bu hususlar geçerlidir.

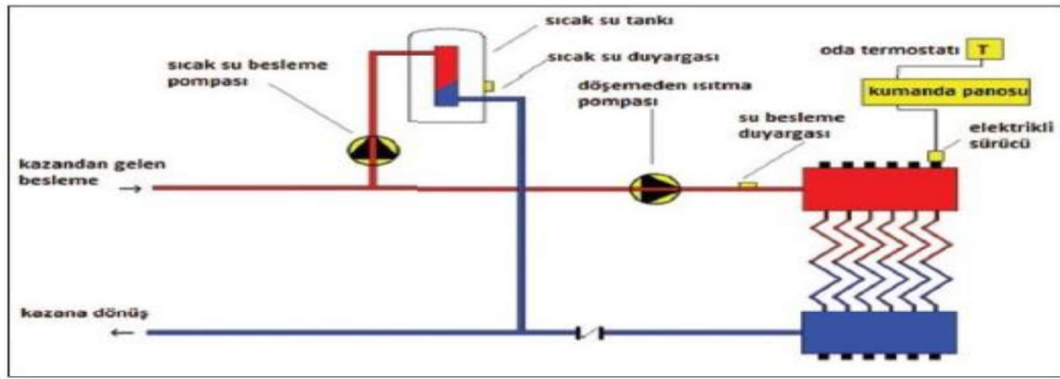
Çizelge 8.3. Kazan ve radyatör ısıtma sistemine ait veriler

Ay	Gün	Saat	Dış Hava Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Toplam Isı Yüklü Q, (kWh)	Kolektör Yüzey Alanına Düşen Güneş Radyasyonundan Elde Edilen Termal Enerji, Q _u (kWh)	Isıtma Sistemi Çıkış Sıcaklığı (° C)	Isıtma Sistemi Dönüş Sıcaklığı (° C)	Güneş Hava Kolektörü Hava Çıkış Sıcaklığı V=10000 m3/h	Güneş Hava Kolektörünün Sisteme Katkısı Q _{coll} (kWh)
Jan	1	0	4	68	0	50	40	4	0
Jan	1	1	5,4	73	0	50	40	5	0
Jan	1	2	6,8	74	0	45	35	7	0
Jan	1	3	7,8	69	0	45	35	8	0
Jan	1	4	8,3	77	0	45	35	8	0
Jan	1	5	8,6	77	0	45	35	9	0
Jan	1	6	8,7	131	0	45	35	9	0
Jan	1	7	9	129	0,8	45	35	9	0
Jan	1	8	8,4	118	14,3	45	35	13	0
Jan	1	9	8	112	42,7	45	35	22	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dec	31	14	4,6	51	51,1	50	40	3	0
Dec	31	15	5	54	26,7	50	40	2	0
Dec	31	16	4	64	4,4	50	40	2	0
Dec	31	17	3	78	0	50	40	2	0
Dec	31	18	2	88	0	50	40	2	0
Dec	31	19	1,7	108	0	50	40	2	0
Dec	31	20	1,7	139	0	50	40	3	0
Dec	31	21	1,7	138	0	50	40	5	0
Dec	31	22	2	134	0	50	40	3	0
Dec	31	23	2,7	76	0	50	40	2	0
Toplam=				518687				Toplam=	136744

Çizelge 8.3'te görüldüğü üzere bu binada kazan ile radyatör ve sıcak kullanım suyu sistemine güneş hava kolektörü entegre edildiğinde sistemi destekleme

oranı enerji olarak %26.45 olmaktadır. Bunun parasal değeri 2063 USD/yıl civarındadır. Güneş hava kolektörü kurulum maliyeti 18.200 USD olduğu ve buna göre sistemin geri dönüş süresi 8.8 yıl olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak radyatörlü kazan sistemini bir güneş hava kolektörü ile desteklemek kesinlikle fizibil olmamaktadır. Bunun sebebi kazana dönüş suyu sıcaklığının 30 °C' nin altına yılın çok az süresinde inebilmesi ve güneş hava kolektörü çıkış hava sıcaklığının da 30 °C'nin üzerine yılın çok az süresinde çıkabilmesi ile yukarıda açıklanan kısıtlardır. Sonuç olarak İzmir iklim şartlarında kazan ve radyatörlü bir sistemin Güneş hava kolektörü ile desteklenmesi mümkün değildir. Daha soğuk iklimlerde ise bu sistemden fayda sağlamak olanaksız gözükmemektedir.

8.5.2. Kazan ve Döşmeden Isıtma Sistemi



Şekil 8.7. Yoğuşmalı kazan ile döşmeden mahal ısıtması + kullanım suyu boyler devresi (Bulgurcu, 2016)

Döşmeden ısıtma sistemleri yüzey alanını genişletip, sıcaklık değerlerini düşürerek daha az enerji harcanmasını sağlamaktadır. Konforlu ısı dağılımı sağlaması amaçlanan döşmeden ısıtma sistemi, döşeme altına yerleştirilen borulardaki dolaşan sıcak suyun ısısının döşeme yüzeyinden iç ortama iletilmesiyle homojen bir ısı dağılımı sağlanmaktadır (Doğan, 2012).

Isınan havanın yukarıya çıkmasıyla ortamın sıcaklığını sabit derecede tutmak diğer sistemlerde zor olmaktadır. Döşmeden ısıtma sistemlerinde sıcak havanın aşağıda kalması en büyük avantajlardan birisidir. Bu ısıtma sisteminde zemin 26°C'lerde iken tavana yakın kısımlar 16-20 °C'lerdedir. Diğer ısıtma

sistemlerinde ise; öncelikle mahalın üst bölgesi ısındığından tavan kısmı 30°C'lerde iken, zemin 14°C'lerde kalmaktadır ve istenilen sıcaklığa ulaşılamamaktadır ve enerji tüketimi artmaktadır. Döşemeden ısıtma sistemleri mahallerde yerden tasarruf edilmesinde ayrıca avantaj sağlamaktadır (KASAP, 2019).

İzmir şartlarında döşemeden ısıtma sistemi su rejimi (-3°C tasarım dış hava sıcaklığı için) 40/30°C seçilmiştir. Bu durum Şekil 8.6.'daki kompanzasyon eğrilerinden 0.8 eğriye denk gelmektedir. Şekil 8.6.'daki 0.8 eğrisi incelendiğinde dış hava sıcaklığı -3°C- 0°C arasında kazan çıkış suyu sıcaklığı 40°C, 0°C - +5°C arasında 35°C, +5°C - +10°C arasında 30°C, +10°C - +15°C arasında 27°C civarında olduğu görülmektedir. Sistemden kazana dönüş suyu sıcaklığı ise yaklaşık olarak 10°C daha düşük olacaktır. 10000 m³/h hava debisi ve kazan ile döşemeden ısıtma sistemi için hesaplar aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

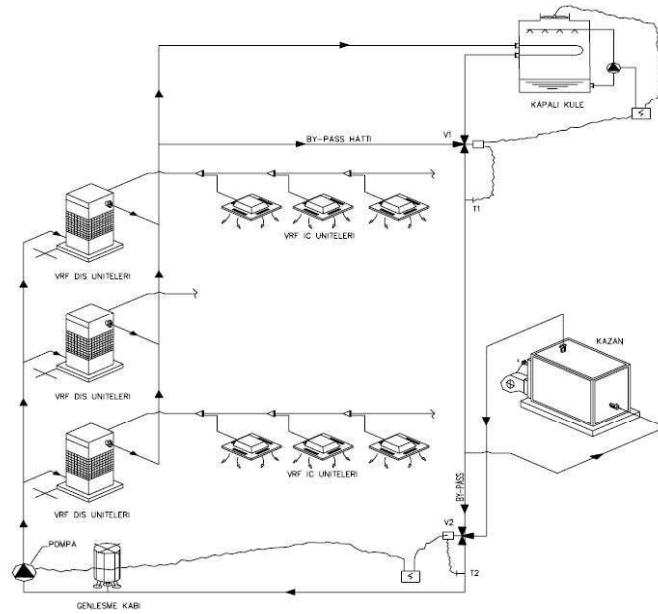
Çizelge 8.4. Kazan ve döşemeden ısıtma sistemine ait veriler

