



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



BİTİRME TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİSİ İLE HAVA ISITACAK,
İZOLASYONLU KOMPOZİT DUVAR DİZAYNI VE
SİMÜLASYONU**

Öğrencinin Adı ve Soyadı:

Barış AKDUR

Tezi Yöneten:

Yard. Doç. Dr. Turhan ÇOBAN

Haziran, 2012

İZMİR

SINAV SONUÇ FORMU

Aşağıda belirtilen bu çalışma, ... / ... / günü toplanan jürimiz tarafından, BİTİRME TEZİ olarak kabul edilmiştir / edilmemiştir.

Çalışmanın Adı: Güneş enerjisi ile hava ısıtacak, izolasyonlu kompozit duvar dizaynı ve simülasyonu

Öğrenci Adı, Soyadı : Barış AKDUR

Öğrenci No : 05070009003

Danışmanın Unvanı, Adı, Soyadı : Yard. Doç. Dr. Turhan ÇOBAN

Başarı Notu (rakam ve yazı ile) :

Başkan

Üye

Üye

ONAY

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın en başından itibaren her aşamada çalışmayı yönlendiren, hesaplamaların yapılmasında desteğini esirgemeyen hocam Yard. Dr. Turhan ÇOBAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Barış AKDUR
İzmir, 18.05.2012

ÖZET

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE HAVA ISITACAK İZOLASYONLU, KOMPOZİT DUVAR DİZAYNI VE SİMÜLASYONU

AKDUR, Barış

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Turhan ÇOBAN

Tüm dünyada enerji tüketiminin hızla arttığı şu günlerde, konvansiyonel enerji kaynaklarının giderek azalması insanoğlunu yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmaya teşvik etmektedir. Bu paralelde, binaların ısıtma ihtiyacının karşılanmasında güneş enerjisinin kullanımı, ısı depolama duvarları olarak bilinen Trombe Duvar çalışmalarının başlamasıyla günümüzde oldukça yaygın bir hale gelmiştir.

Binaların güney cephesinde kullanılan Trombe Duvar'ı, güneşten gelen ışınları, koyu renkle kaplanmış yüzeyi sayesinde emerek depo eder. Bu depolanan ısıyı da doğal taşınım ve duvar boyunca iletim yoluyla odaya transfer eder. Bu projede ise duvar, iç yüzeyden izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır. Böylelikle duvarın termal direnci arttırılmış olup, yalnızca doğal taşınım ile ısı transferi gerçekleştirilerek daha kontrollü bir ısı akışı sağlanmıştır. Bu tipte bir sistem İzolasyonlu Trombe Duvarı adını almaktadır.

Çalışmamızda; güneş, pasif sistemler ve Trombe Duvarları hakkında genel bilgiler verilmiş olup, örnek olarak Bornova koşulları altında bir İzolasyonlu Trombe Duvarı tasarlanmış ve elde edilen analitik sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu aşamadan sonra Trombe Duvarları üzerinde yapılacak çalışmalar daha uzun süreli ısıtma ihtiyaçları karşılanacak şekilde geliştirilmeye açıktır. Bu doğrultuda, faz değişim materyallerinin, Trombe Duvarı sistemlerine adapte edilerek kullanılması mümkün olabilir.

Anahtar Kelimeler: Trombe Duvarı, İzolasyonlu Trombe Duvarı, Doğal Taşınım

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	4
TABLO LİSTESİ	7
ŞEKİL LİSTESİ	8
SEMBOLLER	10

Bölüm I

GİRİŞ

1. GÜNEŞ VE GÜNEŞ IŞINIMI	12
1.1. Güneş	12
1.2. Solar Sabiti	13
1.3. Solar Spektrum	15
1.4. Hava Kütlesi	16
1.5. Işın Dağılma ve Toplam Radyasyon	17
1.6. Solar Radyasyon Geometrisi	18
1.7. Güneşle İlgili Açılar ve Tanımlamalar	19
1.7.1. Enlem ve Boylam.....	19
1.7.2. Yüzeyin Eğimi	19
1.7.3. Yüzey Azimut Açısı.....	20
1.7.4. Saat Açısı	20
1.7.5. Güneş Zamanı	20
1.7.6. Eğim (Deklinasyon) Açısı	21
1.7.7. Güneş Açıları	22
1.7.8. Gün Doğumu Ve Gün Batımı	23
1.7.9. Yatay Eksende Dünya Dışı Radyasyon	24

1.8.	Eğimli Yüzeylerdeki Solar Radyasyon.....	25
1.8.1.	Eğimli Yüzeydeki Saatlik Radyasyon Miktarı	26
1.8.2.	Eğimli Yüzeydeki Günlük Radyasyonun Aylık Ortalaması.....	28
2.	GÜNEŞ ENERJİLİ ISITMA SİSTEMLERİ.....	31
2.1.	Pasif Sistemler	32
2.2.	Pasif Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları	33
2.3.	Pasif Sistem Dizaynında Bina Yön Seçimi ve Hacimlerin Yerleştirimi	33
2.4.	Temel Pasif Sistem Dizaynı	35
2.4.1.	Direkt Kazanç Sistemleri	35
2.4.2.	İndirekt Kazanç Sistemleri.....	37

Bölüm II

ÇALIŞMALARIM

3.	ISIL DEPOLAMA KÜTLELERİ	38
3.1.	Trombe Duvarlarının Tasarımı Ve Tipleri	39
3.1.1.	Havalandırmasız Trombe Duvarı.....	39
3.1.2.	Havalandırmalı (Klasik) Trombe Duvarı.....	40
3.1.3.	İzolasyonlu Trombe Duvarı	41
3.1.4.	Kompozit Güneş Duvarı	42
4.	İZOLASYONLU KOMPOZİT DUVAR (İZOLASYONLU TROMBE DUVARI) DİZAYNI	44
4.1.	İzolasyonlu Trombe Duvarı'nda Kullanılan Malzemeler.....	44
4.1.1.	Cam Malzeme	44
4.1.2.	Isıl Kütle	47
4.1.3.	Selektif Boya.....	50
4.1.4.	Isıl Kütle İle Cam Malzeme Arasındaki Hava Boşluğu Mesafesi	51
4.1.5.	Havalandırma Kanalları	52

4.1.6. İzolasyon ve Reflektör Yüzey.....	54
4.1.7. Koruyucu Çatı.....	56
4.2. Analitik Hesap.....	59
4.3. Maliyet Analizi.....	68
5. JAVA PROGRAMLAMA DİLİ YARDIMIYLA OTOMATİKLEŞTİRİLEN HESAPLAMALAR.....	71

Bölüm III

SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

6. SONUÇ	80
7. KAYNAKLAR.....	83
8. EKLER.....	85
8.1. Java Programlama Dilinde Yazılmış Programın Kaynak Kodu.....	85

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Farklı mühendislik birimleriyle solar sabiti I_{sc} değerleri [2]	14
Tablo 1.2 Java programlama dili ile hazırlanmış her ayın ortasındaki güne ait radyasyon miktarı (W/m^2).....	14
Tablo 1.3 80 dereceden büyük doruk açıları için hava kütlesi [2].....	17
Tablo 1.4 1 Ocak'tan itibaren Gün sayısının hesaplanması [2]	22
Tablo 1.5 H_0 'ın H_0 'a eşit olduğu günler [2]	24
Tablo 1.6 Bazı yüzeylerin ortalama yansıtıcılık değerleri [2]	27
Tablo 1.7 38.28° enlemindeki Bornova'daki yatay yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması (MJ/m^2) [16]	30
Tablo 1.8 Java programlama dili ile hesaplanan, Bornova'da $\rho=0,8$ yer yansıtma oranına sahip, 90°'lik yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamaları (MJ/m^2).....	30
Tablo 3.1 Bir hacimdeki sıcaklık değişimlerinin çift cam ile izolasyonu sağlanmış bir beton duvarın kalınlığına bağlı olarak değişimi [3].....	40
Tablo 4.1 F faktörünün enlem ile değişimini gösteren tablo [14].....	57
Tablo 5.1 Bornova koşullarında aylara göre değişen H ve HT değerleri.....	73
Tablo 5.2 Java programlama dili ile hesaplanmış olan, her ayın ortasındaki güne ait gün uzunluğu	76
Tablo 6.1 Kış ayları için giriş sıcaklıkları ve toplam ısıtma süreleri	81

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Dünya ile Güneş arasındaki mesafenin değişimi	13
Şekil 1.2 Atmosfer dışındaki solar radyasyon spektrumu	15
Şekil 1.3 Güneş ışınlarının atmosferde geçtiği hava kütlesi miktarı	17
Şekil 1.4 Mevsimlerin oluşması	19
Şekil 1.5 Yüzey azimut açısı	20
Şekil 1.6 Deklinasyon açısı δ	21
Şekil 2.1 Direkt kazanç sistemi	36
Şekil 3.1 Örnek bir Trombe Duvarı.....	38
Şekil 3.2 Havalandırmasız Trombe Duvarı	39
Şekil 3.3 Klasik Trombe Duvarı (Havalandırmalı)	41
Şekil 3.4 İzolasyonlu Trombe Duvarı	42
Şekil 3.5 Kompozit Güneş Duvarı.....	43
Şekil 4.1 Cam yüzeyine gelen güneş ışınının izlediği yollar.....	45
Şekil 4.2 Trakya Cam Kataloğu [15].....	47
Şekil 4.3 Bir yüzü izole edilmiş beton duvarın günlük ısı depolama kapasitesinin, kalınlığına ve özkütlesine göre değişimi[3].....	49
Şekil 4.4 Parsons siyah boyanın yüzey yaymasının dalga boyuyla değişimi.....	50
Şekil 4.5 Hava boşluğundaki konvektif hava döngüsü.....	51
Şekil 4.6 Gece izolasyonunun kullanıldığı pasif sistemlerle, gece izolasyonunun kullanılmadığı pasif sistemlerdeki yıllık solar kazanç [3].....	55
Şekil 4.7 İzolasyonlu yansıtıcı panel	56
Şekil 4.8 Koruyucu çatı	57
Şekil 4.9 3 boyutlu modelin gündüz vakti yansıtıcı metal levha devrede olduğu zamanki görüntüsü	58
Şekil 4.10 3 boyutlu modelin gündüz vaktindeki iç taraftan görünümü	58
Şekil 4.11 3 boyutlu modelin gece vakti dış izolasyon devreye alındığı zamanki görüntüsü	59

Şekil 4.12 Camdan geçen solar radyasyonun izlediği yol	60
Şekil 4.13 Selektif yüzeyin gri cisim ışıması	60
Şekil 4.14 1 atmosfer toplam basınçta karbon dioksitin ışıyım yayma oranı[5]	64
Şekil 4.15 1 atmosfer toplam basınçta su buharının ışıyım yayma oranı[5]	64
Şekil 4.16 Sisteme giriş ve çıkış sıcaklıkları	67
Şekil 5.1 Java Programının “Ne hesaplanmasını istiyorsunuz?” ekran görüntüsü.....	71
Şekil 5.2 Bornova için “eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması” hesaplaması için veri girişi ekran görüntüsü	72
Şekil 5.3 Bornova için $Ay-H-H_0-KT-Hd-Rb-Rd-Rr-HT$ tablosu ekran görüntüsü	72
Şekil 5.4 Programın başka bir hesap yapıp yapmamasının sorulduğu ekran görüntüsü	73
Şekil 5.5 “Mevsimlere göre değişen solar sabiti” hesaplaması için veri girişi ekran görüntüsü	73
Şekil 5.6 Her ayın ortasındaki gün ile 1 Ocak arasındaki gün sayısına göre değişen hesaplanmış solar sabiti ekran görüntüsü	74
Şekil 5.7 Mevsimlere bağlı olarak değişen solar sabiti grafiği.....	75
Şekil 5.8 Bornova’daki “Gün uzunluğu” hesaplaması için veri giriş ekranları.....	76
Şekil 5.9 Isınan havanın hacme giriş sıcaklığının hesaplanması için kullanılan programın veri girişi ekran görüntüsü.....	77
Şekil 5.10 Ocak ayındaki ortalama hacme giriş sıcaklığının hesaplanmasında Bölüm 4.2’de kullanılmış olan verilerin programa giriliş ekran görüntüsü	77
Şekil 5.11 Hacme giriş sıcaklığı için girilen veriler sonucunda elde edilen değerler	78
Şekil 5.12 Sistemin toplam ısıtma süresinin hesaplanmasında kullanılan programın veri girişi ekran görüntüsü	78
Şekil 5.13 Sistemin toplam ısıtma süresini hesaplamak için programa girişi yapılan veriler ve bu veriler yardımıyla elde edilen sonuçlar.....	79
Şekil 6.1 Güneş akısına göre oda sıcaklığının duvar tiplerine göre değişimi.....	81

SEMBOLLER

I_0	Solar Sabiti
I_{sc}	Mevsimlere göre değişen solar sabiti
m_0	Hava kütlesi
m_z	Z yüksekliğindeki hava kütlesi
P_0	Deniz seviyesindeki hava basıncı
P_z	Z yüksekliğindeki hava basıncı
θ	Güneş ışınlarının yüzeye geliş açısı
β	Yüzeyin eğimi
γ	Yüzey azimut açısı
ω	Saat açısı
t_s	Güneş zamanı
δ	Deklinasyon açısı
ω_{sr}	Gün doğumu açısı
ω_{ss}	Gün batımı açısı
S_{max}	Gün uzunluğu
H_0	Yatay bir yüzeye düşen günlük dünya dışı radyasyon miktarı
I_{dt}	Eğimli bir yüzeydeki radyasyonun dağılım oranı
I_{bt}	Eğimli bir yüzeydeki radyasyonun ışıma oranı
I_{rt}	Eğimli bir yüzeydeki radyasyonun yansıma oranı
ρ	Yüzeyin yansıtıcılık oranı
I_t	Eğimli yüzeye düşen toplam radyasyon miktarı
I_d	Yatay yüzeyde absorbe edilen radyasyon miktarı
I_b	Yatay yüzeyde ışın halindeki radyasyon miktarı
I	Yatay yüzeye düşen toplam radyasyon miktarı
R_b	Işın radyasyonunun etki faktörü
R_d	Yayılan radyasyonun etki faktörü
R_r	Yansıyan radyasyonun etki faktörü
k_T	Saatlik açıklık indeksi
$\bar{H}_T$	Eğimli yüzeydeki günlük radyasyonun aylık ortalaması
$\bar{H}$	Yataydaki günlük radyasyonun aylık ortalaması
$\bar{H}_d$	Yataydaki dağılan radyasyonun aylık ortalaması