Ay	Gün	Saat	Dış Hava Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Toplam Isı Yüklü Q _t (kWh)	Kolektör Yüzey Alanına Düşen Güneş Radyasyonunda n Elde Edilen Termal Enerji, Q _u (kWh)	Isıtma Sistemi Çıkış Sıcaklığı (°C)	Isıtma Sistemi Dönüş Sıcaklığı (°C)	Güneş Hava Kolektörü Hava Çıkış Sıcaklığı V=10000 m ³ /h	Güneş Hava Kolektörünün Katkısı Q _{coll} (kWh)
Jan	1	0	4	68	0	40	30	4	0
Jan	1	1	5,4	73	0	40	30	5	0
Jan	1	2	6,8	74	0	35	25	7	0
Jan	1	3	7,8	69	0	35	25	8	0
Jan	1	4	8,3	77	0	35	25	8	0
Jan	1	5	8,6	77	0	35	25	9	0
Jan	1	6	8,7	131	0	35	25	9	0
Jan	1	7	9	129	0,8	35	25	9	0
Jan	1	8	8,4	118	14,3	35	25	13	0
Jan	1	9	8	112	42,7	35	25	22	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dec	31	14	4,6	51	51,1	40	30	3	0
Dec	31	15	5	54	26,7	40	30	2	0
Dec	31	16	4	64	4,4	40	30	2	0
Dec	31	17	3	78	0	40	30	2	0
Dec	31	18	2	88	0	40	30	2	0
Dec	31	19	1,7	108	0	40	30	2	0
Dec	31	20	1,7	139	0	40	30	3	0
Dec	31	21	1,7	138	0	40	30	5	0
Dec	31	22	2	134	0	40	30	3	0
Dec	31	23	2,7	76	0	40	30	2	0
Toplam=				518687				Toplam=	168085

Çizelge 8.4.'te görüldüğü üzere kazan ile döşemeden ısıtma ve sıcak kullanım suyu sistemine güneş hava kolektörü entegre edildiğinde sistemi destekleme oranı enerji olarak %32.5 olmaktadır. Bunun parasal değeri 2500 USD/yıl hesaplanmıştır. Güneş hava kolektörü kurulum maliyeti 18.200 USD olduğu ve buna göre sistemin geri dönüş süresi 7.5 yıl olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak; kazan ve döşemeden ısıtma sistemini bir güneş hava kolektörü ile desteklemek yeterince fizibil olmamaktadır. Bunun sebebi kazana dönüş suyu sıcaklığının 25°C altına yılın çok az zamanında inebilmesi ve güneş hava kolektörü çıkış hava sıcaklığının da 25°C üzerine yılın çok az zamanında çıkabileceğidir. Daha soğuk iklimlerde bu dezavantajların artacağını düşündüğümüzde sistemin çok verimli olmayacağı öngörülmektedir.

8.5.3. Su Kaynaklı VRF Isıtma Sistemi

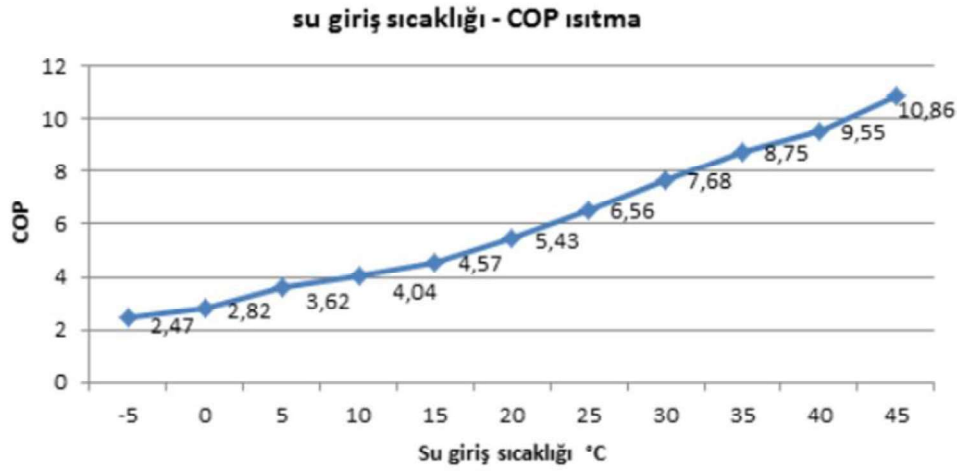
VRF Klima Sistemi; bir dış ünite ile birden çok iç ünitenin kontrol edilebildiği sistemlerdir. Sistemde bulunan soğutucu akışkanı doğru zamanda ihtiyaç duyulan iç üniteye sevk ederek ısıtma ve/veya soğutmada kullanılması sağlanır.



Şekil 8. 8. Kule ve Kazan ile Oluşturulmuş Bir Su Kaynaklı VRF Sistemi (Doğan V., 2011)

Soğutucu akışkan inverter kontrollü bir kompresör veya kompresörlerle şartlandırılarak, konfor şartlarına ulaşmasını istediğimiz mahalde bulunan iç

üniteye gönderilir (Yıldız O.,2013). VRF sistemlerinde iç ünitelerden alınan ısı kondenser yüzeyi üzerinden fan yardımı ile binaya verilmektedir. Bu sistemlerde performans ve verimliliği etkileyen birincil etken dış ortamın sıcaklığıdır. Sistem 48°C dış sıcaklığa kadar çalışmaktadır. Bu sisteme ısı kaynağı ve bir kule ilave ederek hem ısıtma hem soğutma yapılabilir. Sistemde dolaşan su sıcaklığı 10°C ile 45°C arasında tutulabilmektedir. Isıtma aşamasında, havadan soğutucu akışkan ısı pompası şeklinde çalışmaktadır. Dış ortamdan aldıkları ısıyı iç üniteler vasıtası ile ortama ileterek mahalin ısıtılmasını sağlamaktadır. Dış ortamın -20°C'ye kadar olan sıcaklıklarda dahi mahal ısıtması yapabilmektedir. Hava sıcaklığı artmasıyla ısıtma performansı artış göstermektedir. Su kaynaklı VRF ısıtma sisteminin tipik verim eğrisi Şekil 8.9'da verilmiştir.



Şekil 8.9. Isıtmada besleme suyu giriş sıcaklığına bağlı verim değişimi eğrisi

Bu sistemler ısıtmada sezonluk COP değeri 4,5 değerinin üzerinde olduğunda doğalgazlı ısıtma sistemlerine göre daha verimli olabilmektedir. Bu sistemlerde VRF dış ünite primer devre su sıcaklık farkı 5°C'dir. Şekil 8.9'de görüldüğü üzere ısıtma sezonunda suyun dış üniteye giriş sıcaklığı 25°C olduğunda VRF sistemi COP değeri 5,5 civarında olmaktadır. Bu durumda dönüş suyu sıcaklığı 20°C olacaktır. 22,5°C ortalama su sıcaklığında ortalama COP değeri 5,43 olmaktadır. 20°C su sıcaklığının elde edilebilmesi veya bir kısmının desteklenmesi için güneş radyasyonunun olduğu gündüz saatlerinde güneş hava kolektörü ile radyatör ve döşemeden ısıtma sistemlerine göre daha kolaydır. Sistemin dış ünitesi ısı

enerjiyi güneş hava kolektöründen alacaktır, bu enerjinin soğutucu gazı aktararak gazın yoğunlaşması için cihaz kompresöründe elektrik tüketilmektedir. Tüketilecek bu elektrik enerjisi cihazın COP değeri ile orantılı olmaktadır. Hesaplanan değerler tablolarda verilmiştir.

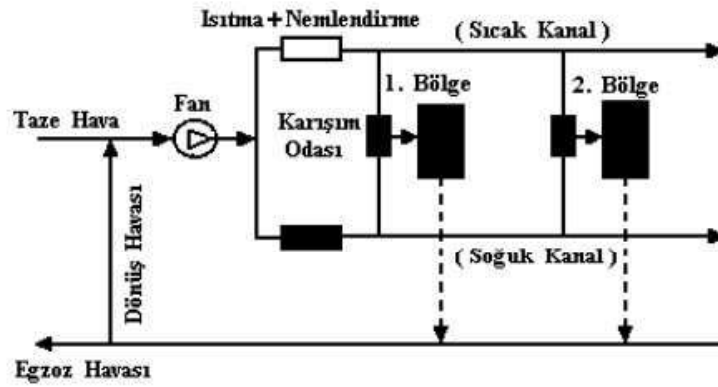
Çizelge 8.5. Su kaynaklı VRF ısıtma sistemi

Ay	Gün	Saat	Dış Hava Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Toplam Isı Yüklü Q _t (kWh)	Kolektör Yüzey Alanına Düşen Güneş Radyasyonundan Elde Edilen Termal Enerji, Q _u (kWh)	Isıtma Sistemi Çıkış Sıcaklığı (°C)	Isıtma Sistemi Dönüş Sıcaklığı (°C)	Güneş Hava Kolektörü Hava Çıkış Sıcaklığı V=10000 m ³ /h	Güneş Hava Kolektörünün Sisteme Katkısı Q _{coll} (kWh)
Jan	1	0	4	68	0	25	20	4	0
Jan	1	1	5,4	73	0	25	20	5	0
Jan	1	2	6,8	74	0	25	20	7	0
Jan	1	3	7,8	69	0	25	20	8	0
Jan	1	4	8,3	77	0	25	20	8	0
Jan	1	5	8,6	77	0	25	20	9	0
Jan	1	6	8,7	131	0	25	20	9	0
Jan	1	7	9	129	0,8	25	20	9	0
Jan	1	8	8,4	118	14,3	25	20	13	0
Jan	1	9	8	112	42,7	25	20	22	6
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dec	31	14	4,6	51	51,1	25	20	3	4
Dec	31	15	5	54	26,7	25	20	2	0
Dec	31	16	4	64	4,4	25	20	2	0
Dec	31	17	3	78	0	25	20	2	0
Dec	31	18	2	88	0	25	20	2	0
Dec	31	19	1,7	108	0	25	20	2	0
Dec	31	20	1,7	139	0	25	20	3	0
Dec	31	21	1,7	138	0	25	20	5	0
Dec	31	22	2	134	0	25	20	3	0
Dec	31	23	2,7	76	0	25	20	2	0
Toplam=				518687				Toplam=	163798

Çizelge 8.5.'te görüldüğü üzere VRF ısıtma sistemine güneş hava kolektörü entegre edildiğinde sistemi destekleme oranı enerji olarak %31.6 olmaktadır. Bunun parasal değeri 3.171 USD/yıl hesaplanmıştır. Güneş hava kolektörü kurulum maliyeti 18.200 USD olduğu ve sistemin geri dönüş süresi 5.7 yıl olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak; İzmir şartlarında su kaynaklı VRF sistemini güneş hava kolektörü ile desteklemek uygun olabilmektedir. Destek oranı güneş radyasyonuna bağlı olarak daha soğuk iklimlerde düşebilmektedir.

8.5.4. Tam Havalı İklimlendirme Sistemi (ALL AIR)

Soğutulan ya da ısıtılan hava havalandırma kanalından ilgili zonlara gönderilerek istenilen konfor şartlarında ısıtma veya soğutma yapılması sağlanır. Tam havalı iklimlendirme sistemler uygulandıkları iç hacimde ön ısıtma, tüm duyulur ısı, nemlendirme, gizli ısı yüklerini, nem alma işlemlerini hava ile karşılayıp, bu alanların iklimlendirilmesini sağlamaktadır. Isıtmanın karşılanması merkezi veya belirli zonlarla yapılabilmektedir. Kanallı sistemlerde kanallar aracılığıyla ile homojen hava dağılımının sağlanması için üzerinde bulunan dağıtıcı menfezlerin yerleri ve yükleri önem taşımaktadır (Heperkan, 2009).



Şekil 8.10. Çift kanallı (değişken debili ısıtma ve soğutma) havalandırma sistem devresi (Heperkan, 2009).

Bu sistemlerde mahal ısıtması ısı geri kazanımlı tam havalı iklimlendirme sistemlerinde klima santralleri ile yapılmaktadır. Klima santralleri karışım havası kullanır. Mahaldeki insan sayısına göre ihtiyaç olan taze hava dışarıdan alınır, buna karşılık gelen kirli hava dışarı atılır. Dışarıdan alınan hava bir ısı geri kazanım ünitesinden geçirilerek ön ısıtma sağlanır. Mahallerin ısıtılması için gerekli kalan hava mahal dönüşünden alınır, taze hava ile karıştırılarak önce F9 gibi bir filtreden geçirilerek temizlenir ve ısıtma serpantinine gelir. Mahal sıcaklığı 22°C, üfleme havası sıcaklığı genellikle 32°C'dir. Kullanılacak mahallerin ısı ihtiyacı ve kirlilik durumuna göre hava miktarı azaltılır veya çoğaltılır.

ÇİZELGE 8.6. Tam havalı iklimlendirme sistemine ait veriler

Ay	Gün	Saat	Dış Hava Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Toplam Isı Yüklü Q, (kWh)	Kolektör Yüzey Alanına Düşen Güneş Radyasyonundan Elde Edilen Termal Enerji, Q _u (kWh)	Isıtma Sistemi Çıkış Sıcaklığı (°C)	Isıtma Sistemi Dönüş Sıcaklığı (°C)	Güneş Hava Kolektörü Hava Çıkış Sıcaklığı V=10000 m ³ /h	Güneş Hava Kolektörünün Sisteme Katkısı Q _{coll} (kWh)
Jan	1	0	4	68	0	25	20	4	0
Jan	1	1	5,4	73	0	25	20	5	0
Jan	1	2	6,8	74	0	25	20	7	0
Jan	1	3	7,8	69	0	25	20	8	0
Jan	1	4	8,3	77	0	25	20	8	0
Jan	1	5	8,6	77	0	25	20	9	0
Jan	1	6	8,7	131	0	25	20	9	0
Jan	1	7	9	129	0,8	25	20	9	0
Jan	1	8	8,4	118	14,3	25	20	13	0
Jan	1	9	8	112	42,7	25	20	22	6
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dec	31	14	4,6	51	51,1	25	20	3	4
Dec	31	15	5	54	26,7	25	20	2	0
Dec	31	16	4	64	4,4	25	20	2	0
Dec	31	17	3	78	0	25	20	2	0
Dec	31	18	2	88	0	25	20	2	0
Dec	31	19	1,7	108	0	25	20	2	0
Dec	31	20	1,7	139	0	25	20	3	0
Dec	31	21	1,7	138	0	25	20	5	0
Dec	31	22	2	134	0	25	20	3	0
Dec	31	23	2,7	76	0	25	20	2	0
Toplam=				518687				Toplam=	116304

Çizelge 8.6.'da görüldüğü üzere tam havalı iklimlendirme sistemine güneş hava kolektörü entegre edildiğinde sistemi destekleme oranı enerji olarak %22.47 olmaktadır. Bunun parasal değeri 2099 USD/yıl hesaplanmıştır. Güneş hava kolektörü kurulum maliyeti 18.200 USD olduğu ve sistemin geri dönüş süresi 8.6 yıl olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak; İzmir şartlarında tam havalı iklimlendirme sistemini güneş hava kolektörü ile desteklemek fizibil olmamaktadır. Destek oranı güneş radyasyonuna bağlı olarak daha soğuk iklimlerde düşebilmektedir.

9. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

İzmir ili içerisinde bulunan bir otelin ısıtma ve sıcak su ihtiyacında kullanılan fosil tabanlı enerjisinin azaltılması amacıyla güneş duvarlarının katkısı araştırılmıştır. Binanın güney cephesine 500m² güneş hava kolektörü kurulması için tasarlanan sistemin kuruluş maliyeti 26000 USD olarak hesaplanmıştır. Bu fiyat üzerinden devletin sağladığı Enerji Verimliliği Destekleri kapsamında Verimlilik Artırıcı Proje (VAP) desteği ile maliyetin %30'u oranında hibe alınarak toplam maliyet 18200 USD olmaktadır. Otelin tüm yıl için ay, gün ve saatlik enerji ihtiyacı Carrier HAP 5.1. programı ile hesaplanmıştır. Toplam ısınma ve kullanma sıcak su ihtiyacı için binanın yıllık doğalgaz tüketimi 518686 kWh parasal değeri 11411 USD olarak hesaplanmıştır. Yıllık 1386 ton/yıl karbon salınımı hesaplanmıştır. Kolektör yüzeyine gelen güneş radyasyonundan elde edilebilecek toplam enerji 325163 kWh hesaplanmıştır. Kolektör hava kanalından geçecek akışkanın hacimsel debisi 10000 m³/h olarak seçilmiştir ve bu değere göre kolektör çıkış sıcaklıkları hesaplanmıştır. Tasarlanan güneş hava kolektörü ile karbon salınımı 31 ton/yıl azaltılmıştır.

Elde edilen değerlere göre otelde kullanılacak dört farklı iklimlendirme sistemi için yıllık fosil yakıt enerji tasarrufu, ilk yatırım maliyeti geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Kazan ve radyatör ısıtma sistemi için 136744 kWh ve 3008 USD kazanç sağlarken sistem için kurulan pompa ve fanın yıllık gideri 745 USD ve 200 USD bakım gideri ile net kazanç 2063 USD olmakla birlikte yaklaşık 8,8 yıl içerisinde maliyeti geri kazandırmaktadır. Kazan ve döşemeden ısıtma sistemi için 168085 kWh ve 3698 USD kazanç sağlarken sistem için kurulan pompa ve fanın yıllık gideri 942 USD ve 200 USD bakım gideri ile net kazanç 2556 USD olmakla birlikte yaklaşık 7,5 yıl içerisinde maliyeti geri kazandırmaktadır. Su kaynaklı VRF sistemi için 163798 kWh ve 3604 USD kazanç sağlarken sistem için kurulan pompa ve fanın yıllık gideri 233 USD ve 200 USD bakım gideri ile net kazanç 3171 USD olmakla birlikte yaklaşık 5,7 yıl içerisinde maliyeti geri kazandırmaktadır. Tam havalı iklimlendirme sistemi için 116304 kWh ve 2559 USD kazanç sağlarken sistem için kurulan pompa ve fanın yıllık gideri 260 USD ve 200 USD bakım gideri ile net kazanç 2099 USD olmakla birlikte yaklaşık 8,6 yıl

içerisinde maliyeti geri kazandırmaktadır. Kazan ve döşemeden radyatörlü ve VRF sistemleri için güneş kolektör verimi %32,46 ve %31,64 oranları ile yaklaşık aynıdır. Fakat sistemlerin giderleri farklı olduğu için geri ödeme süreleri farklı olduğu görülmüştür.

Çizelge 8.7. Sistemlerin karşılaştırılması

Sistem	Elde Edilen Enerji(kWh)	Güneş Kolektörü Verimi(%)	Elde Edilen Parasal Değer(USD)	Yıllık Gider (USD)	Elde Edilen Net Kazanç (USD)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
Kazan ve Radyatörlü Sistem	136744	26,45	3008	945	2063	8,8
Kazan ve Döşemeden Isıtma Sistemi	168085	32,46	3698	1142	2556	7,5
Su Kaynaklı VRF Sistemi	163798	31,64	3604	433	3171	5,7
Tam Havalı İklimlendirme Sistemi	116304	22,47	2559	460	2099	8,6

Karşılaştırılan dört ayrı ısıtma sistemi içerisinde en uygun olan su kaynaklı VRF sistemi ile otel ısıtılmasında güneş enerjisinden yararlanılarak kurulması planlanan havalı güneş kolektörlerinin İzmir iklimi koşullarında ısıtma sistemi olarak kullanılabileceği ve iç ortam ısı konfor şartlarını karşılayabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Sistem kendi maliyetini 5.7 sene gibi bir sürede çıkarmaktadır. Kullanım ömrü 20 sene olduğu göz önüne alınırsa iyi bir yatırım planı olarak görülmektedir.

Türkiye şartlarında 5 yıldan az geri dönüş süresi olan yatırımlar kısa vadeli geri dönüş süreli yatırımlar (fizibil kabul edilen yatırımlar) olarak, 5 -10 arasında geri dönüş süresi olan yatırımlar orta vadeli geri dönüş süreli yatırımlar, 10 yıldan uzun geri dönüş süresi olan yatırımlar uzun vadeli geri dönüş süreli yatırımlar olarak değerlendirilmektedir. Kısa vadeli yatırımlar genelde kabul görebilirken orta vadeli yatırımlar mal sahibinin değerlendirmesine göre kabul edilebilmekte veya edilmemektedir.

Burada binanın elektrik tüketimlerinin azaltılmasına yönelik bir işlem yapılmayacaktır. Eğer böyle bir şey arzu edilirse binanın çatısına çatı alanı ve bütçe olanakları çerçevesinde güneş PV sistemi kurulabilir.

KAYNAKLAR

- Alparslan B., 2010. Ekolojik Yapı Tasarım Ölçütleri Kapsamında Ankara'da Örnek Bir Yapı Tasarımı ve Değerlendirmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- ASHRAE Advanced Design Guide for K-12 School Buildings.
- Augustus Leon, M., Kumar, S., Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors, Solar Energy, 81, 62-75, 2007.
- Ay, İ., & Khanları, A., 2015. Güneş Duvarı Sisteminin Çalışma Prensipleri ve Türkiye'deki Uygulanabilirliği, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 3(3), 525-533.
- Ayaz, E., 2002. Yapılarda Sürdürülebilirlik Kriterlerinin Uygulanabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Aybers N., 2010. Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Tesisleri. İTÜ Yayınları.
- Aydede Ö., 2014. Energy Performance Of Building Integrated Solarwall System Case Study: Sabiha Gökçen Airport, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Balagurusamy, E., 2008 Numerical Methods, 25th Reprint, Tata McGraw-Hill Publishing Company,.
- Balcomb, J., D., 1992. Passive Solar Buildings, The MIT Press, Massachusetts, (s.248)
- Barker, G., Kiatreungwattana, K., 2011. 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.
- Bokor, B., Akhan, H., Eryener, D., & Kajtár, L. 2017. Theoretical and experimental analysis on the passive cooling effect of transpired solar collectors. Energy and Buildings, 156, 109-120.
- Briga-Sá, A., Boaventura-Cunha, J., Lanzinha, J. C., & Paiva, A., 2017. Experimental and analytical approach on the Trombe wall thermal performance parameters characterization. Energy and Buildings, 150, 262-280.
- Briga-Sá, A., Martins, A., Boaventura-Cunha, J., Lanzinha, J. C., & Paiva, A., 2014. Energy performance of Trombe walls: Adaptation of ISO 13790: 2008 (E) to the Portuguese reality. Energy and Buildings, 74, 111-119.