$\bar{R}_b$	R_b 'nin aylık ortalama değeri
$\bar{R}_d$	R_d 'nin aylık ortalama değeri
$\bar{R}_r$	R_r 'nin aylık ortalama değeri
ω_{sT}	Eğimli yüzeydeki gün doğumu saat açısı
$\bar{K}_T$	Aylık ortalama açıklık indeksi
α	Ortaman absorpsiyon katsayısı
τ	Ortaman geçirgenlik katsayısı
ρ	Ortaman yansıtıcılık katsayısı
ε	Yüzey yayma oranı
σ	Stefan – Boltzman sabiti
U	Isıl geçirgenlik katsayısı
R	Isıl direnç katsayısı
k	Isı iletim katsayısı
h	Taşınım ısı transfer katsayısı
Nu	Nusselt sayısı
Ra	Rayleigh sayısı
Pr	Prandtl sayısı
β	Hacimsel genleşme katsayısı
F	Koruyucu çatı faktörü
a	Isıl yayılım katsayısı
ν	Kinematik viskozite
g	Yerçekimi ivmesi
$\bar{V}$	Ara boşluktaki gazın ortalama hızı
$\dot{m}$	Havanın kütleli debisi
$L_{eş}$	Gazın eşdeğer tabaka kalınlığı

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1. GÜNEŞ VE GÜNEŞ IŞINIMI

1.1. Güneş

Güneş, güneş sisteminin merkezinde yer alır ve elektromanyetik ışımlar yaparak enerji yayar. Dünyamızın enerji kaynağı olan güneş, saman yolu galaksisindeki 10^{14} yıldızdan biridir. Güneş, çapı $1,39 \times 10^9$ m. olan sıcak bir gaz küresidir ve dünyadan yaklaşık olarak $1,5 \times 10^{11}$ m. uzaklıktadır.[2] Güneşin kütlesi yaklaşık olarak 2×10^{30} kilogramdır ve bu kütle, dünyanın kütesinin yaklaşık olarak 330000 katıdır.[2]

Güneş enerjisinin %90'ının termonükleer füzyon sonucu güneşin merkez bölgesinde olduğu düşünülmektedir. Bu merkezi bölgede açığa çıkan enerji yaklaşık $3,83 \times 10^{26}$ Watt'tır [2] ve bu bölgedeki sıcaklık 15×10^6 Kelvin derece (K) aralığındadır.[1]

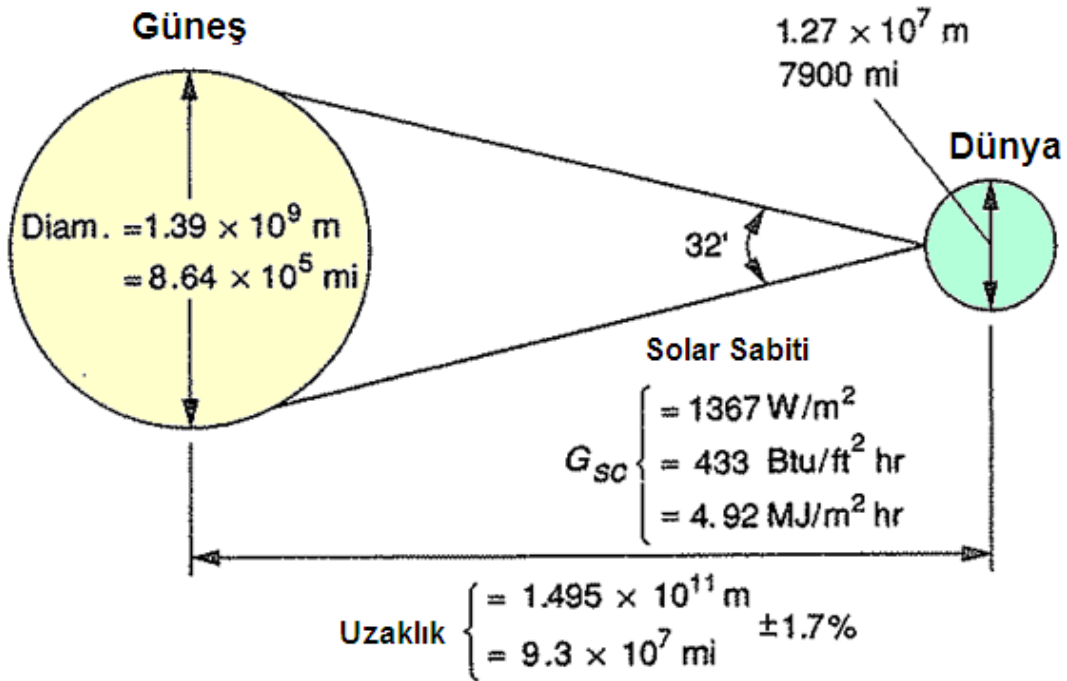
Güneşin en dışında yer alan küresel kabuk fotosfer olarak adlandırılır ve solar radyasyonun büyük bir bölümü bu kabuktan yayılmaktadır. Fotosfer'deki enerji miktarı 6.33×10^7 W/m²'dir ve bu kabuktaki sıcaklık yaklaşık 6050 K.'dir[2]. Fotosferin ötesinde derinliği yaklaşık 10000 km. olan bir gaz tabakası bulunur ve bu gaz tabakası kromosfer olarak adlandırılır[2]. Kromosfer tabakasının 5000 ile 50000 K sıcaklıkları arasında düşük yoğunluklu bir yapısı vardır[2]. Kromosferin de ötesinde korona adı verilen daha düşük yoğunluklu bir tabaka yer alır. Korona tabakasındaki sıcaklık 8×10^5 ile 3×10^6 K arasındadır.[2]

5777 K sıcaklığında güneşin siyah cisim ışıması yaptığı kabul edilir.[1] Siyah cisim kavramı ise gerçek yüzeylerin ısıtım özellikleri açıklanırken değinilmesi gereken bir kavramdır. Mükemmel bir yutucu ve yayıcı olarak siyah cisim, gerçek yüzeylerin ısıtım özelliklerinin karşılaştırılabileceği bir standart oluşturur. Siyah cismin özellikleri aşağıda belirtildiği gibidir: [4]

1. Siyah cisim, hangi dalga boyunda olursa olsun ve hangi yönden gelirse gelsin üzerine düşen tüm ışınımı yutar.
2. Verilen bir sıcaklık ve dalga boyunda, hiçbir cisim siyah cisimden daha fazla ışınım yayamaz.
3. Siyah cismin yaydığı ışınım her ne kadar dalga boyu ve sıcaklığın fonksiyonu olsa da yönden bağımsızdır. Başka bir deyişle siyah cisim eşit dağılı bir yayıcıdır.

1.2. Solar Sabiti

Güneşin yüzeyindeki enerji miktarı $6.33 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ 'dir.[2] Dünyanın güneş etrafındaki eliptik yörüngesinden dolayı güneş ve dünya arasındaki uzaklık yıl boyunca bir miktar değişime uğrar.(%1.7) [1] Yaklaşık $1.495 \times 10^{11} \text{ m}$ uzaklıkta dünya ve güneş arasındaki açı 32° olur. Solar sabiti ise birim zamanda atmosfer dışındaki 1 m^2 'lik alana dik olarak düşen solar radyasyonun yarattığı enerji miktarıdır ve 1367 W/m^2 'dir.[1]



Şekil 0.1 Dünya ile Güneş arasındaki mesafenin değişimi

Bu sayıya solar sabiti denir ve I_{sc} olarak ifade edilir. Solar sabiti dünya-güneş arasındaki uzaklığın değişmesinden dolayı ortaya çıkan mevsimsel farklar nedeniyle az da olsa değişebilir. Solar sabitinin değeri aşağıda verilen formül yardımıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$I_{sc} = I_0 \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360N}{365} \right) \right] \quad (1.1)$$

Bu denklemde I_{sc} atmosfer dışındaki radyasyonu, N ise 1 Ocak'tan itibaren geçen gün sayısını belirtir. Mevsimlere göre değişen atmosfer dışı solar radyasyonu hesaplayan bilgisayar program çıktısı **Ekler** kısmında verilmiştir.

Tablo 0.1 Farklı mühendislik birimleriyle solar sabiti I_{sc} değerleri [2]

1367 W/m ²
136.7 mW/cm ²
127.0 W/ft ²
1.960 cal/ cm ² min
1.960 Ly/min
433.4 Btu/ft ² hr
0.120 Btu/ft ² s

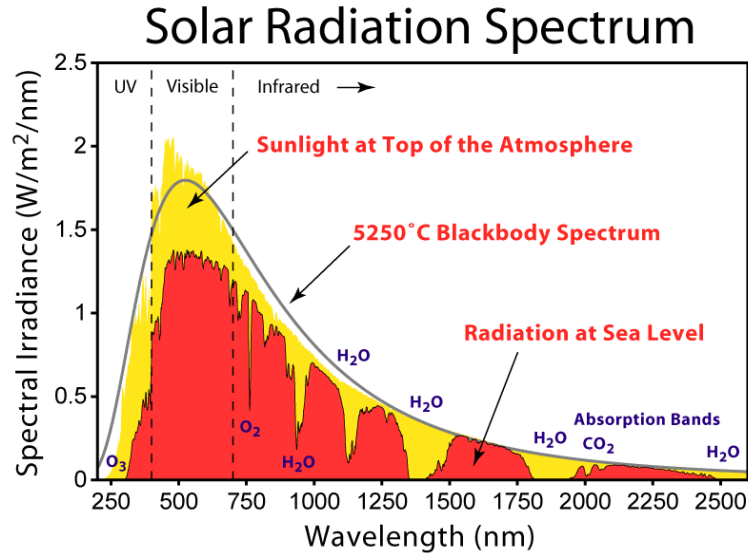
Tablo 0.2 Java programlama dili ile hazırlanmış her ayın ortasındaki güne ait radyasyon miktarı (W/m²)

Ocak: 1410,04	Temmuz: 1323,28
Şubat: 1399,23	Ağustos: 1335,03
Mart: 1379,45	Eylül: 1354,91
Nisan: 1356,42	Ekim: 1378,70
Mayıs: 1335,58	Kasım: 1398,69
Haziran: 1323,69	Aralık: 1410,61

1.3. Solar Spektrum

Işık kaynakları, çok farklı dalga boylarında ışık yaymaktadırlar. Akkor lambalar, filaman sıcaklığına bağlı olarak değişen renklerle geniş bir spektrumda ışık yayarlar. Yüksek basınçlı cıva-ksenon lambalar ise çok dar bir spektrumda ışık yayarlar. Lazerler, monokromatik ışık oluşturmurlar.

Güneş, ışığını çok geniş bir spektrum içinde elektromanyetik radyasyon şeklinde yayar. 400 nanometreden (nm) küçük dalga boyları morötesi ışık, 700 nm'den büyük dalga boyundaki ışık ise kızılötesi ışık olarak adlandırılır. [2] Görülebilir ışık aralığı ise kızılötesi ışınlar ve morötesi ışınların arasında kalan bölgedir. Atmosfer dışındaki solar radyasyon spektrumu Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 0.2 Atmosfer dışındaki solar radyasyon spektrumu

Bu spektrum 200 nm ile 3000 nm arasında yaklaşık 500 nm tepe noktasına sahip sürekli bir spektrum olmakla beraber bu spektrum yaklaşık olarak 5762 K'deki siyah gövde ışımasına denk gelir[2]. Solar radyasyonun atmosferden geçince spektrumu ve şiddeti şekil 1.2'den de görülebileceği gibi bozulmaya uğramaktadır. Ozon tabakası morötesi bandındaki radyasyonu emer. Su buharı ve karbondioksit ise kızılötesi bandındaki radyasyonu emer. Güneş enerjisinin yaklaşık olarak %48'i (656 W/m^2) yeryüzüne görülebilir spektrumda ulaşmaktadır. % 6'sı (88 W/m^2) morötesi spektrumda ve yaklaşık

%45'i (623 W/m^2) kızılötesi spektrumda yeryüzüne ulaşır.[2] Yeryüzüne ulaşan solar enerji spektrumu, güneş ışınının atmosferin ne kadarlık bir miktarından geçtiğine bağlıdır. Bu faktör hava kütlesi cinsinden ölçülmektedir.

1.4. Hava Kütlesi

Işın radyasyonunun atmosferden geçerken izlediği yolun, güneşin radyasyonunun dik olduğu durumda izleyeceği yola oranına hava kütlesi denir. Bir başka deyişle güneş ışığının atmosferde aldığı yol süresince içinde geçtiği hava miktarıdır. Hava kütlesi (m_0), şekil 1.3'te de gösterildiği gibi yaklaşık olarak 1'in güneş ışığının normalle yaptığı açıya oranı olarak tanımlanır.

$$m_0 = \frac{1}{\cos\theta} \quad (1.2)$$

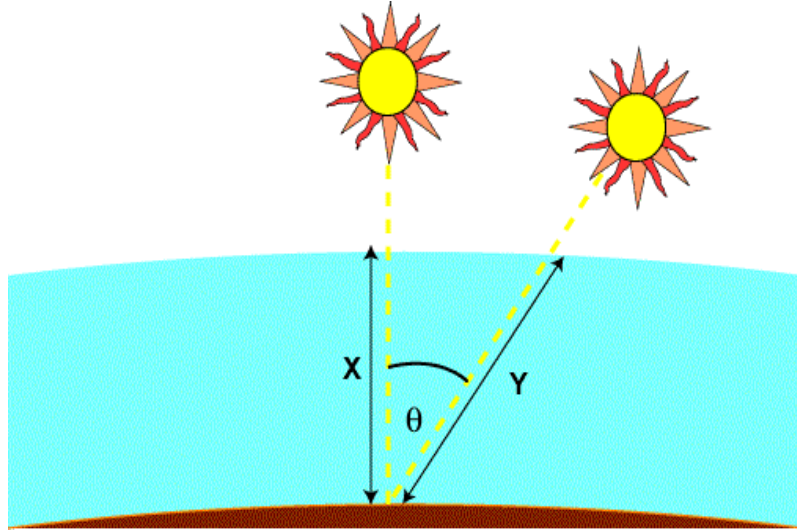
Dik gelen radyasyon için, güneş ışığının 1.0'luk bir hava kütlesinden geçtiği varsayılır. 80 dereceden büyük açılar için hava kütlesi sonsuza ulaşır ve bu durumda Tablo 1.3'te Robinson(1996) tarafından verilen değerler kullanılabilir. Hava kütlesi normal olarak deniz seviyesinde alınır ve z yüksekliğinde bulunan bir yerdeki hava kütlesi ise;

$$m_z = m_0 \frac{P_z}{P_0} \quad (1.3)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada m_z z yüksekliğindeki hava kütlesi, m_0 ise deniz seviyesindeki hava kütlesidir. P_z z yükseklikteki hava basıncı ve P_0 ise deniz seviyesindeki hava basıncıdır.