- Bulgurcu H., 2016. Döşemeden Isıtma Sistemlerinin Kontrolü, Balıkesir Üniversitesi.
- Chen, B., Chen., H.J., Meng, S.R., Chen., X., Sun, P. ve Ding, Y.H., 2006, The Effect of Trombe Wall on Indoor Humid Climate in Dalian, China, Renewable Energy, 333-343.
- Chen, B., Hollingsworth, E., Pedersen, K., Maloney, J., Stangl, D., Thorp, J. ve Rives, J., (1982), Path To Passive Nebraska's Passive Solar Primer, by Solar Energy Associates Ltd., Omaha Nebraska.
- Çakır A., 2014. Isıtma Tesisatı Uygulamaları, MMO Eğitim Semineri.
- Çakmanus, İ., 2007. Renovation of existing office buildings in regard to energy economy: An example from Ankara, Turkey. Building and Environment.
- Çakmanus, İ., 2011, Yaklaşık Sıfır Enerjili Binalar, Yeşil Bina Dergisi, Mayıs-Haziran Sayısı.
- Devaraj M., Shanmuga Priyan S., 2016. Solar Energy Collection using Spherical Sun Power Generator, National Conference on Emerging Trends in Renewable Energy NCETRE,
- Doğan V., 2009. Su Kaynaklı VRF ve Antalya'da Bulunan Bir AVM'de Su Kaynaklı VRF Uygulaması, Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.
- Doğan V., 2012. Döşemeden Isıtma Sistemlerinde Hesap Yöntemi, Tesisat Mühendisliği Dergisi.
- Dünya Doğayı Koruma Vakfı Resmi Sitesi, erişim tarihi: 18.02.2019 <http://www.wwf.org.tr/ne-yapiyoruz/iklim-degisikligi-ve-enerji-yenile-nebilirnerji-ve-enerjiverimlilik/kisakisayenilenebilirrenerjikaynaklari/>
- Enerji Beş Temiz Enerji Portalı, erişim tarihi: 15.03.2019 <https://www.enerjibes.com/enerji-kaynaklari/>
- Gan, G., 1998. A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings. Energy and buildings, 27(1), 37-43.
- Gassero Isı Teknolojileri, Duvar Tipi Yoğuşmalı Kazanlar. Erişim Tarihi: 10/03/2019 <https://www.gassero.com/>
- Goswami, D.Y., Kreith, F., Kreider, J.F., 2000. Principles of Solar Engineering, Second Edition, Taylor & Francis Publishing Company.
- Hami, K., Draoui, B., & Hami, O., 2012. The thermal performances of a solar wall. Energy, 39(1), 11-16.
- Heperkan H., 2009. Klima Sistemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi.

- Hirunlabh, J., Kongduang, W., Namprakai, P., & Khedari, J., 1999. Study of natural ventilation of houses by a metallic solar wall under tropical climate. *Renewable Energy*, 18(1), 109-119.
- Hollick, J.C., 1994. Unglazed solar wall air heaters, *Renewable Energy*, 5, 415-421.
- Hu, Z., Luo, B., & He, W., 2015. An experimental investigation of a novel Trombe wall with venetian blind structure. *Energy Procedia*, 70, 691-698.
- Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S., 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th Edition, John Wiley & Sons Publishing Company.
- Karakoç H., 2006. Isı Kaybı Hesabı, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*.
- Karakoç E.Ş., 2010. Havalı Güneş Toplayıcıları ile Su Isıtma, *Trakya Üniversitesi, Edirne*.
- Kasap B., 2019. Isıtma Sistemlerinde Yeni Nesil Döşemeden Isıtma, *Elektrik Mühendisleri Dergisi*.
- Khanları A., 2013, Güneş Duvarı Sistemlerinin Dünyadaki Uygulamaları Ve Türkiye'deki Uygulanabilirliği, *Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara*.
- Kılıç Demircan R., Doç. Dr. Arzuhan Burcu Gültekin, 2017. Binalarda Pasif ve Aktif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi.
- Koç H., 2016. Merkezi Isıtma Sistemlerinde Sıcak Su Hazırlama Sisteminin Performans Analizi, *Karabük Üniversitesi*.
- Kundakçı B., 2010, Mevcut Bina Kabuğunun Dolaylı Kazanımlı Güneş Enerjisi Sistemi İle İyileştirilmesi İçin Bir Yaklaşım Önerisi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*.
- Kutscher, C.F., Christensen, C., Barker, G., 1993. Unglazed transpired solar collectors: heat loss theory, *Journal of Solar Engineering*, 115 , 182-188.
- Lechner, N., 1991, *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects*, New York, Wiley.
- Moaveni, S., Tebbe, P.A., Schwartzkopf, L., Dobmeier, J., Gehrke, J., Simones, M., 2011. A numerical model for thermal performance of an unglazed transpired solar collector, *ASME 5th International Conference on Energy Sustainability*, 1-5.
- Özdoğan H.P., 2005, *Ekolojik Binalarda Bina Kabuğunda Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Tasarım Bağlamında İncelenmesi*, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*.

- Öztürk F., 2011, Pasif Güneş Enerjisi Sistemi İle Bina Isıtmasının Sayısal Ve Ekonomik Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Shukla, A., Nkwetta, D.N., Cho, Y.J., Stevenson, V., Jones, P., 2012. A state of art review on the performance of transpired solar collector, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 3975– 3985.
- SolarWall Firmasının Resmi İnternet Sayfası, erişim tarihi: 05.04.2019, www.solarwall.com
- Stazi, F., Mastruccia, A., Di Pernab, C., 2012. The behavior of solar walls in residential buildings with different insulation levels: An experimental and numerical study, Energy and Buildings, 47, 217–229.
- Sugözü, İ., 2005, Güneş enerjisiyle çalışan iki farklı güneş duvarının Elazığ şartlarında uygulanabilirliğinin araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Şişman U., 2010. Ofis Binalarında İklimlendirme Sistem Seçimi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi Sitesi. Erişim tarihi: 25.05.2019 <https://www.mgm.gov.tr/>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Resmi Sitesi, erişim tarihi: 22.04.2019, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>
- Tayfun, Y., 2007, Güneş Enerjisinden Edilgen Sistem Yararlanmada Güneş Odası Ekleme Yönteminin iç Ortam Sıcaklığına Etkisinin incelenmesi İstanbul Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57s, İstanbul.
- TS 825 ,2013. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü.
- Turgut, O., 1995. Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanan dikey jaluzili pencere tasarımı ve deneysel olarak incelenmesi, Gazi Üniversitesi.
- Uyarel , A.Y ve Öz, E.S, 1987. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi.
- Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T., 2006, Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, 1. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 21-23 Haziran 2006, Eskişehir.
- Yasan S.A., 2011. Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma, İTÜ.

Yasan S.A., 2010. Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. Erişim tarihi: 10.03.2019, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>

Yıldız O., 2013. Sistem karşılaştırmaları sunumu', Klima plus A.Ş. Eğitim Notları.

Yüre T. , 2007. Güneş Enerjisinden Edilgen Sistem Yararlanmada Güneş Odası Ekleme Yönteminin İç Ortam Sıcaklığına Etkisinin İncelenmesi İstanbul Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Zalewski, L., Joulin, A., Lassue, S., Dutil, Y., & Rousse, D., 2012. Experimental study of small-scale solar wall integrating phase change material. Solar Energy, 86(1), 208-219.

Zeihner, L., C., 2000, The Ecology of Architecture, Watson-Guption Publications, New York (s.81).

EKLER

EK A. Simülasyon Programına Girilen Veriler

Çizelge A. 1. Dış Hava Verileri

Design Weather Parameters & MSHGs	
190420_NİHAL İSİLAK_TEZ	05.15.2019
OLIMPOS DANIŞMANLIK ENERJİ LTD. ŞTİ.	11:53

Design Parameters:

City Name	Izmir
Location	Turkey
Latitude	38,5 Deg.
Longitude	-27,0 Deg.
Elevation	4,9 m
Summer Design Dry-Bulb	35,6 °C
Summer Coincident Wet-Bulb	22,2 °C
Summer Daily Range	12,8 K
Winter Design Dry-Bulb	-3,0 °C
Winter Design Wet-Bulb	-4,7 °C
Atmospheric Clearness Number	1,00
Average Ground Reflectance	0,20
Soil Conductivity	1,385 W/(m K)
Local Time Zone (GMT +/- N hours)	-2,0 hours
Consider Daylight Savings Time	Hayır
Simulation Weather Data	(IWC)
Current Data is	User Modified
Design Cooling Months	January to December

Design Day Maximum Solar Heat Gains

(The MSHG values are expressed in W/m²)

Month	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
January	64,1	64,1	64,1	262,9	496,1	670,0	765,8	793,9	800,3
February	77,8	77,8	161,7	421,1	598,5	743,4	780,6	765,8	749,9
March	92,7	92,9	320,8	533,9	695,3	748,7	742,0	673,9	633,5
April	107,3	210,6	452,9	613,0	697,9	708,2	628,8	522,3	461,4
May	117,6	320,5	521,8	653,2	686,2	651,7	532,7	398,1	328,3
June	150,0	352,8	544,7	657,5	671,7	622,1	490,2	345,4	276,8
July	120,6	317,5	518,0	636,8	673,9	637,5	523,5	388,0	320,6
August	112,7	217,5	439,6	585,0	678,4	681,7	608,8	505,0	446,8
September	95,8	95,8	308,1	489,9	655,7	721,9	711,4	652,2	610,7
October	79,9	79,9	170,6	387,1	593,4	705,3	762,6	747,2	722,6
November	64,6	64,6	64,6	274,0	476,2	656,0	751,0	787,2	781,2
December	57,9	57,9	57,9	210,8	438,9	627,0	738,7	784,3	798,4
Month	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	HOR	Mult
January	799,4	770,4	658,1	501,8	255,5	64,1	64,1	445,8	1,00
February	763,3	779,1	745,5	601,0	416,9	171,0	77,8	590,5	1,00
March	667,0	735,3	756,9	684,8	544,8	313,2	94,6	720,2	1,00
April	515,9	626,9	702,7	703,7	618,6	439,1	231,4	803,9	1,00
May	393,4	537,0	644,7	696,1	651,0	508,9	331,9	841,6	1,00
June	342,6	495,2	613,2	683,6	651,8	537,2	367,5	848,7	1,00
July	385,4	525,5	628,3	682,8	635,0	507,9	330,9	833,5	1,00
August	498,6	605,7	677,2	679,0	597,7	426,6	228,9	790,1	1,00
September	650,9	708,7	724,8	650,5	500,6	308,2	95,8	691,6	1,00
October	747,3	762,3	701,2	592,3	396,1	162,1	79,9	574,6	1,00
November	786,6	749,0	657,3	471,8	274,5	64,6	64,6	437,3	1,00
December	793,1	739,1	624,2	430,4	219,3	57,9	57,9	380,8	1,00

Mult. = User-defined solar multiplier factor.

Çizelge A. 2. U değerleri

Wall Assembly

Wall Details

Outside Surface Color Other
 Absorptivity 0,700
 Overall U-Value 0,767 W/(m²·K)

Wall Layers Details (Inside to Outside)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg K)	R-Value (m ² ·K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,12064	0,0
Gypsum board	20,000	800,9	1,09	0,12428	16,0
board insulation	40,000	32,0	0,92	1,00000	1,3
22 gage steel deck	0,853	7833,0	0,50	0,00002	6,7
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,05864	0,0
Totals	60,853	-		1,30355	24,0

Roof Assembly

Roof Details

Outside Surface Color Other
 Absorptivity 0,700
 Overall U-Value 0,447 W/(m²·K)

Roof Layers Details (Inside to Outside)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg K)	R-Value (m ² ·K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,12064	0,0
Steel deck	0,853	7833,0	0,50	0,00002	6,7
Board insulation	80,000	32,0	0,92	2,00000	2,6
Built-up roofing	9,540	1121,3	1,47	0,05847	10,7
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,05864	0,0
Totals	90,394	-		2,23776	19,9

Window Constructions

190420_NIHAL ISILAK_TEZ
 OLIMPOS DANIŞMANLIK ENERJİ LTD. ŞTİ.

05.15.2019
 11:57

10,45*2,40

Window Details:

Detailed Input Hayır
 Height 2,40 m
 Width 10,50 m
 Overall U-Value 2,400 W/(m²·K)
 Overall Shade Coefficient 0,600

Çizelge A. 3. Günlük Çalışma Saatleri

Schedule Input Data																							
190420 NIHAL ISILAK TEZ OLIMPOS DANIŞMANLIK ENERJİ LTD. STİ.																							
05.15.2019 11:58																							

otel asansöler (Fractional)

Hourly Profiles:

1:Design Day

Hour	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Value	90	23	22	22	23	61	89	90	89	89	30	30	28	28	28	28	61	92	92	89	89	90	89	90

Assignments:

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Design	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Monday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tuesday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Wednesday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Thursday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Friday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Saturday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sunday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Holiday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

otel dış aydınlatma (Fractional)

Hourly Profiles:

1:Design Day

Hour	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Value	90	14	12	15	13	49	89	90	87	29	10	10	10	10	9	9	9	9	62	90	89	88	89	91

Assignments:

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Design	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Monday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tuesday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Wednesday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Thursday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Friday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Saturday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sunday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Holiday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

otel misafirler (Fractional)

Hourly Profiles:

1:Design Day

Hour	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Value	90	90	89	91	91	91	89	79	31	30	28	28	28	29	27	31	29	77	92	89	89	90	89	90

Assignments:

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Design	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Monday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tuesday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Wednesday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Thursday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Friday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Saturday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sunday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Holiday	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Çizelge A. 4. Elektrik ve doğalgaz fiyatları

Electric Rate Input Data		Fuel Rate Input Data	
_190420_NIHAL ISILAK_TEZ OLIMPOS DANIŞMANLIK ENERJİ LTD. ŞTİ.		_190420_NIHAL ISILAK_TEZ OLIMPOS DANIŞMANLIK ENERJİ LTD. ŞTİ.	
otel		otel	
General Details Rate Name otel Rate Type Simple Energy Units kWh Conversion 1,00000 kWh/kWh Demand Units kW Flat Price 0,10000 \$/kWh Customer Charge 0,00 \$ Minimum Charge 0,00 \$ Tax Rate 0,00 %		General Details Rate Name otel Rate Type Simple Energy Units kWh Conversion 1,00000 kWh/kWh Demand Units Hourly Peak Flat Price 0,02200 \$/kWh Customer Charge 0,00 \$ Minimum Charge 0,00 \$ Tax Rate 0,00 %	
Emissions Analysis CO2e Factor 0,62 kg/kWh		Emissions Analysis CO2e Factor 2,17 kg/kWh	