Tablo 0.3 80 dereceden büyük doruk açıları için hava kütlesi [2]

Doruk Açısı	Hava kütlesi
80	5.63
85	10.69
86	12.87
87	16.04
88	20.84
89	28.35
90	29.94



Şekil 0.3 Güneş ışınlarının atmosferde geçtiği hava kütlesi miktarı

1.5. Işın Dağılma ve Toplam Radyasyon

Yukarıda da bahsettiğimiz gibi atmosfer, dünya yüzeyine ulaşan solar radyasyon miktarında azalmaya sebep olur. Havanın açık olduğu bir günde yeryüzüne ulaşan enerji miktarı, atmosferden geçmeden önce sahip olduğu enerjinin yaklaşık olarak %30'unu burada kaybeder.[2] Bu oran bulutlu bir günde %80'lere kadar çıkabilir.[2] Solar radyasyon atmosfere girdiği zaman bir kısmı absorbe edilir, bir kısmı yansıtılır, bir kısmı da dağılır. Radyasyonun yansımayan ya da dağılmayan kısmı yeryüzüne doğrudan gelir ve

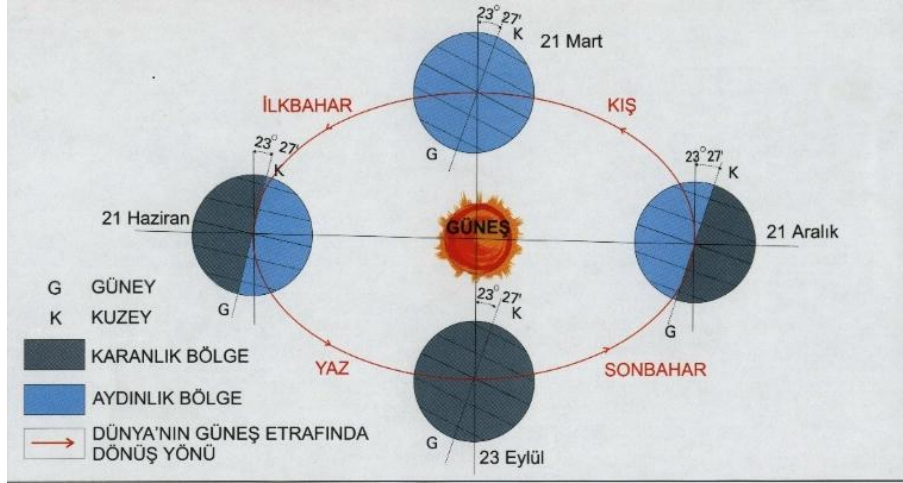
buna doğrudan veya ışın radyasyonu denir. Dağılan radyasyonun yeryüzüne ulaşan miktarına dağılma radyasyonu denir. Radyasyonun bir kısmı yeryüzünden yansır, buna da akılık adı verilir. Yüzeye düşen toplam radyasyon miktarı, bu üç radyasyon miktarının toplamına eşittir. Buna da toplam radyasyon veya global radyasyon adı verilir.

Havanın açık olduğu bir günde ışın radyasyonu, toplam radyasyonun % 80'i ile % 90'ını oluşturur.[2] Dağılan radyasyon bütün yönlerden gelir ve radyasyon gölgede görebilmemizi sağlar. Eğer dağılan radyasyon olmasaydı, gökyüzü mavi değil karanlık olurdu. Bu olgu, dağılan radyasyonun oluşmasını sağlayan atmosferin olmadığı Ay'da astronomlar tarafından gözlenmiştir. Açık bir günde dağılma radyasyonu, toplam radyasyonun yaklaşık %20'si kadardır.[2] Dağılma radyasyonu yoğunlaştırılamadığından yalnızca yassı güneş ışınımı toplayan yüzeylerde kullanışlıdır. Yerden yansıyan radyasyon, yani akılık miktarı yüzeyin yansıtma özelliğine bağlıdır. (Çimen, kar, kuru veya ıslak toprak, beton vb.)

1.6. Solar Radyasyon Geometrisi

Dünya kendi düzlemine göre eğik bir eksende döner ve bu hareketinin sonucu dünya yüzeyine gelen solar radyasyon miktarında mevsimsel değişiklikler yaşanır. Güneşten gelen enerjiyi nasıl toplayacağımızı anlamak için öncelikle yılın herhangi bir zamanında güneşin yerini toplayıcı cihaza göre hesaplamamız gerekmektedir.

Dünya, eliptik yüzey ismi verilen bir eksende, 365 gün 6 saatte bir kez güneşin etrafında bir defa turlar. Ayrıca her 24 saatte bir de kendi eksenini etrafında bir tur atar. Dünyanın eksenini, eliptik eksene göre 23.45° eğiktir. Dünyanın kendi eksenini etrafında yaptığı dönüş gün ve geceleri oluştururken, güneşin etrafında dönerken de 23.45 derecelik eğim dolayısıyla mevsimler meydana gelir.



Şekil 0.4 Mevsimlerin oluşması

Şekilde görüldüğü gibi kuzey yarımkürede kış olduğu zaman dünyanın kuzey kısmı güneşten uzaklaşacak şekilde eğik kalmıştır. Aynı şekilde, kuzey yarımkürede yaz olduğu zaman dünyanın kuzey kısmı güneşe doğru eğilmiştir. İlkbahar ve sonbaharda ise eğiklik ne güneşe doğru ne de güneşten uzak kalmış biçimdedir. 21 Haziran ve 21 Aralıkta maksimum eğiklikler meydana gelir (Yaz gündönümü ve kış gündönümü). 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde ise eğim sıfırdır (ekinoks).

1.7. Güneşle İlgili Açılar ve Tanımlamalar

1.7.1. Enlem ve Boylam

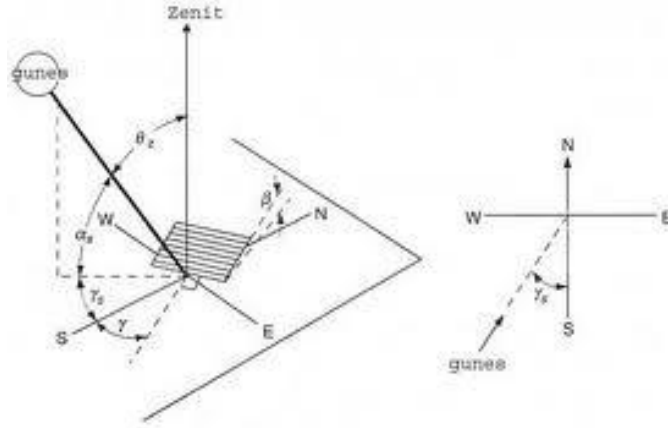
Dünya üzerindeki herhangi bir noktanın yeri enlem ve boylamları yardımıyla tam olarak belirlenebilir. Dünya enlem ve boylamlar yardımı ile alanlara ayrılmışlardır. Kutup dairelerinden geçen boylamlara meridyen denmektedir. Başlangıç meridyeninin (Greenwich-İngiltere) doğusunda kalan boylamlar pozitif, batısında kalan boylamlar ise negatif boylamlardır. Ekvatora paralel olarak geçen ve ekvator dan kutuplara kadar çizilen daireler ise enlem olarak adlandırılır. Enlem, ekvator da sıfırdır ve kutuplara doğru gidildikçe artar. Kuzey kutbundan 90, Güney Kutbunda ise -90° dir ($-90 < \Phi < 90$).

1.7.2. Yüzeyin Eğimi

Düzlem yüzey ile yatay arasındaki açıyı tanımlar. Yüzey eğimi 0 ila 180° arasındadır ($0 < \beta < 180$).

1.7.3. Yüzey Azimut Açısı

Eğik düzlem ile yatay düzlem arakesit doğrusu üzerinde seçilen, eğik düzlem normalinin yatay düzlem üzerindeki izdüşümünün güney yönünü gösteren doğrultu ile arasındaki açıdır ve eğik düzlemin yatay düzlem üzerindeki konumunu verir.



Şekil 0.5 Yüzey azimut açısı

Güneye bakan bir düzlem için azimut açısı $\gamma=0^\circ$ 'dır. Yüzey azimut açısı -180 ve 180 dereceleri arasında değişir ($-180 < \gamma < 180$). Güneyden doğuya doğru, kuzeye kadar negatif (-), güneyden batıya doğru kuzeye kadar (+) değer alır.

1.7.4. Saat Açısı

Güneş saatinin bir çeşit açısal ölçümüdür ve her saat için 15° 'ye eşittir. Öğle zamanı sıfırdır ve her saatte bir 15° artar. Açı, sabahları negatif, öğleden sonraları ise pozitif değer alır. Saat açısı, ω , güneş açısıyla alakalıdır ve verilen formülle hesaplanır:

$$\omega = 15 \times (12 - t_s) \quad (1.4)$$

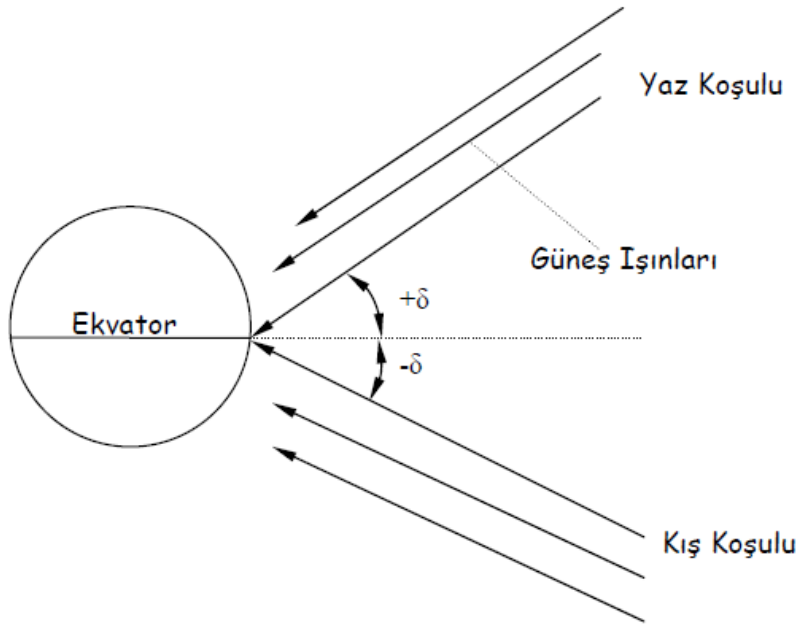
1.7.5. Güneş Zamanı

Gökyüzünde güneşin açısal hareketinin zaman esaslı gösterimidir. Güneş, gözlemci boylamından geçerken ve gözlemci için güneş yükseklik açısı h 'nin en yüksek değerini aldığı an o gözlem yerinde güneş saati ile o yerin öğlen vaktidir. Yani güneş zamanı 12 ve saat açısı da sıfırdır.

Bütün güneş-açı ilişkilerinde güneş zamanı kullanılır. Güneş zamanı ile yerel saat birbirinden tamamen farklı kavramlardır.

1.7.6. Eğim (Deklinasyon) Açısı

Dünya ekvatorunu içeren yüzey ekvatorial yüzey olarak anılır. Eğim açısı ise, güneş ve dünya merkezlerini birleştiren çizginin ekvatorial yüzey ile yaptığı açıdır (δ). Eğim açısı 21 Haziranda 23.45° ile en büyük değerini alırken, 21 Aralıkta ise -23.45° ile en küçük değerini alır. Bu süre aralığında ise δ eğim açısı 23.45 ve -23.45 dereceleri arasında değişir. 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde δ eğim açısı sıfır değerini alır.



Şekil 0.6 Deklinasyon açısı δ

Eğim açısını hesaplamak için şu formül kullanılır:

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} \times (284 + N) \right] \quad (1.5)$$

Burada δ derece cinsinden eğim açısını, N ise 1'den 365'e kadar yılın günlerini gösterir.

Tablo 0.4 1 Ocak'tan itibaren Gün sayısının hesaplanması [2]

Ay	n
Ocak	$n=D$
Şubat	$n=D+31$
Mart	$n=D+59+L$
Nisan	$n=D+90+L$
Mayıs	$n=D+120+L$
Haziran	$n=D+151+L$
Temmuz	$n=D+181+L$
Ağustos	$n=D+212+L$
Eylül	$n=D+243+L$
Ekim	$n=D+273+L$
Kasım	$n=D+304+L$
Aralık	$n=D+334+L$

D =Ayın hangi günü olduğu. Eğer artık yıl varsa $L=1$, yoksa $L=0$ alınır.

1.7.7. Güneş Açıları

Herhangi bir yüzeye dik olarak gelen ışın eşitliğini hesaplamak için, yüzey ile solar radyasyon arasındaki açı ilişkisi (θ) çok önemlidir. Bu hesap bazı değişkenlere bağlıdır.

Φ : Enlem açısı

δ : Eğim açısı

β : Yüzeyin eğimi

γ : Yüzey azimut açısı

ω : Zaman açısı

$$\cos\theta = \sin\Phi (\sin\delta \cos\beta + \cos\delta \cos\gamma \cos\omega \sin\beta) + \cos\Phi (\cos\delta \cos\omega \cos\beta - \sin\delta \cos\gamma \sin\beta) + \cos\delta \sin\gamma \sin\omega \sin\beta \quad (1.6)$$

formülü ile güneş radyasyonunun yüzey normali ile yaptığı θ açısı belirlenir.

Bizim çalışmamızda kullanılan yüzeyin açısı $\beta=90$ derecedir. Ayrıca duvarımız tam olarak güney cepheye yerleştirildiğinden yüzey azimut açısı $\gamma=0$ 'dır. Bu şartlar altında denklem 1.6, aşağıdaki formu alır.

$$\cos\theta = \sin\Phi \cos\delta \cos\omega - \cos\Phi \sin\delta \quad (1.7)$$

1.7.8. Gün Doğumu Ve Gün Batımı

Belirli bir bölgedeki gün doğumu ve gün batımı zamanlarının bilinmesi kimi zaman gerekli olabilir. Gün doğumu ya da gün batımında solar yükseklik sıfıra eşittir. Gün doğumunda zirve açısı 90° , gün batımında ise -90° 'ye eşit olur. Yüzeyin düz olduğu varsayılırsa gün doğumu ve gün batımı saat açıları aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanabilir.

Gün doğumu açısı:

$$\omega_{sr} = \cos^{-1}(-\tan\Phi \tan\delta) \quad (1.8)$$

Gün batımı açısı:

$$\omega_{ss} = \cos^{-1}(-\tan\Phi \tan\delta) \quad (1.9)$$

Ayrıca gün ışığı saati ise genelde S_{max} ile gösterilir;

$$S_{max} = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan\Phi \tan\delta) \quad (1.10)$$

Burada S_{max} saat cinsindendir. Gün ışığı saati hesaplayan bir java programlama kodu Ekler kısmında verilmiştir.

1.7.9. Yatay Eksende Dünya Dışı Radyasyon

Güneş sistemlerinin tasarımında Dünya atmosferi dışındaki yatay bir yüzeye düşen olası radyasyon miktarının belirlenmesi önemli bir unsurdur. Dünya atmosferi dışındaki radyasyon miktarının hesaplanmasında kullanılan formül eşitlik 1.1'de verilmişti. Yatay yüzeydeki dünya dışı radyasyon miktarı ise eşitlik (1.11) yardımıyla bulunabilir.

$$I_0 = I_{sc} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360N}{365}\right) \right] \cos\theta_z \quad (1.11)$$

ya da eşitlik (1.12) kullanılabilir.

$$I_0 = I_{sc} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360N}{365}\right) \right] \times (\cos \Phi \cos\delta \cos\omega + \sin\Phi \sin\delta) \quad (1.12)$$

Bu eşitlik bize herhangi bir zamanda dünya atmosferi dışında yataydaki radyasyonu verir. Bazen yatay bir yüzeye düşen günlük radyasyon hesaplanmak istenebilir. Bu durumda da aşağıda verilen (1.13) eşitliği kullanılır.