EK B. Simülasyon Sonuçları

Çizelge B. 1. Aylık bazda hava sistemi simülasyon sonuçları

Monthly Simulation Results for otel		
Project Name: _190420_NIHAL ISILAK_TEZ		05.15.2019
Prepared by: OLIMPOS DANISMANLIK ENERJİ LTD. STİ.		11:58

Air System Simulation Results (Table 1) :

Month	Precool Coil Load (kWh)	Preheat Coil Load (kWh)	Terminal Cooling Coil Load (kWh)	Terminal Heating Coil Load (kWh)	Ventilation Fan (kWh)	Exhaust Fan (kWh)	Terminal Fan (kWh)
January	0	2959	3	1115	0	0	973
February	0	2796	303	775	0	0	879
March	0	1907	6253	82	0	0	973
April	13	688	17845	0	0	0	942
May	428	85	46671	0	0	0	973
June	1175	7	57637	0	0	0	942
July	1416	0	61846	0	0	0	973
August	1253	0	58270	0	0	0	973
September	768	18	45142	0	0	0	942
October	44	303	21960	0	0	0	973
November	0	1806	3939	390	0	0	942
December	0	2484	443	1050	0	0	973
Total	5098	13053	320312	3411	0	0	11456

Air System Simulation Results (Table 2) :

Month	Vent. Reclaim Device (kWh)	Lighting (kWh)	Electric Equipment (kWh)
January	0	9527	6318
February	0	8605	5707
March	0	9527	6318
April	0	9220	6114
May	0	9527	6318
June	0	9220	6114
July	0	9527	6318
August	0	9527	6318
September	0	9220	6114
October	0	9527	6318
November	0	9220	6114
December	0	9527	6318
Total	0	112173	74392

Çizelge B. 2. Isıtma sistemi doğalgaz tüketimleri

Monthly Simulation Results for otel ısıtma		
_190420_NIHAL ISILAK_TEZ		05.15.2019
OLIMPOS DANISMANLIK ENERJİ LTD. STİ.		11:59

Plant Simulation Results (Table 1) :

Month	Service HW Load (kWh)	Heating Coil Load (kWh)	SHW Circulation Losses (kWh)	SHW Piping Losses (kWh)	Plant Heating Load (kWh)	Boiler Output (kWh)	Boiler Input - Gas (kWh)
January	7912	4074	532	0	11986	11986	14982
February	7146	3571	480	0	10716	10716	13396
March	7912	1989	532	0	9901	9901	12376
April	7656	688	514	0	8344	8344	10430
May	7912	85	532	0	7996	7996	9995
June	7656	7	514	0	7664	7664	9580
July	7912	0	532	0	7912	7912	9889
August	7912	0	532	0	7912	7912	9889
September	7656	18	514	0	7675	7675	9593
October	7912	303	532	0	8214	8214	10268
November	7656	2196	514	0	9852	9852	12315
December	7912	3534	532	0	11445	11445	14306
Total	93152	16465	6258	0	109616	109616	137020

Plant Simulation Results (Table 2) :

Month	Boiler Misc. Electric (kWh)	Primary Water Dist. Pump (kWh)	Service HW Pump (kWh)
January	45	0	0
February	40	0	0
March	37	0	0
April	31	0	0
May	30	0	0
June	29	0	0
July	29	0	0
August	29	0	0
September	29	0	0
October	31	0	0
November	37	0	0
December	43	0	0
Total	409	0	0

Çizelge B. 3. Soğutma sistemi elektrik tüketimleri

Monthly Simulation Results for otel sogutma		
_190420_NIHAL ISILAK_TEZ		05.15.2019
OLIMPOS DANISMANLIK ENERJİ LTD. STİ.		11:59

Plant Simulation Results (Table 1) :

Month	Cooling Coil Load (kWh)	Plant Cooling Load (kWh)	Chiller Output (kWh)	Chiller Input (kWh)	Primary Water Dist. Pump (kWh)
January	3	3	3	1	0
February	303	303	303	99	0
March	6253	6253	6253	1904	0
April	17859	17859	17859	5416	0
May	47099	47099	47099	14645	0
June	58812	58812	58812	18890	0
July	63262	63262	63262	20496	0
August	59523	59523	59523	19284	0
September	45910	45910	45910	14848	0
October	22004	22004	22004	7079	0
November	3939	3939	3939	1307	0
December	443	443	443	146	0
Total	325410	325410	325410	104116	0

Çizelge B. 4. Bina bilgileri

LEED 2009 EA Credit 1 Optimize Energy Performance Summary Report		
190420 NIHAL ISILAK TEZ		05.18.2019
OLIMPOS DANIŞMANLIK ENERJİ LTD. ŞTİ.		09:47

1. REPORT AND PROJECT INFORMATION

General

Simulation Program Name and Version Hourly Analysis Program 5.10
Simulation Weather File Name Izmir, Turkey (IWC)

Building Designations

Proposed Building otel
Baseline - 0° n/a
Baseline - 90° n/a
Baseline - 180° n/a
Baseline - 270° n/a

Space Summary

	Proposed Design	Baseline
Conditioned Floor Area (m ²)	3.749	0
Unconditioned Floor Area (m ²)	0	0
Total Floor Area (m ²)	3.749	0

2. MINIMUM ENERGY PERFORMANCE CALCULATOR

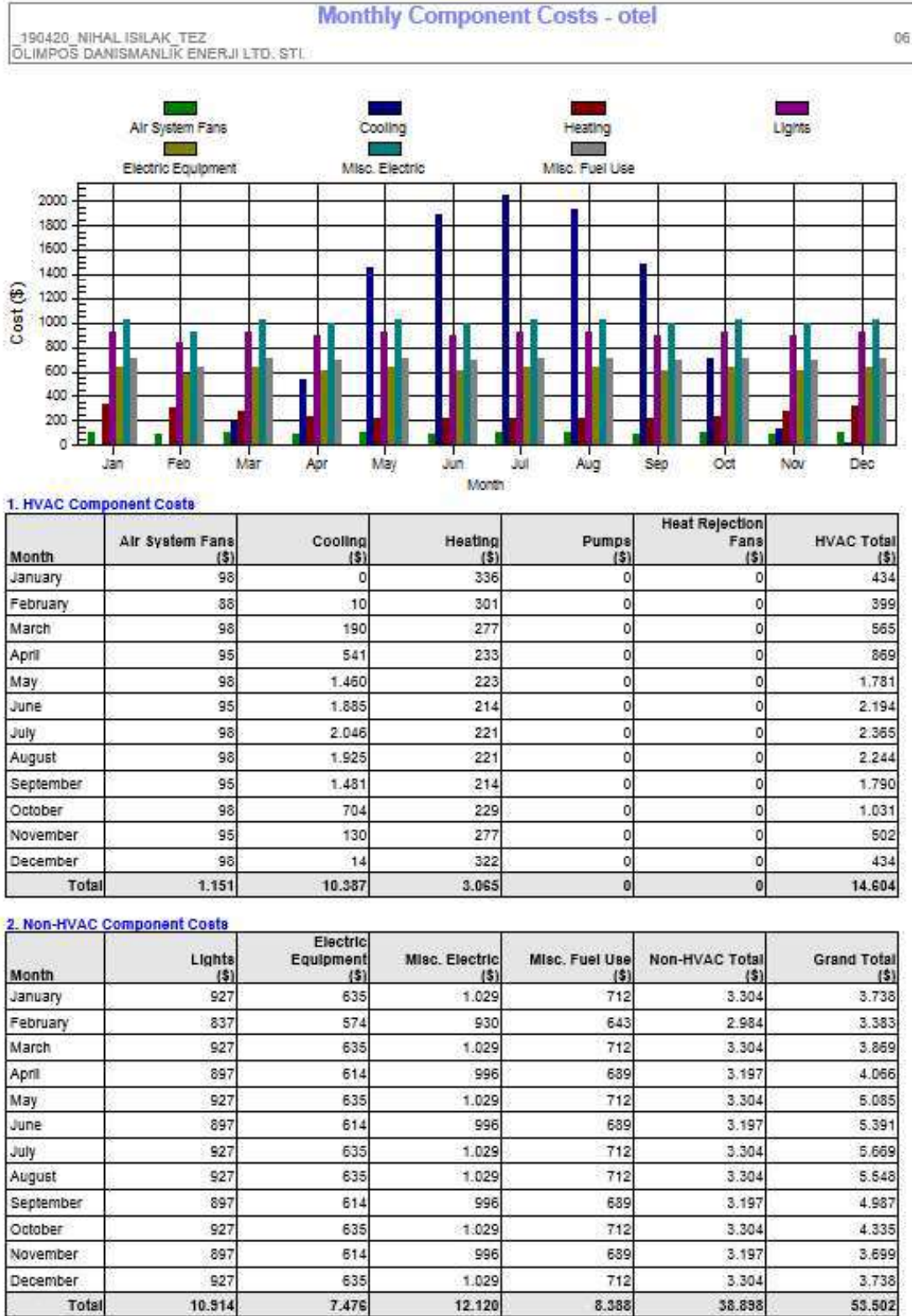
SHADING AND FENESTRATION

Building Massing and Zoning

Above-Ground Wall & Vertical Glazing Areas

Orientation	Baseline Design (0° rotation)			Proposed Design		
	Gross Above-Grade Wall Area	Vertical Glazing Area		Gross Above-Grade Wall Area	Vertical Glazing Area	
	(m ²)	(m ²)	(% WWR)	(m ²)	(m ²)	(% WWR)
North	-	-	-	900	542	60,3
North-Northeast	-	-	-	0	0	0,0
Northeast	-	-	-	0	0	0,0
East-Northeast	-	-	-	0	0	0,0
East	-	-	-	210	159	75,5
East-Southeast	-	-	-	0	0	0,0
Southeast	-	-	-	0	0	0,0
South-Southeast	-	-	-	0	0	0,0
South	-	-	-	925	0	0,0
South-Southwest	-	-	-	0	0	0,0
Southwest	-	-	-	0	0	0,0
West-Southwest	-	-	-	0	0	0,0
West	-	-	-	210	121	57,5
West-Northwest	-	-	-	0	0	0,0
Northwest	-	-	-	0	0	0,0
North-Northwest	-	-	-	0	0	0,0
Total	0	0	0,0	2.244	822	36,6

Çizelge B. 5. Sistem bazında aylık enerji tüketim maliyetleri



Çizelge B. 6. Sistem bazında yıllık enerji tüketim maliyetleri

Proposed Energy Summary by End Use

End Use	Unregulated ?	Energy Type	Units of Annual Energy and Peak Demand	Baseline	Proposed	Energy / Demand Savings per End Use	End Use Percent Contribution to Total Energy Savings	End Use Percent Contribution to Total Cost Savings	Percent of Total Proposed Site Energy Consumption
Interior Lighting		Electric	Consumption [kWh]	0	109.141	n/a	0,0 %	0,0 %	11,6 %
			Demand [kW]	0,0	25,8	n/a			
Space Heating		Electric	Consumption [kWh]	0	424	n/a	0,0 %	0,0 %	0,0 %
			Demand [kW]	0,0	0,2	n/a			
Space Heating		Natural Gas	Consumption [kWh]	0	137.407	n/a	0,0 %	0,0 %	14,6 %
			Demand [kW]	0,0	60,3	n/a			
Space Cooling		Electric	Consumption [kWh]	0	103.872	n/a	0,0 %	0,0 %	11,1 %
			Demand [kW]	0,0	60,6	n/a			
Pumps		Electric	Consumption [kWh]	0	0	n/a	0,0 %	0,0 %	0,0 %
			Demand [kW]	0,0	0,0	n/a			
Heat Rejection		Electric	Consumption [kWh]	0	0	n/a	0,0 %	0,0 %	0,0 %
			Demand [kW]	0,0	0,0	n/a			
Fans - Interior		Electric	Consumption [kWh]	0	11.511	n/a	0,0 %	0,0 %	1,2 %
			Demand [kW]	0,0	1,3	n/a			
Receptacle Equipment	X	Electric	Consumption [kWh]	0	74.764	n/a	0,0 %	0,0 %	8,0 %
			Demand [kW]	0,0	15,8	n/a			
Lifts	X	Electric	Consumption [kWh]	0	25.696	n/a	0,0 %	0,0 %	2,7 %
			Demand [kW]	0,0	4,6	n/a			
IT room split cooling unit		Electric	Consumption [kWh]	0	17.378	n/a	0,0 %	0,0 %	1,8 %
			Demand [kW]	0,0	2,8	n/a			
DHW heating		Natural Gas	Consumption [kWh]	0	341.932	n/a	0,0 %	0,0 %	36,4 %
			Demand [kW]	0,0	72,0	n/a			
Exterior lighting		Electric	Consumption [kWh]	0	5.716	n/a	0,0 %	0,0 %	0,6 %
			Demand [kW]	0,0	1,4	n/a			
WC exhaust fans		Electric	Consumption [kWh]	0	11.585	n/a	0,0 %	0,0 %	1,2 %
			Demand [kW]	0,0	1,8	n/a			
Booster pumps for fresh water		Electric	Consumption [kWh]	0	28.963	n/a	0,0 %	0,0 %	3,1 %
			Demand [kW]	0,0	4,6	n/a			
Kitchen (freezer, kitchen equi	X	Electric	Consumption [kWh]	0	31.859	n/a	0,0 %	0,0 %	3,4 %
			Demand [kW]	0,0	5,1	n/a			
kitchen (cooking)	X	Natural Gas	Consumption [kWh]	0	39.347	n/a	0,0 %	0,0 %	4,2 %
			Demand [kW]	0,0	9,1	n/a			

Çizelge B. 7. Toplam maliyetler

1. Annual Costs

Component	Annual Cost (\$)	(\$/m ²)	Percent of Total (%)
Air System Fans	1.036	0,276	2,2
Cooling	9.348	2,494	20,2
Heating	2.237	0,597	4,8
Pumps	0	0,000	0,0
Heat Rejection Fans	0	0,000	0,0
HVAC Sub-Total	12.621	3,367	27,3
Lights	9.823	2,620	21,3
Electric Equipment	6.729	1,795	14,6
Misc. Electric	10.908	2,910	23,6
Misc. Fuel Use	6.100	1,627	13,2
Non-HVAC Sub-Total	33.559	8,953	72,7
Grand Total	46.181	12,320	100,0

Note: Cost per unit floor area is based on the gross building floor area.

Gross Floor Area 3748,6 m²
 Conditioned Floor Area .. 3748,6 m²

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nihal IŞILAK

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1990

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : nhlguler@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Çınarlı Anadolu Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, 2007

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 2014

Mesleki Deneyim

Proje Isı Klima SAN. TİC. LTD. ŞTİ. 2014-2015

TOBERLİ AR-GE 2016-2017

EMNİYET GENEL MÜDÜRLÜĞÜ 2017-..... (halen)