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 I_{sc}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos\left(\frac{360N}{365}\right) \right) \times \left(\frac{\omega_s \pi}{180} \sin\Phi \sin\delta + \cos\Phi \cos\delta \sin\omega_s \right) \quad (1.13)$$

Burada ω_s gün doğumu zamanıdır. H_0 yatay bir yüzeye düşen günlük dünya dışı radyasyon miktarıdır (J/m^2), I_{sc} ise solar sabitidir (W/m^2). Günlük dünya dışı radyasyonun aylık ortalaması olan $\bar{H}_0$, aşağıda verilen (1.14) eşitliği ile hesaplanabilir. $\bar{H}_0$ 'ın H_0 'a eşit olduğu günler: 17 Ocak, 16 Şubat, 16 Mart, 15 Nisan, 15 Mayıs, 11 Haziran, 17 Temmuz, 16 Ağustos, 15 Eylül, 15 Ekim, 14 Kasım ve 10 Aralık'tır. [2]

Tablo 0.5 $\bar{H}_0$ 'ın H_0 'a eşit olduğu günler [2]

Ay	$\bar{H}_0$ 'ın H_0 'a eşit olduğu günler
Ocak	17
Şubat	16
Mart	16
Nisan	15
Mayıs	15
Haziran	11
Temmuz	17
Ağustos	16
Eylül	15
Ekim	15
Kasım	14
Aralık	10

Kimi zaman, yatay bir yüzeye belirli bir zaman diliminde düşen dünya dışı radyasyon miktarının hesaplanması gerekebilir. İki saat açısı arasında, ω_1 ve ω_2 gibi, ($\omega_2 > \omega_1$) yatay yüzeye gelen solar radyasyon miktarı aşağıdaki gibi belirtilebilir:

$$I_0 = \frac{12 \times 3600 I_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360N}{365} \right) \times \left[\cos \Phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \times \sin \Phi \sin \delta \right] \quad (1.14)$$

Burada ω_1 ve ω_2 saat cinsinden, I_{sc} W/m² ve I_0 ise J/m² cinsinden hesaplanır

1.8. Eğimli Yüzeylerdeki Solar Radyasyon

Meteorolojik bilgiler genellikle, yatay bir yüzeye düşen toplam radyasyon miktarını belirtir. Fakat güneş kolektörleri genellikle yatayla belirli bir miktar açı yapacak şekilde yerleştirilir. Bu yüzden eğimli yüzeye gelen solar radyasyon miktarının belirlenmesi tasarımlarda hayati bir önem arz etmektedir. Eğimli yüzeydeki solar radyasyonun hesaplanması problemi, toplam yatay radyasyonun içerdiği göreceli ışıma ve yayılma miktarlarına karar verme şeklindedir.

1.8.1. Eğimli Yüzeydeki Saatlik Radyasyon Miktarı

Eğimi β olan bir kolektör yüzeyine düşen saatlik radyasyon miktarı I_T :

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} + I_{rT} \quad (1.15)$$

Formülü ile verilir. Burada I_{bT} , I_{dT} ve I_{rT} eğimli yüzeydeki solar radyasyonun ışıma, dağılım ve yansıtma oranlarını belirtmektedir. Bu unsurlar ise aşağıdaki gibi verilebilir;

$$I_{dT} = I_d \times \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \quad (1.16)$$

$$I_{rT} = \rho I \times \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (1.17)$$

$$I_{bT} = \frac{I_b \cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (1.18)$$

Burada I_d , I_b ve I yatay yüzeyde absorbe edilen, ışın halindeki ve toplam radyasyonu ifade etmektedir. ρ ifadesi ise yerin solar yansıtıcılığıdır. θ , güneş ışınlarının geliş açısıdır, θ_z ise güneş ışınlarının etki ediş açısıdır. Buna göre,

$$I_T = I_b \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + I \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (1.19)$$

olur. Oradan da,

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + (I_b + I_d) R_r \quad (1.20)$$

Burada,

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} = \frac{\sin\delta \sin(\Phi - \beta) + \cos\delta \cos\omega \cos(\Phi - \beta)}{\sin\Phi \sin\delta + \cos\Phi \cos\delta \cos\omega} \quad (1.21)$$

$$R_d = \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (1.22)$$

ve (1.23) eşitliği tanımlanır.

$$R_r = \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (1.23)$$

R_b ışın radyasyonunun etki faktörü olarak bilinir. R_d yayılan radyasyonun etki faktörü ve R_r de yansıyan radyasyonun etki faktörüdür. Solar yansıtıcılık, ρ , kolektörün yer aldığı bölgeye bağlıdır.

Tablo 0.6 Bazı yüzeylerin ortalama yansıtıcılık değerleri [2]

Yüzey	Ortalama yansıtıcılık değeri (ρ)
Kuru çimen	0.20
Islak çimen	0.26
Ölü yapraklar	0.30
Beton	0.30
Kar	0.75
Su yüzeyi	0.07
Çöl kumu	0.40

Eğimli bir yüzeydeki toplam radyasyonun hesaplanması I 'nın ölçülen bazı değerlerinden ve I_b , I_d , ve ρ yansıtıcılık katsayısının tahmin edilen değerlerinden ölçülebilir. Yatay bir yüzeyde yayılan ve parlayan radyasyon, Eşitlik (1.14) ile hesaplanan saatlik ortalama radyasyon miktarı, I_0 ile tahmin edilebilir.

Yataydaki saatlik yayılan radyasyon (I_d), öncelikle saatlik açıklık indeksinin, k_T , hesaplanması ile bulunabilir:

$$k_T = \frac{I}{I_0} \quad (1.24)$$

Yayılan radyasyon ve toplam radyasyon arasındaki ilişki Erbs bağıntısı ile aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$k_T < 0.22$ için

$$\frac{I_d}{I} = 1 - 0.09k_T \quad (1.25)$$

$0.22 < k_T \leq 0.80$ için

$$\frac{I_d}{I} = 0.9511 - 0.1604k_T + 4.388k_T^2 - 16.638k_T^3 + 12.336k_T^4 \quad (1.26)$$

$k_T > 0.80$ için

$$\frac{I_d}{I} = 0.165 \quad (1.27)$$

Toplam radyasyonun, I , saatlik parlama ögesi, (I_b), bu durumda aşağıda verilen şekilde hesaplanır:

$$I_b = I - I_d \quad (1.28)$$

1.8.2. Eğimli Yüzeydeki Günlük Radyasyonun Aylık Ortalaması

Eğimli bir yüzeye düşen günlük radyasyonun aylık ortalamasının hesaplanması birçok güneş enerjisi sisteminin tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. Biz de izolasyonlu kompozit duvarımızın tasarımında 38.28° enlemindeki Bornova'ya düşen günlük radyasyonun aylık ortalamasını hesaba kattık. (Bilgisayar programına ait çıktı Ekler bölümünde verilmiştir.)

Liu ve Jordan(1962), eşitlik (1.20)'ye benzer bir eşitlik sunmuşlardır.

$$\bar{H}_T = \bar{H} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \bar{R}_d + \bar{H} \bar{R}_r \quad (1.29)$$

Tam olarak güneye bakan bir yüzey için($\gamma=0$);

$$\bar{R}_b = \frac{\cos\delta \sin\omega_{sT} \cos(\Phi - \beta) + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_{sT} \sin\delta \sin(\Phi - \beta)}{\left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_{sT} \sin\Phi \sin\delta + \cos\Phi \cos\delta \sin\omega_s} \quad (1.30)$$

$$\bar{R}_d = \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (1.31)$$

$$\bar{R}_r = \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (1.32)$$

$$\omega_{sT} = \min \left\{ \cos^{-1}(-\tan\Phi \tan\beta), \cos^{-1}(-\tan(\Phi - \beta) \tan\delta) \right\} \quad (1.33)$$

burada,

$\bar{H}_T$: Eğimli yüzeydeki günlük radyasyonun aylık ortalaması

$\bar{H}$: Yataydaki günlük radyasyonun aylık ortalaması

$\bar{H}_d$: Yataydaki dağılan radyasyonun aylık ortalaması

$\bar{R}_b$: R_b 'nin aylık ortalama değeri

$\bar{R}_d$: R_d 'nin aylık ortalama değeri

$\bar{R}_r$: R_r 'nin aylık ortalama değeri

ω_{sT} : Eğimli yüzeydeki gün doğumu saat açısı

Aylık ortalama açıklık indeksi, $\bar{K}_T$, dünya dışı radyasyonun aylık ortalama değeri ile günlük ortalama değerinin oranına eşittir.

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (1.34)$$

Burada, H_0 ayın ortasındaki günde hesaplanmalıdır. Aylık ortalama günlük dağılan radyasyon ile ortalama günlük radyasyon değerleri, Erbs bağıntısı ile hesaplanır.

$\omega_s \leq 81.4^\circ$ için

$$\frac{\bar{H}_d}{H} = 1.391 - 3.560\bar{K}_T + 4.189\bar{K}_T^2 - 2.137\bar{K}_T^3 \quad (1.35)$$

$\omega_s > 81.4^\circ$ için

$$\frac{\bar{H}_d}{H} = 1.311 - 3.022\bar{K}_T + 3.427\bar{K}_T^2 - 1.821\bar{K}_T^3 \quad (1.36)$$

Tablo 0.7 38.28° enlemindeki Bornova'daki yatay yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması (MJ/m^2) [16]

Ocak: 5,03899 MJ/m^2	Temmuz: 18,963824 MJ/m^2
Şubat: 7,108926 MJ/m^2	Ağustos: 17,555164 MJ/m^2
Mart: 10,269424 MJ/m^2	Eylül: 13,870494 MJ/m^2
Nisan: 14,378364 MJ/m^2	Ekim: 10,091356 MJ/m^2
Mayıs: 19,097166 MJ/m^2	Kasım: 6,351928 MJ/m^2
Haziran: 18,284992 MJ/m^2	Aralık: 4,344274 MJ/m^2

Bornova'da, 38.28° enleminde, tam güneşe bakan, 90° 'lik ve $\rho=0,8$ yüzey yansımaları koşullarında bulunan, dik yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalama değerleri, her ay için Java programlama dili vasıtasıyla hesaplanmış olup **Ekler** kısmında verilmiştir.

Tablo 0.8 Java programlama dili ile hesaplanan, Bornova'da $\rho=0,8$ yer yansıtma oranına sahip, 90° 'lik yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamaları (MJ/m^2)

Ocak: 7,6578846 MJ/m ²	Temmuz: 13,824776 MJ/m ²
Şubat: 9,271227 MJ/m ²	Ağustos: 14,282871 MJ/m ²
Mart: 10,980305 MJ/m ²	Eylül: 13,904135 MJ/m ²
Nisan: 12,596489 MJ/m ²	Ekim: 13,03163 MJ/m ²
Mayıs: 14,30237 MJ/m ²	Kasım: 9,930716 MJ/m ²
Haziran: 13,201653 MJ/m ²	Aralık: 6,755583 MJ/m ²

2. GÜNEŞ ENERJİLİ ISITMA SİSTEMLERİ

Güneş enerjili ısıtma sistemleri genel olarak aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılırlar.

Aktif sistemler ısıyı toplayıp iletmek için mekanik ekipmanlar kullanır. Genelde binanın çatısına monte edilen düzlemsel veya odaklı toplayıcılar ve ayrı bir ısı depolama birimi (taş, su tankı veya ikisi beraber) sistemin önemli elemanlarıdır. Toplayıcıdan geçen çalışma akışkanı ısıyı tutar ve depolama birimine iletir. Bu ısı daha sonra tamamen mekanik bir sistemle depolama biriminden binadaki hacimlere iletilir.

Aktif ve pasif sistemler arasında en çok göze çarpan fark, pasif sistemlerin doğrudan çevresindeki enerjiyi değerlendirmesi, aktif sistemlerde ise sistemi çalıştıran fan ve pompalara güç vermek için ek elektrik enerjisine ihtiyaç olmasıdır.

Ayrıca ek olarak Hibrid sistemlerden de bahsetmekte yarar vardır. Bu tip sistemlerde, pasif güneş enerjisi sistemine genel olarak bir fan veya başka bir aktif sistem elemanı eklenmesi durumunda sistem hibrid sistem adını alır.

2.1. Pasif Sistemler

Günümüzde güneş enerjisinden ısı enerjisi teminini ve çeşitli alanlarda kullanılması oldukça yaygın bir hale gelmiştir. Binaların ısıtılması ve soğutulması için gerekli olan enerji miktarı yaklaşık olarak toplamda dünyadaki enerji tüketiminin %30 unu teşkil etmektedir. [6] Bu büyük miktardaki enerji ihtiyacı binalarda pasif sistemler adı verilen ısıtma veya soğutma yöntemleri kullanılarak uygun koşullarda binaların ısıtma ya da soğutma ihtiyacının karşılanabilmesi mümkün olmakla beraber, bu işler için gerekli olan masraflar ve enerji tüketimi en aza indirgenebilir. Basit gibi görünen fakat muazzam enerji tasarrufu sağlanabilecek sistemler geliştirilebilir. Şimdi bu sistemlere değinelim.

Pasif sistemler, ısıyı mekanik olmayan araçlarla toplar ve iletir. Güneş enerjisi ile pasif ısıtma ve soğutma sistemlerinin en yaygın tanımı şöyledir; ısı enerjinin ışıyım, iletim ve doğal taşınım yoluyla ısıtılacak hacme aktarıldığı sistemlerdir. Aslında, binanın kendisi toplayıcı ve depolama ünitesi gibidir (ısı duvar, çatı ve zemin gibi). Burada ayrı ayrı toplayıcılar, depolama birimleri veya mekanik elemanlar yoktur.

Her pasif güneşle ısıtma sisteminde iki temel eleman vardır; güneşi toplamak için güneye bakan cam (veya saydam plastik) ve ısı yutulması, depolaması ve dağıtımı için ısıl kütle.

Pasif sistem teknolojisi gün geçtikçe gelişmektedir ve geliştirilmeye de müsait bir konudur. Son gelişmelere göre faz değişim malzemelerinin (PCM) pasif sistem yapısındaki elemanlara integrasyonu ile daha uzun süreli ısıl depolama mümkün olabilmektedir.

2.2. Pasif Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları

Pasif sistemlerin avantajları ekonomik, mimari konfor ve sağlık yönünden incelenebilir. Pasif sistemlerin en büyük ekonomik avantajı belli bir amaç için gerçekleştirilen tesislerin daha sonra yeniden düzenlenebilme esnekliğine sahip olmasıdır. Sistem tasarımı, işletmesi, ortaya konulduktan sonra kalıcılığı ve işletmesindeki (bakım-onarım) basitlik ekonomik bir avantajdır. Ayrıca, pasif olarak ısıtılan hacimlerde hava sıcaklığı geleneksel anlamda ısıtılan hacimlere nazaran bir hayli düşüktür, bundan dolayı termik açıdan hacimler içerisindeki sıcaklığın değişken olmaması hacim içerisindeki insanları huzurlu kılar. Sistemde fan, pompa gibi elemanlar bulunmadığından arıza riski de yoktur. Ayrıca pasif sistemlerdeki elemanlar uzun ömürlüdür.

Dezavantajları arasında sıcaklık kontrolünü ve estetik açıdan sistemin dışarıdan görülüşünü sayabiliriz. Önemli finansman zorlukları arasında geleneksel ev üzerine eklenen yapı elemanları nedeniyle pasif sistemlerin sabit yatırım maliyetinin yüksek olması, verilen inşaat kredilerinin azlığı ve bu kredilerin faizlerinin yüksek olması sayılabilir. Klasik bir sistemin ısıtılması amacıyla kullanılan geleneksel yakıtın maliyetinin enflasyon oranlarının üzerinde artması nedeniyle ilk görünüşte klasik sistemin ekonomik bir avantajı olsa bile her yıl işletme maliyetinin artışı nedeniyle pasif sistemler genelde ekonomik bir avantaja sahiptir.

2.3. Pasif Sistem Dizaynında Bina Yön Seçimi ve Hacimlerin Yerleştirimi

Kış ayları esnasında güneş zamanına göre saat 9.00 ve 15.00 saatleri arasında güneş enerjisinin yaklaşık %90'ından yararlanılır.[3] Bu yaklaşımdan hareketle, bu saatler arasında maksimum güneş radyasyonu alacak yerler saptanır. Kış güneşini engelleyecek yapıların olmadığı yerlerin seçilmesine özen gösterilmelidir.

Günümüzde geleneksel enerji kaynaklarının azalması, binaların kışın maksimum güneş alacak şekilde yönlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Örneğin, doğu-batı yönü boyunca uzatılan bir binanın kışın güneş radyasyonunu toplaması için güney kısmı daha fazla yüzey alanına sahip olmalıdır. Binanın kuzey kısmı minimum güneş radyasyonuna sahip olması nedeniyle bu yüzeylere ısı kesici/durdurucu alanlar, güney yüzeylere maksimum ışıklandırma ve ısıtma alacak hacimler yerleştirilir. Bu tür yerleştirme tüm iklimlerde optimum bir yönlendirmedir. Kuzey yarım kürede güneye doğru yönlendirilmiş binalardan verim sağlanır. Güney yarım kürede ise bunun tam tersi geçerli olmaktadır.

Bir binanın kuzey yönü en soğuk, en karanlık kısımları ve kışın direkt güneş ışınlarını almadığından en az kullanılan/yararlanılan alanlarıdır. Binanın soğuk kuzey yönü ve yaşam hacimleri arasında ısı kaybını kesici hacimler yerleştirilir. Dış duvarlara vuran ışınları iç havayı ancak 10 saat sonra, güneş ışınlarındaki ısı enerjisinin yalnız %1'i kadar ısıtabilir.[3]

Pasif sistemler yükseklikleriyle orantılı olarak değişen deklinasyonu ve bir gün boyunca güneşin azimut ve yükseklik açılarıyla değişen çeşitli gölge alanları oluştururlar. Bu yüzden birim alanda kurulacak olan pasif sistemlerin çok sık biçimde yerleştirilmesi, sistemin çalışmasını etkileyecek, buna karşın seyrek biçimde yerleştirmede ise alan birim fiyatı sistemden sağlanacak faydayı aksi yönde etkileyecektir. Dolayısıyla pasif sistemlerin alan üzerindeki yerleşimi bir optimizasyon sorunudur. Kış aylarında sistemin daha çok güneş ışını alması gerektiği ve buna karşın yine kış aylarında en fazla gölge alanlarının oluştuğu göz önüne alınırsa problemin ne denli zor olduğu görülmüştür.

Kuzey tarafına gelen güneş ışınları yetersiz olmakla birlikte soğuk kış rüzgarları da bu yönden gelmektedir. Yetersiz olan aydınlatma içinde büyük pencereler gerekmektedir. Kuzey tarafına soğuğu kesici olarak, soğuk depo girişi, yemek odası, karanlık oda, garaj, tuvalet, bahçe, merdiven, vestiyer, depo gibi hacimler yerleştirilmelidir. Batı tarafı, hava

şartlarına açık olup, öğleden sonraları güneş ışınlarını derinlemesine nüfuz eder. Binanın güney tarafı diğer yönlere nazaran daha sıcaktır, gün boyu dışarıdan giren güneş ışınları alması nedeniyle kışın daha aydınlıktır ve daha az ısınma ihtiyacı gösterir.

2.4. Temel Pasif Sistem Dizaynı

Güneş enerjili pasif sistemler genel olarak 2 gruba ayrılır: Direkt ve indirekt kazanç sistemleri. İndirekt kazanç sistemleri ise kendi içinde konvektif döngülü sistemler, ısı depolama duvarları, çatı havuzları ve birleşik seralar olmak üzere 4 gruba ayrılır.[3] Bizim bitirme projemizdeki sistem, konvektif döngülü sistem ile ısı depolama duvarları sistemlerinin birleştirilmiş hali olarak varsayılabilir. Şimdi kısaca bu sistemlerden bahsedelim.

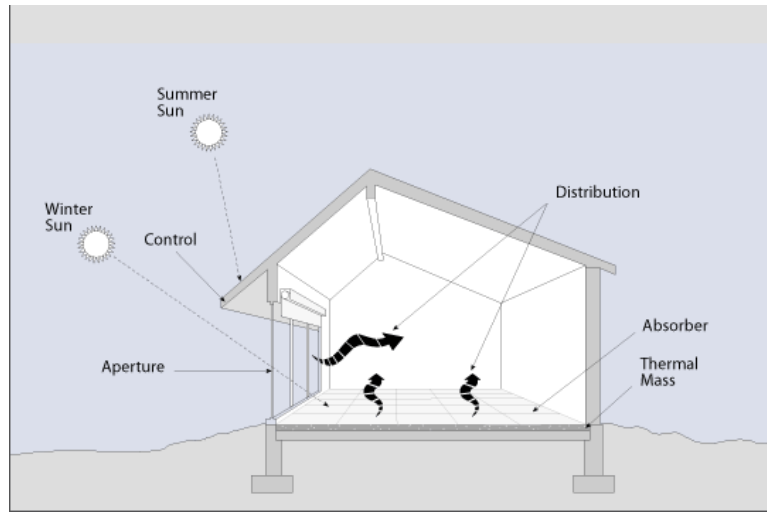
2.4.1. Direkt Kazanç Sistemleri

Pasif güneş enerjisi sistemleri ile ısıtmada ilk ve en basit yaklaşım direkt kazanç kavramıdır. Yaşam hacmi doğrudan güneş ışığıyla ısıtılmaktadır. Hacim, bir güneş toplayıcısı olarak kullanılır. Soğuk kış geceleri için gün ısınıp yutma ve bu ısıyı depolama esas mantıktır. Direkt kazanç sistemlerinde hacmin kendisi, güneş toplama, ısıyı depolama ve dağıtma işlevlerini gerçekleştiren bir sistem olarak düşünülür. Direkt kazanç sistemleri camdan geçen ısıtının tümünü toplar ve bu ısıyı kullanır. Bu nedenle, sadece güneşli iklimlerde değil, aktif sistemlerin zor çalıştığı, büyük güneş enerjisi yayılımının olduğu bulutlu iklimlerde de verimli olarak çalışabilir.

Bu yaklaşımda ısı yutma ve depolama için yeterli ısı kütlesi mevcuttur. Güneye bakan cam (toplayıcı) kışın güneş enerjisinin maksimum miktarına, yazın ise minimum miktarına maruz bırakılmalıdır. Bu sebepten ötürü güney cephe, bir hacme direkt güneş ışığı almak için en ideal kısımdır.[3] Güneş ısı kazancının bir kısmının gece boyunca kullanımı için depolamaya ihtiyaç duyulduğundan zemin ve/veya duvarlar ısı depolama kabiliyeti yüksek olan malzemelerden inşa edilmelidir. En yaygın olarak kullanılan ısı depolama malzemeleri duvar ve sudur. Duvarlar, ısı depolama malzemeleri beton, beton blok, tuğla, taş ve kerpiçin tek başlarına veya bu malzemelerinin kombinasyonlarını içermektedir. Su

depolama ise genelde bir hacmin sadece bir duvarını içerir. Su duvarı, gün içinde en çok güneş alan cepheye yerleştirilir. Duvarı inşa etmekte kullanılan malzemelerin çoğu plastik veya metaldir. Gün boyunca kütle ısıyla dolar, geceleri ise iç sıcaklıklar düşmeye başladığında bu ısı, hacme geri döner.

Yazın geceleri serin olan iklimlerde, kütle gün boyunca binayı serin tutar. İlk önce masif duvarlar, dış sıcaklığın daha düşük olduğu akşama kadar ısının binanın içine ulaşmasını engeller. Daha sonra, gece binada dolaşan dış hava, iç kütleyi soğutur. Böylece ısıyı yutar ve gün boyunca iç yüzeyleri serin tutmayı sağlar.



Şekil 2.1 Direkt kazanç sistemi

Bir direkt kazanç sisteminin en çağdaş örneklerinden biri Wallasey-İngiltere'deki St. George okuludur.[12] Mimar Emslie Morgan'ın tasarladığı bina 1962 yılında yapılmıştır.

Binanın kış mevsiminde maksimum güneş kazancı için güney duvarı saydamdır. 17-25 cm. kalınlıkta beton çatı ve zeminleri oluşturmakta olup, kuzey duvarı ve iç kısımlar 22 cm. tuğladan oluşmaktadır. Bu duvarlar binadaki ısı enerjisinin depolanabilmesi için en önemli araçlardır. Dışarıdan 12,5 cm.'lik polistren ile yalıtılmıştır. İç duvarlar ısıyı depolar ve gün boyu iç sıcaklıktaki büyük değişimleri engeller. Kayıt edilmiş iç hacimdeki değişimler yılda ortalama 6°C'dir.[12] Bu durum iç sıcaklığı bağlı olarak sabit tutan duvarın etkisini açıkça ortaya koyar.

2.4.2. İndirekt Kazanç Sistemleri

Pasif güneş enerjisi sistemleriyle ısınmada diğer bir yaklaşım, güneş ve ısıtılacak hacim arasında yer alan bir ısıl kütleye güneş ışığının ulaştığı ve buradan da hacme aktarıldığı indirekt kazanç kavramıdır. Kütlenin yuttuğu güneş ışığı, ısı enerjisine dönüştürülmekte ve daha sonra iletim, taşınım, radyasyon veya bunların kombinasyonu şeklinde ısıtılacak hacme transfer edilmektedir.

Temelde iki tür indirekt kazanç sistemi vardır: Isıl depolama duvarları ve çatı havuzları. Bu iki sistemin birbirinden farkı, kütlenin bulunduğu yerdir. Bir tanesi duvarda, diğeri de ısıtılacak hacmin çatısındadır.

Bir ısı depolayıcı duvar sisteminin gereksinimleri, kışın maksimum güneş kazancı için güneşe bakan cam alanlar (veya saydam plastik malzemeler) ve güneşten gelen ısıya depolanmasını sağlayan, camın arkasında bulunan ısıl kütledir.

Isı depolama duvarlarında kullanılan malzemeler çok çeşitlidir. Genellikle ikiye ayrılır; ısıl kütle ve su. Isıl kütle malzemeleri beton, tuğla, taş veya kerpiçten olabilir. Su taşıyıcılar metal, plastik ve su geçirmeyen betondan meydana gelir.

Bizim projemizdeki sistem, ısıl kütleye sahip bir indirekt kazanç sistemidir. Şimdiki bölümde de bu sistem ve çeşitli varyasyonları hakkında bilgilere değinilecektir.

BÖLÜM İKİ ÇALIŞMALARIM

3. ISIL DEPOLAMA KÜTLELERİ

Antik çağlardan günümüze kadar insanlar güneşin ısısından faydalanmak için evlerinin duvarlarını taştan veya kerpiçten yapmışlardır. Böylelikle güneşin ısısı gün boyunca bu duvarlarda depolanmış ve geceleyin ise bu ısı duvar vasıtasıyla taşınım ve radyasyon yoluyla transfer edilmiştir. Antik çağlardan beri süregelen bu teknik, günümüzde mühendisliğin de kullanımıyla geliştirilmiş, 1881 yılında Edward Morse bu sistemin patentini almasına rağmen 1950'lerin sonuna doğru bu sistemi ortaya koyan Felix Trombe sayesinde Trombe duvarı adını almıştır.[7]



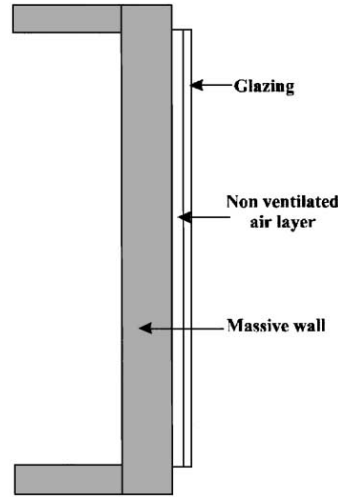
Şekil 3.1 Örnek bir Trombe Duvarı

Trombe evi Odiello-Fransa'da Felix Trombe ve mimar Jaques Micheal tarafından tasarlanmıştır. Çift camlı ısı duvar yaklaşık olarak 0,6 metre kalınlığında olup betondan yapılmıştır ve güneş ışığını yutması için siyaha boyanmıştır. Ev, duvarın iç yüzeyinden gerçekleşen taşınım ve radyasyon yoluyla ısıtılmaktadır. Araştırmaların sonuçları, bu binanın yıllık ısıtma ihtiyacının %70'inin güneş enerjisi ile sağlandığını göstermektedir. 1974'ten beri süren çalışmalar, gelen enerjinin yaklaşık %36'sının kışın binanın ısıtılmasında etkili olduğunu göstermiştir. Bu sonuca bakılacak olursa, sistemin etkinliği iyi bir aktif güneşle ısıtma sistemiyle karşılaştırılabilir. Trombe Duvarı, özellikle serin fakat bol güneşli iklim koşullarında kullanım için çok uygun bir sistemdir.

3.1. Trombe Duvarlarının Tasarımı Ve Tipleri

3.1.1. Havalandırmasız Trombe Duvarı

Tipik bir havalandırmasız Trombe duvarı, kalınlığı 10 cm – 41 cm arasında olan, güneşe bakan, dış yüzeyi ısı emici bir boya ve ya selektif bir yüzey ile kaplanmış ve ısı izolasyonu sağlamak amacıyla dışarıdan bir tek cam ya da çift cam ile çevrelenmiş bir yapıdır. Bu yapı en basit ve en eski ısıl kütle konfigürasyonudur. Güneşten gelen ışınlar, cam bölmeyi geçerek selektif yüzey vasıtasıyla yutulur ve yutulan bu ısı duvarda depolanır. Duvardaki iletim sayesinde yaklaşık olarak 8-10 saat sonra duvarın iç yüzeyi ısınır ve bu ısı taşınım ve ışıyım yoluyla odaya transfer edilir.[7] Bu ısı transferi genel olarak ısıtma sabah saatlerine kadar sürecek şekilde tasarlanır. Tabi ki burada duvarın kalınlığı, duvar malzemesi gibi değişkenler hesaba katılmaktadır. Bu sistemin en büyük avantajı basitliğidir. Dezavantajları ise ısı kontrolünün olmaması, geceleri ve güneşin az olduğu günlerdeki ısı kayıpları ve yazın güneş ışınlarından korunmak için bir gölgelendirme sistemine ihtiyaç duymasıdır.[8] Bu tip bir Trombe Duvar yapısı, kış sıcaklıklarının 15°C'nin altına düşmediği iklimler için uygundur.[3]



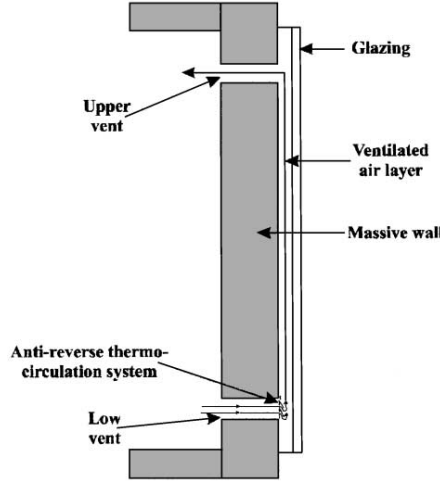
Şekil 3.2 Havalandırmasız Trombe Duvarı

Tablo 3.1 Bir hacimdeki sıcaklık değişimlerinin çift cam ile izolasyonu sağlanmış bir beton duvarın kalınlığına bağlı olarak değişimi [3]

Duvar Kalınlığı (cm)	Oda İçi Sıcaklık Değişimi	İç Sıcaklığın Maksimum Olduğu Zaman
20	15	18.00
30	7,2	20.00
40	3,6	22.30
50	1,6	01.30
60	0,7	04.30

3.1.2. Havalandırmalı (Klasik) Trombe Duvarı

Bir diğer Trombe Duvarı tipi havalandırmalı klasik Trombe Duvarı'dır. Burada, camdan geçen ışınlar, Trombe duvarı tarafından emilerek, enerji duvar içinde depolanır. Cam ile duvar arasında kalan hava ise ısınır ve doğal taşınım yoluyla üst havalandırmadan iç ortama iletilir. Bilindiği gibi ısınan hava genişler ve böylece sıcaklığı artarken yoğunluğu azalır. Dolayısı ile kanal içerisindeki hava, kaldırma kuvvetinin etkisiyle yükselir. Üst havalandırmadan oda içerisine girerek, sahip olduğu ısı enerjisini oda içerisine aktarır. Soğuk oda havası, Trombe duvarın alt kısmında bulunan hava deliğinden kanala çekilir. Hava, cam-duvar arasındaki kanalda ısınarak yükselir ve oda içerisine tekrar sirkülasyon yoluyla aktarılır. Kanalda doğal taşınım (termo sirkülasyon) ısının taşınması, duvarın alt ve üst kısımlarına havalandırma deliklerinin açılmasıyla mümkün olmaktadır. Böylece kışın güneşli günlerde odaya ek bir ısı kazancı sağlanmış olur. Kışın gündüz saatlerinde ısıtma ihtiyacı olan iklimlerde havalandırmalı Trombe Duvarı kullanılmalıdır. Bu tip bir sistemde de, havalandırmaz Trombe Duvarı'nda olduğu gibi yaz güneşinden korunmak için bir gölgelendirme sistemi olmalıdır. Ayrıca yazın oda tarafındaki havalandırmalar kapatılarak istenmeyen ısıtmanın önüne geçilmelidir. Bu sistemin bir dezavantajı ise yazın istenmeyen ısının duvarı geçerek odaya yayılmasıdır. Bu yüzden bir dış izolasyon sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bir dezavantaj gibi görünse bile, aslında dış izolasyonun kışın güneş gittikten sonra kullanılması, sistemin enerji kayıplarını önemli bir ölçüde azaltacaktır.

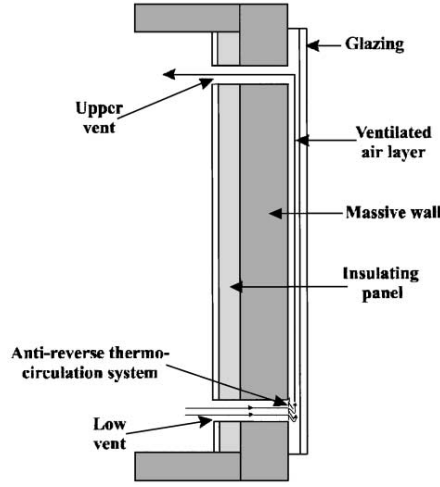


Şekil 3.3 Klasik Trombe Duvarı (Havalandırılmalı)

Soğuk kış gecelerinde duvar zamanla soğur. Belli bir zaman sonra oda sıcaklığı, duvar sıcaklığından daha yüksek olur ve bu durumda ısı istenmeyen şekilde odadan dışarı atılmaya başlar. Buna engel olmak için havalandırma deliklerinin kapatılması büyük önem arz eder.

3.1.3. İzolasyonlu Trombe Duvarı

Trombe Duvarı'nın ısı direncini arttırmak ve daha kontrollü bir ısı transferi sağlamak amacıyla izolasyonlu Trombe Duvarı kullanılmalıdır. Bizim projemizin de esas konusu olan bu sistemde, tipik bir Trombe Duvarı oda tarafından izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır. Böyle bir sistemde güneşten gelen ışınlar selektif yüzey tarafından emilir ve duvarda depolanır. Depolanan ısı, daha önce bahsettiğimiz sistemlerden farklı olarak duvar boyunca ısıнын iletimi ve daha sonrasında bu ısıнын taşınım ve ısınımla odaya transferi, izolasyon malzemesi tarafından engellenir. Bu yüzden bu sistemde, ısınan duvarla temasa geçen hava ısınır ve ısınan havanın genleşme prensibine bağlı olarak hava yükselir ve üst havalandırma boşluğundan bu sıcak hava odaya doğal taşınım yoluyla iletilir. Daha sonra ise odaya ısısını aktaran hava soğur ve zemine doğru iner. Bu arada soğuyan hava, alt havalandırma boşluğundan içeri girer ve tekrardan cam ile duvar arasında ısınarak yükselir ve sistem bu şekilde devir daim eder. Doğal taşınım ile gerçekleşen ısı transferi, insan konforu açısından da daha uygun bir ısı iletim yöntemidir.



Şekil 3.4 İzolasyonlu Trombe Duvarı

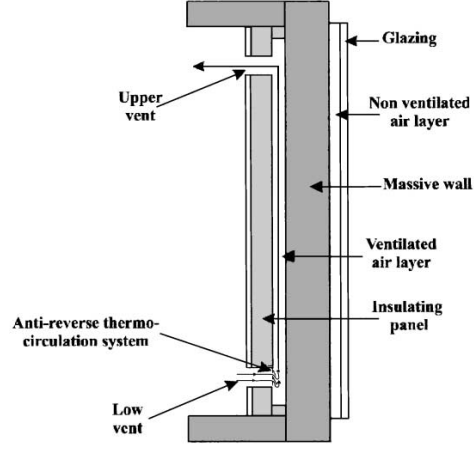
Bu sistemin avantajları; Trombe Duvarı'nın termal direncini arttırması, daha kontrollü bir ısı transferi sunması, yazları sıcak havanın odaya girişinin engellenmesi, kışın ise özellikle geceleri sıcak oda havasının dışarıya akışını engellemesidir. Dezavantajı ise, güneş battığı damperlerin kapatılarak hava akışının kesilmesidir. Aksi halde, belli bir zaman sonra ters çevrim ile sıcak oda havasının dışarıya transfer edilmesiyle odanın soğuması riski meydana gelir.

3.1.4. Kompozit Güneş Duvarı

Dördüncü tip duvar ise kompozit güneş duvarıdır. Bu tip bir sistem, izolasyonlu Trombe Duvarı ile aynı elemanlara sahip olup, aralarındaki tek fark izolasyon malzemesinin duvarla birleşik halde olmamasıdır. Bu sistemde, izolasyon tabakası ile duvar arasında bir boşluk bırakılmış olup, izolasyon malzemesine alt ve üst havalandırma delikleri açılmıştır.

Camdan geçen güneş ısısı duvar tarafından depolanır. Duvarın kalınlığına bağlı olarak belli bir süre sonra ısı, duvar boyunca iletim yoluyla oda tarafına ulaşır. İletimle transfer edilen bu ısı, taşınım ve ışıınım enerjisine dönüşür. Işıınım çoğunlukla izolasyon malzemesi tarafından yutulur. Bu yutulan ışıınım ısısı da, izolasyon malzemesi ve duvar arasındaki havanın ısıtılmasına yardımcı olur ve ısınan hava doğal taşınım yoluyla üst

havalandırma kanallarından odaya transfer edilir ve daha önce de bahsettiğimiz çevrim tekrarlanır. Bu sistem, izolasyonlu Trombe Duvarı'ndan farklı olarak gece boyunca ısıtma uygular. Bu yüzden gündüzleri sıcak, geceleri ise serin olan iklimlerde kullanılmasında yarar vardır.



Şekil 3.5 Kompozit Güneş Duvarı

4. İZOLASYONLU KOMPOZİT DUVAR (İZOLASYONLU TROMBE DUVARI) DİZAYNI

Projemizin esas konusunu oluşturan izolasyonlu Trombe Duvarı'ndan daha önce kısaca bahsetmiştik. Bu bölümde Bornova-İZMİR koşulları için bir örnek izolasyonlu Trombe Duvarı tasarlayacağımızdan bahsetmiştik ve Bornova için yatay yüzeye gelen günlük solar radyasyonun aylık ortalama değerlerinden yola çıkılarak, java yazılım programı aracılığıyla Bornova'daki dik yüzeye gelen günlük solar radyasyonun aylık ortalama değerlerini elde edilmiş olup, bu değerler Bölüm 1'de tablolar halinde sunulmuştur. (Programın çıktıları Ekler kısmındadır.)

Şimdi tasarımda rol oynayan malzemeleri ve özelliklerini tanıyalım.

4.1. İzolasyonlu Trombe Duvarı'nda Kullanılan Malzemeler

4.1.1. Cam Malzeme

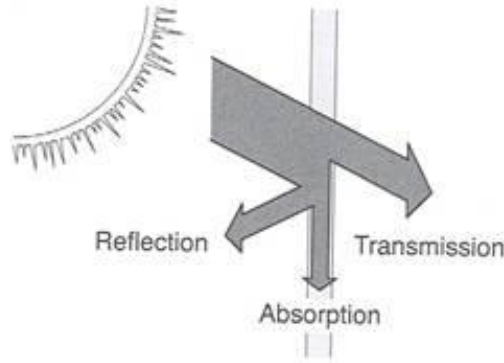
Cam malzemeler, tüm güneş enerjisi sistemlerinde çok kritik rol oynayan elemanlardır. Cam malzeme kullanımının amacı, güneşten gelen ışığın camın geçirgenliğinden faydalanılarak depolanacağı bölmeye geçmesini sağlamaktır. Cam dışında birçok geçirgen malzeme de bu amaç için uygundur. (Plastik filmler, fiberglas gibi)

İyi bir cam malzemesi, kısa dalga boylarındaki solar radyasyon için yüksek geçirgenliğe sahip olmalıdır ve ısı kayıplarını minimuma indirmek için uzun dalga boylarındaki solar radyasyonu yayma miktarı düşük olmalıdır.[9] Uzun dalga boyu radyasyonunun engellenmesi ile ısı kayıpları azaltılır ve kolektörümüzün ısınması sağlanmış olur. [9] Bizim sistemimizde, cam bölme ile duvar arasında kalan ve ısınan havanın enerjisinin dışarı kaçmasını önlemek için cam malzemenin ısıl direnci (R) yüksek olmalı, yani başka bir deyişle camın ısıl geçirgenliği (U) düşük değere sahip olmalıdır. Ayrıca bir camdan, iyi bir termal kararlılık, yüksek aşınma direnci, bakım gerektirmemesi,

düşük maliyetli olması, yüksek darbe dayanımı, yüksek kırılma dayanımı gibi özellikler beklenir. [9]

Trombe Duvarı sistemlerinde cam seçimi yapılırken, içinde bulunulan iklim koşulları dikkatlice değerlendirilmelidir. Çok soğuk olmayan, ılık iklimlerde tek cam kullanımı mümkün olabilmektedir. Fakat çok soğuk iklimlerde tek cam kullanılması çok büyük ısı kayıplarına neden olacaktır. Bu tip durumlarda çift cam kullanılması, ısı kayıplarını büyük ölçüde azaltacaktır. Çift camın da yeterli kalamayacağı iklimlerde ise üçlü cam kullanılması önerilir.[3]

Güneşten gelen enerjinin korunması prensibine göre cama gelen toplam enerji, camdan geçen, cam tarafından emilen ve camdan yansıyan enerjilerin toplamına eşit olmalıdır.



Şekil 4.1 Cam yüzeyine gelen güneş ışınının izlediği yollar

Buna göre cama gelen ışın demeti için aşağıdaki eşitlik verilebilir;

$$\tau + \rho + \alpha = 1 \quad (4.1)$$

Burada τ camın geçirgenliğini, ρ camın yansıtıcılığı, α ise camın absorpsiyon katsayısını belirtir.

Camdan geçen toplam solar radyasyon miktarının oranına ise güneş ısı kazanc katsayısı (Solar heat gain coefficient – SHGC) denir. Bu değer 0 ile 1 arasında değişir ve aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$SHGC = \frac{\text{Camdan geçen güneş ışığı miktarı}}{\text{Cama gelen güneş ışığı miktarı}} \quad (4.2)$$

Bir camın toplam güneş enerjisi kazancı ise aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$\dot{Q}_{\text{net güneş kazancı}} = SHGC \times A_{\text{cam}} \times \dot{q}_{\text{gelen güneş enerjisi miktarı}} \quad (W) \quad (4.3)$$

Trombe Duvarı sistemlerinde, güneşin battığı andan, sabah tekrar doğduğu ana kadar sistem güneş ışığına maruz kalmaz ve bu suretle sistemde ısı depolanamaz. Bu esnada daha önceden duvarda depo edilen ısı kullanılarak ısıtma sağlanmaya çalışılır. Fakat bir müddet sonra, cam ile dış çevre arasında bir izolasyon malzemesi bulunmaması durumunda, ısıнын dışarı kaçması hızlanır. Bu yüzden güneş battığı andan itibaren damperler kapatılarak odanın soğuması engellenir. Bizim kendi projemizde bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla dış izolasyon sistemi kullanılmıştır. Bu sistem gelecek bölümlerde anlatılacaktır.

Projemiz için aşağıda tabloda özellikleri verilen çift cam seçilmiştir. Bu camın seçilmesinin nedenleri; SHGC'sinin diğer çift camlara göre yüksek olması ve iki camın arasında muhafaza ettiği argon gazı nedeniyle izolasyon özelliğinin yüksek olmasıdır. Çift cam sistemlerinde ısıнын yalıtımını etkileyen etmenler ara boşluk genişliği ve ara boşluk gazıdır. Ara boşluk miktarı en ideal 12-20 mm arasındır.[15] Bu değer aşıldığı zaman hava hareketlilikleri, yani taşınım başlar ve böylelikle camın yalıtım değeri düşer. Ara boşluk gazı standart olarak kuru havadır. Ancak yalıtım özelliklerini arttırmak amacıyla başka gazlar da ara boşluk gazı olarak kullanılabilir. Bizim sistemimizdeki ara boşluk gazı argondur.

Çiftcam Ünitesi	Cam Kalınlığı (mm)	Gün Işığı (EN 410)		Güneş Enerjisi (EN 410)					Isı Geçirgenlik Katsayısı (U Değeri) W/m ² K (EN 673)			
		Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	Dışa Yansıtma %	Soğurma %	Direkt Geçirgenlik %	Toplam Geçirgenlik	Gölgeleme Katsayısı	12 mm Ara Boşluk		16 mm Ara Boşluk	
									Hava	Argon	Hava	Argon
TRC Ecotherm (#2)+ Renksiz Düzcam	4+4	79	12	25	25	51	0.56	0.64	1.6	1.3	1.3	1.1
	6+6	77	12	23	30	48	0.54	0.62	1.6	1.3	1.3	1.1
Renksiz Düzcam + TRC Ecotherm (#3)	4+4	79	12	25	25	51	0.60	0.69	1.6	1.3	1.3	1.1
	6+6	77	11	22	30	48	0.58	0.67	1.6	1.3	1.3	1.1

Şekil 4.2 Trakya Cam Kataloğu [15]

Trakya Cam Şirketi'nin mimari camlar kataloğundan 4+4 mm, 16 mm ara boşluk genişliğine sahip, ara boşluk gazı argon olan çift cam ünitesi tasarımı için uygun görülmüştür.

4.1.2. Isıl Kütle

Trombe Duvarı sistemlerinin belki de en hayati parçası ısıl kütleler, yani duvarlardır. Güneşten gelen ısıyı depo ederek hacmin ısıtılmasını sağlarlar. Güneşten gelen ısı duvarda depo edildiği andan itibaren duvarı ısıtmaya başlar. Isınan duvar da havalandırma kanalının olup olmamasına bağlı olarak ısıyı çeşitli yollarla hacme transfer eder. Duvarlar da cam malzeme gibi güney cepheye yönelmiş olmalıdır.

Her duvarın dış yüzeyi, güneşten gelen ışığı daha yüksek oranda absorbe edebilmek için siyah bir yüzeye boyanır veya kaplanır. Bu selektif yüzey solar spektrumdaki görünür ışınların neredeyse tamamını absorbe eder ve uzun dalga boylarındaki kızıl ötesi ışınların cam boyunca tekrardan geri yansımalarını büyük ölçüde azaltır. Böylelikle güneş ışınları normal durumdan daha fazla absorbe edilmiş olur.

Cam malzemeden geçen güneş ışınları, selektif yüzeyle kaplanmış duvarın dış yüzeyine ulaştığı andan itibaren duvarda ısı depolanmaya başlar. Havalandırmasız bir ısıl depolama duvarında, ısının hacme ulaşması yaklaşık 8-10 saat alır.[3] İç duvara ulaşan ısı dalgaları, hacim içine radyasyon ve taşınım ile ısı transferini gerçekleştirir. İklim şartlarına

ve hangi saate kadar duvar ısısından yararlanılmak isteniyorsa, ona göre bir duvar kalınlığı seçilmelidir. Duvar kalınlığı arttığı takdirde ısıнын hacim içine ulaşması gecikecektir. Fakat havalandırmasız Trombe Duvar sistemlerinde duvar kalınlığı arttıkça, hacim içerisindeki sıcaklık değişimleri de düşecektir ki bu insan konforu açısından arzu edilen bir durumdur. Havalandırma kanallarına sahip bir Trombe Duvarı'nda ise ısınan duvar yüzeyi, cam ve duvar arasındaki havayı ısıtır ve bu hava kanallardan geçerek doğal taşınım yoluyla hacme iletilmiş olur.

Duvar malzemeleri olarak taş, kerpiç, beton, tuğla gibi malzemelerden yapılabilir. Bunun yanı sıra ısı depolayıcı olarak su da kullanılabilir. Davul benzeri bir yapının içine su doldurulur ve bu davullar da duvarın içine yerleştirilir. Sistem temel olarak aynıdır. Su yüksek ısı depolama özelliğine sahiptir, ayrıca ısı iletimi çok hızlı olur. Duvarda oluşan sıcaklıklar, masif duvarlara göre daha az olmasına rağmen suyun kullanıldığı duvarların daha verimli olduğu söylenebilir. [3]

Isıl kütlelerin seçimi yapılırken 2 husus dikkate alınmalıdır; maliyet ve termal karakteristik.[3] Termal karakteristikle ilgili sorulması gereken sorular şunlardır: [3]

- 1) Isıl kütlemin ısı depolama kabiliyeti nedir?
- 2) Ne kadar sürede kütlemin, ısıyı iletim yoluyla hacme aktarır?

Bu sorularla alakalı olarak incelememiz gereken malzeme özellikleri ise: yoğunluk, termal iletkenlik, özgül ısı kapasitesi ve hacimsel ısı kapasitesidir. [3]

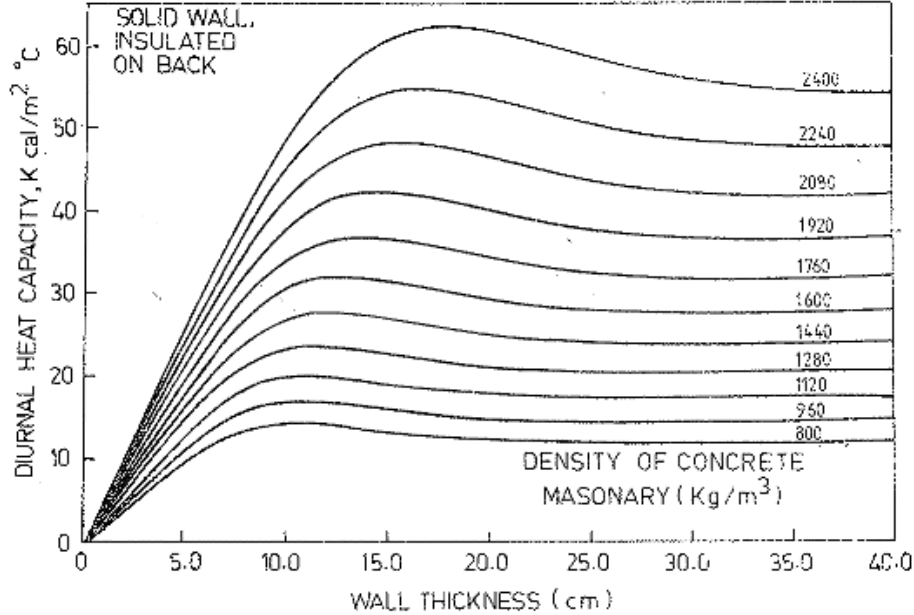
Yoğunluk, ρ : Bir malzemenin birim hacminin ağırlığıdır. (kg/m^3) Yoğun olan malzemeler, daha az yoğun olan malzemelere göre daha fazla ısı depolama kapasitesine sahiptirler.

Termal İletkenlik, k : Isı transferi, sıcak yerden soğuk yere doğru gerçekleşmektedir. Bu transferin ne kadar kısa sürede gerçekleştiğinin ölçütü, malzemenin ısı iletkenliğidir. Isı iletkenlik arttıkça, ısı transferinin gerçekleşme süresi azalır. Birimi W/mK 'dır.

Özgöl Isı Kapasitesi, C_p : Bir malzemenin sıcaklığını 1° yükseltmek için o malzemeye verilmesi gereken ısı miktarını tanımlar.

Hacimsel Isı Kapasitesi: Birim hacimdeki bir malzemenin sıcaklığının 1° yükseltildiği zaman depolayabileceği ısı miktarının ölçütüdür. Hacimsel ısı kapasitesi yoğunluk ile özgül ısı kapasitesinin çarpımına eşittir. ($\rho \times C_p$)

Trombe Duvarı sistemlerinde ısı depolayıcı kütlenin hacimsel ısı kapasitesinin yüksek olması istenir. Bizim projemizde kullanacağımız malzeme olan beton, düşük özgül ısı kapasitesine ($0,88 \text{ kJ/kg.K}$) [11] sahip olmasına rağmen, yüksek yoğunluklu olduğundan (2400 kg/m^3) [3], bu iki değişkenin ürünü olan hacimsel ısı kapasitesi ise yüksektir. Biz de basit elde edilişi, yapılara uyumlu olması ve istenen özellikleri karşılayabilmesi nedeniyle projemizde ısı depolayıcı kütle olarak beton malzemeyi seçtik. Aşağıda verilmiş olan grafik baz alınarak iç taraftan izolasyon ile kaplanmış beton bloğumuzun kalınlığını, optimum değer olarak görülen 15 cm kalınlığında kabul ediyoruz.



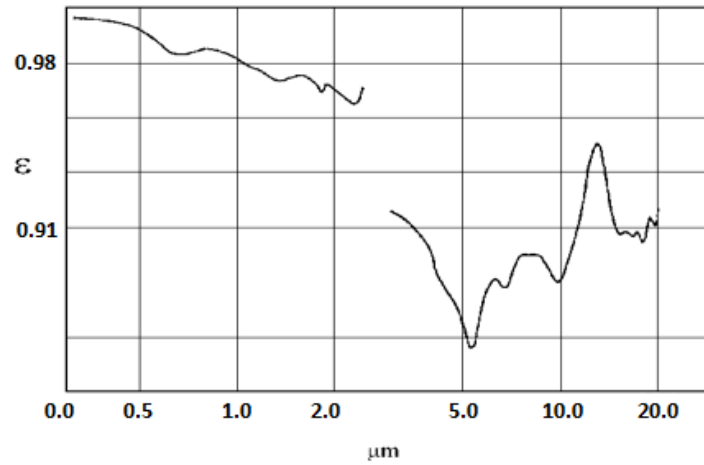
Şekil 4.3 Bir yüzü izole edilmiş beton duvarın günlük ısı depolama kapasitesinin, kalınlığına ve özkütlesine göre değişimi[3]

Duvarımızın yüksekliğini 2 metre , enini de 4 metre kabul edip, yüzey alanı 8 m^2 olan bir ısı depolayıcı duvara göre tasarımıımızı gerçekleştireceğiz.

4.1.3. Selektif Boya

Trombe Duvarı'nın güneşten gelen enerjiyi yutması ve bu enerjiyi depolaması istenir. Normal olarak duvarların yutma oranı istenen seviyelerde olamaz. Bu yüzden, güneşten gelen ısınn daha verimli bir biçimde absorbe edilebilmesi adına selektif boyalar kullanılır. Selektif yüzeylerin güneş ışınımı dalga boyu aralığında yutma oranlarının büyük, uzun dalga boylu ısı (termal) ışınım yayma oranlarının ise küçük olması istenmektedir.[1] Selektif boyalar kullanılmak istenirse, bu boyaların siyah veya koyu bir renkte olması istenir. Selektif boya olarak kullanılan boyaların güneş ışınımını absorblama oranı 0,90-0,98 mertebesinde, ısı ışınımı yayma oranı ise 0,85-0,92 mertebesinde olmaktadır.[13] Yüksek verimler elde etmek için selektif yüzey kullanımı vazgeçilmez bir olgudur.

Atmosfer dışı güneş ışınımı karakteristiğine bakıldığında, %98'inin $\lambda=3\mu\text{m}$ 'den daha küçük dalga boylu olduğu saptanmıştır. Isıl ışınımın ise %99,9'unun $\lambda=3\mu\text{m}$ 'den daha büyük dalga boylarında olduğu saptanmıştır. [13] Bizim tasarımıımızda Parsons siyah boya kullanılmıştır.

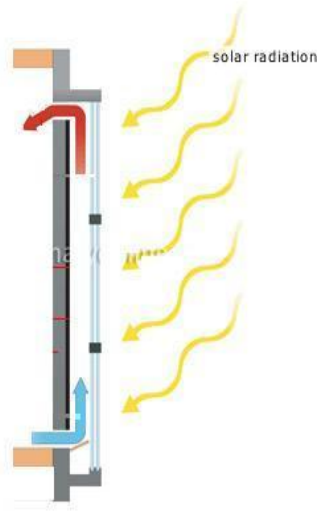


Şekil 4.4 Parsons siyah boyanın yüzey yaymasının dalga boyuyla değişimi

$3\mu\text{m}$ 'den küçük dalga boylarındaki solar spektrumda bu boyanın toplam absorpsiyon katsayısı $\alpha=0,98$ [18] olup, $3\mu\text{m}$ 'den büyük dalga boylarında ısı ışınımı yayma oranı ise toplamda $\epsilon=0,91$ mertebesinde dir.[18]

4.1.4. Isıl Kütle İle Cam Malzeme Arasındaki Hava Boşluğu Mesafesi

Daha önce de bahsedildiği gibi, güneş ışınları selektif yüzeyle temas edip, güneşin ısısı duvarda depolanmaya başlar. Ara boşlukta kalan hava, ısınmış duvarla temasa geçerek ısınır. Böylece havanın öz kütlesi azalır ve hava yükselmeye başlar. Havalandırmalar aracılığıyla sıcak hava hacim içine yollanır. Orada soğuyan hava, alt havalandırma boşluklarından tekrardan cam malzeme ile duvar arasında girer ve burada yeniden ısınarak yükselir ve hacim içine gönderilir.



Şekil 4.5 Hava boşluğundaki konvektif hava döngüsü

Bu işlem, duvarda depo edilmiş ısı enerjisi olduğu müddetçe devam eder. Buradaki hava akımı sıcaklık farkından, dolayısıyla alt ve üst havalandırmalar arasındaki basınç farkından meydana gelir. Hava akımını sağlayan basınç farkı ise;

$$P = H \times \left(\frac{T_{dış} - T_{oda}}{T_{oda} + 273} \right) \quad (4.4)$$

eşitliği ile verilebilir. Burada P, alt ve üst havalandırmalar arasında oluşan basınç farkı, H, duvarın dikey uzunluğu (boyu), $T_{dış}$, dış duvarın sıcaklığı, T_{oda} ise oda sıcaklığıdır.

Duvar ile cam malzeme arasındaki boşluğun seçimi yapılırken birçok hususa dikkat edilmelidir. Eğer mesafe 1.5 inch'den küçükse, ısı kayıpları çok fazla olur ve hacme

aktarılmak istenen sıcak hava, mesafenin çok küçük olmasından dolayı engellenmiş olur. Boşluğun yaklaşık 6 inch'den büyük olması durumunda ise üst ve yan kısımlardan ısı kayıpları çok fazla olur. Ayrıca duvar daha iç tarafta kalacağından, diğer gövde elemanları gölgeleme yaratır ki bu durumda güneşin ışığından yararlanma oranı düşmüş olur. [3]

Düzgün bir hava akışı için, boşluk mesafesi, duvarımızın boyunun %5'i ile %6.5'i kadar olmalıdır.[3] Ayrıca 2 x 4 metre karelik bir duvarda yapılan çalışmalara göre 3,5 inch (yaklaşık 8,9 cm) büyüklüğünde bir boşluk mesafesi bırakıldığı zaman hava akımının düzgün, hacme olan ısı transferinin ise başarılı olduğu gözlenmiştir.[9] Bu iki farklı kaynaktan alınan verileri göz önünde bulundurarak, cam malzeme ile duvar arasındaki hava boşluğu mesafemizi 9 cm kabul ediyoruz.

Düzgün bir hava akımının olabilmesi için duvar yüksekliğinin en az 2 metre olması gerekmektedir.[3] Ayrıca, güneşli bir günde, düzgünce tasarlanmış bir sistemde, 1 m²'lik duvar alanı başına, boşluktaki havanın hacimsel debisi yaklaşık olarak 0,026 m³/s olur. [3]

4.1.5. Havalandırma Kanalları

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere Trombe Duvarları havalandırmalı veya havalandırmaz olabilmekteydi. Havalandırmaz duvarlarda, ısı duvar boyunca iletim yoluyla geçerek, birkaç saat sonra hacim içine ısıtım ve taşınım yoluyla transfer edilmekteydi. Havalandırmalı duvarlarda ise cam malzeme ile duvar arasında kalan havanın ısınarak yükseldiği ve havalandırma deliklerinden hacme transfer edildiğinden bahsetmiştik.

Havalandırmaz Trombe Duvarları'nda dış duvar sıcaklıkları, havalandırmalı Trombe Duvarları'nın dış sıcaklıklarına göre daha yüksektir. Bu nedenle havalandırmaz duvarların dışarıya olan ısı kaybı daha havalandırmalı tiplerine göre daha fazladır.

Havalandırmalı Trombe Duvarları'nda gündüzleri aşırı ısıtma, geceleri de hacimde soğuma meydana gelmesi riski vardır. Bu nedenle içinde bulunan koşullar iyice değerlendirilerek tasarıma gitmek gereklidir. Havalandırma kanallarının hacim içine

açıldığı yerde, aşırı ısıtma veya soğutma riskini ortadan kaldırmak için iç kapakçıklar kapatılarak hava akımı kesilebilir.

Gece, duvar soğumaya başladığı zaman, duvar sıcaklığı, oda sıcaklığından daha düşük bir sıcaklık değerine ulaşmaya başladığı andan itibaren ters hava akışı başlar ve hacim soğur. Bunu engellemek için biz sistemimizde “otomatik damper” kullandık. Bu damper, havanın hacme giriş yaptığı yerde ince tabakalı esnek polietilen malzeme içerir ters yönde hava akımı başladığı an otomatik olarak kapanarak hava akımını engeller.[9] Sistemimizdeki duvarın iç yüzeyi de izolasyonlu olduğundan, ısı kayıplarımız çok küçük boyutlara iner ve sabaha kadar odanın sıcaklığı az miktarda azalır.

Sistemimize bir başka önemli eleman olarak da bir sıcaklık sensörü kullanılması uygun görülmüştür. Gündüzleri aşırı ısıtma riski her zaman mümkün olabilmektedir. Bu yüzden sensör belirli bir sıcaklığın üzerindeki hava akımını algıladığı takdirde otomatik olarak kapakları kapatacaktır. Duvarımızın iç yüzeyinin izolasyonlu olması burada da bize bir avantaj sağlayacaktır.

Duvardaki havalandırmalarda dikkat edilmesi gereken bir husus ise üst havalandırma deliklerinin, alt havalandırma deliklerinden büyük olması gerektiğidir. Böylelikle hava akışı daha düzenli olabilmektedir.[9] Ayrıca alt ve üstte tek bir havalandırma kullanmak yerine, toplamda aynı alana eşit olan birden fazla havalandırma kanalı kullanılması daha verimli olacaktır, çünkü konvektif hava akımı daha iyi gerçekleşir.[9]

Alt ve üst havalandırma deliklerinin ise dikey yönde aynı hizada olmamaları gerekmektedir. Bu durumda da daha iyi bir hava akımı gerçekleşir.[9]

Havalandırma deliklerinin, ideal büyüklüğü ve sayıları hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda havalandırma deliklerinin toplam alanının, duvar alanının %5'i kadar olması gerektiği ortaya çıkmıştır.[3] Eğer toplam havalandırma delik alanı çok fazla olursa, hacme gereğinden fazla ısı transferi olacaktır. Toplam havalandırma alanının çok küçük olması durumunda da taşınım ile gerçekleşen ısı transferi miktarı çok az olacaktır ki böyle bir durum bizim sistemimizde arzu edilmez.

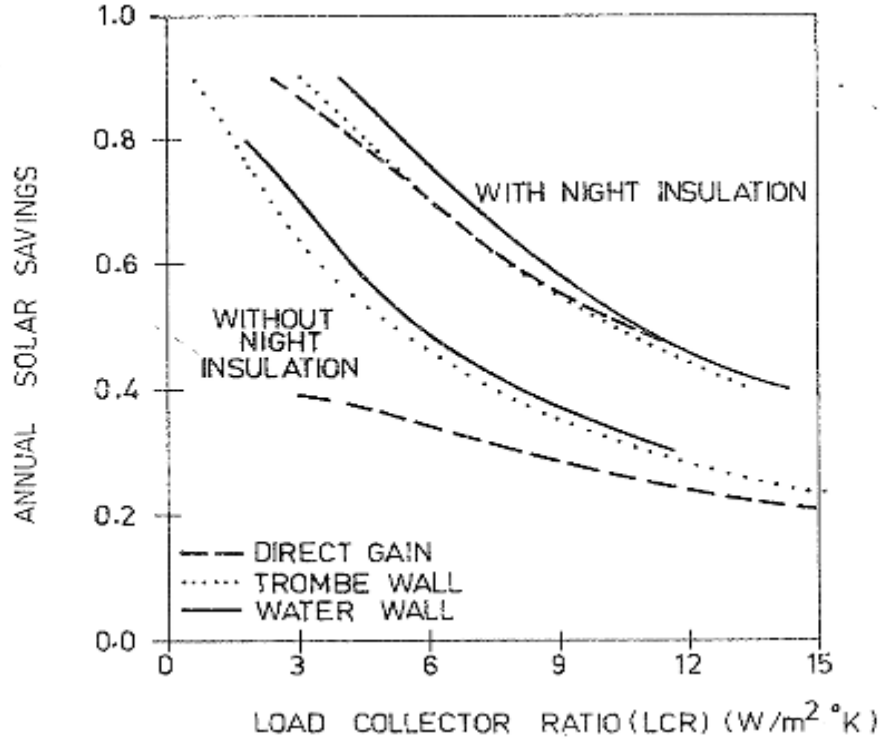
Projemizde kullanılan duvar $2 \times 4 = 8 \text{ m}^2$ yüzey alanına sahipti. Buradan hareketle alt ve üst havalandırmaların alanları toplamı $0,4 \text{ m}^2$ (400000 mm^2) elde edilir. Üst havalandırmaların, alt havalandırmalardan büyük olması gerektiğinden üst havalandırmanın alanını toplam $0,24 \text{ m}^2$ (240000 mm^2), alt havalandırma alanları toplamını da $0,16 \text{ m}^2$ (160000 mm^2) alalım. Üst kısımda 5 adet ve $300 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$ ebatlarında, alt kısımda ise 4 adet ve $250 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$ ebatlarında havalandırmalar bulunmaktadır.

4.1.6. İzolasyon ve Reflektör Yüzey

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi duvarımız, iç yüzeyinden izolasyonluydu. Bu tip bir sistemin avantajları; Trombe Duvarı'nın ısı direncinin artırılması, doğal taşınım yoluyla ısıtılan hacimde insan konforu faktörünün ortaya çıkması, daha kontrollü bir ısı transferi sağlanması, kış geceleri önceden ısıtılmış olan oda sıcaklığının muhafaza edilebilmesi, yazın ise dışarıdan istenmeyen sıcak havanın duvar yoluyla oda hacmine taşınmasının önlenmesi olarak verilebilir. Biz kendi tasarımımızda kullanmak üzere, inch başına ısı direnç katsayısı (R) 5.0 olan Ekstrüze edilmiş polistren(XPS) tipi izolasyon malzemesi tercih ettik. 3 inch (7,62 cm) kalınlıklı standart XPS izolasyon malzemesi için R değeri $15 \text{ m}^2\text{K/W}$ elde edilir.[10] XPS tipi izolasyon malzemesi, genellikle iç ve dış cephe izolasyonlarında sıkça kullanılan bir malzemedir. Ayrıca piyasadan kolay temin, yüksek ısı direnç gibi avantajları nedeniyle tasarımımızda tercih edilmiştir.

Duvarda gün boyunca depolanan ısı, hacim içine transfer edilerek hacmin ısıtılması sağlanır. Ancak güneş battıktan sonra duvarda ısı biriktirilemez, buna ek olarak dış hava da aniden soğuduğu için sistemden dışarıya olan ısı kaybı çok büyük boyutlara ulaşır. Bu yüzden güneş battıktan birkaç saat sonra sistem ısıtma yapamayacak duruma gelir. Bu duruma engel olmak için bir dış izolasyon kullanılabilir. Böylece sistemde depo edilen ısı, güneş battıktan sonra dış izolasyonun devreye alınmasıyla daha uzunca bir süre ısıtmada kullanılabilir. Dış izolasyonun kullanıldığı sistemlerde ısı kayıpları azalır ve verim önemli bir ölçüde artar. Dış izolasyon aynı zamanda yazın da kullanılabilir. Bizim tasarımımızda duvarın iç yüzeyi izole olmasına rağmen gerçek sistemlerde elbette ki hacim içine bir ısı

geçiş olacaktır. Dış izolasyonun yazın kapatılması ile dışarının sıcak etkisinden de kurtulmuş oluruz.

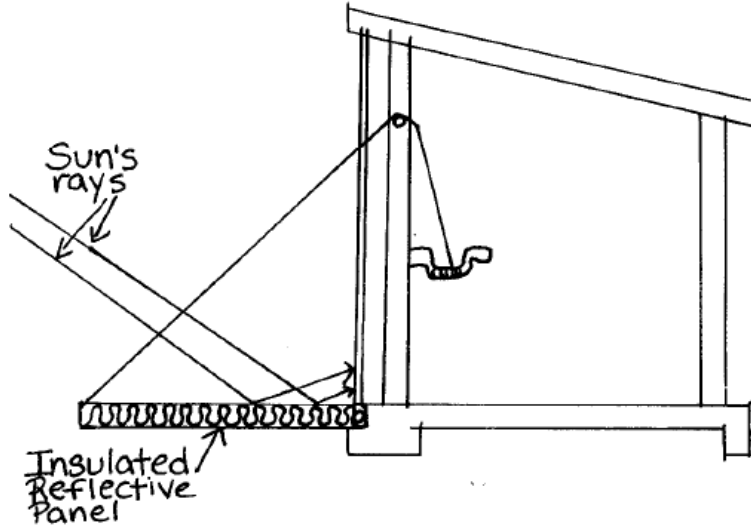


Şekil 4.6 Gece izolasyonunun kullanıldığı pasif sistemlerle, gece izolasyonunun kullanılmadığı pasif sistemlerdeki yıllık solar kazanç [3]

Tasarımımızda dış izolasyon malzemesi olarak, iç izolasyon malzemesi olarak da tercih ettiğimiz, binaların yalıtılmasında da sıkça kullanılan ekstrüze edilmiş polistren (XPS) tipi yalıtım malzemesi tercih ettik. Tasarımda 5 inch'lik (12.7 cm) XPS kullanılmıştır. Böylece gece izolasyonumuzun R değeri $25 m^2K/W$ değerini alır.

Duvarda depo edilen enerji miktarını etkileyen önemli etmenlerden biri de yerin yansıtma katsayısıdır. Bazı yüzeylerin yansıtma özellikleri Bölüm 1'de Tablo 1.6'da verilmişti. Yüzey yansıtma oranı arttıkça depo edilen ısı, dolayısıyla da sistemden elde edilen verim artar. Biz de bu yüzden kendi tasarımımızda yansıtma katsayısı 0,8 olan bir reflektör yüzey kullanmayı tercih ettik.

Yukarda bahsedilen dış izolasyonun ve reflektör yüzeyin aynı panelde kullanılması mümkün olmaktadır. 90°'lik hareket kabiliyetine sahip panel, dik durumdayken, dış yüzeyi izolasyon malzemesi ile kaplı olduğundan izolasyon görevini, yatık durumdayken de iç yüzeyinde yansıtıcı metal bulunduğundan reflektör görevi görmektedir. Böyle bir sistem kullanılması verimlilik açısından çok önemlidir. Aynı anda hem yerin yansıtıcılığı artırılarak duvarda depolanan enerji miktarı önemli ölçüde artırılmış, aynı zamanda da bu sistem geceleri kapatılarak enerji tasarrufu sağlanmış olur.

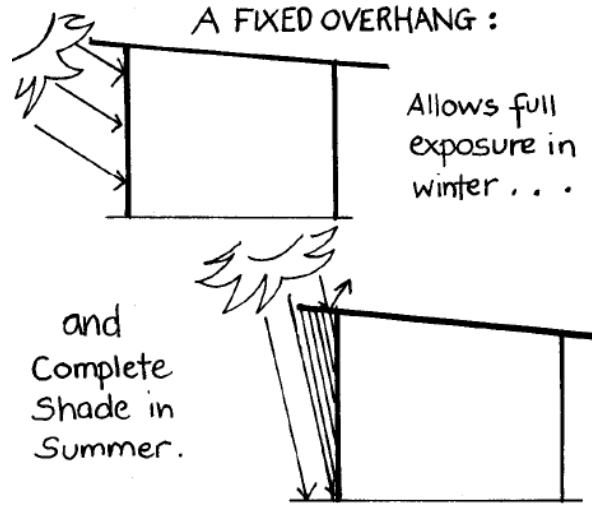


Şekil 4.7 İzolasyonlu yansıtıcı panel

Böyle bir sistemin devreye alınması veya devreden çıkarılması için basit bir el mekanizması ya da 90°'lik hareket verilmiş bir step motor-dişli sistemi kullanılabilir. Kullanıcının tercihinine kalan bir durumdur.

4.1.7. Koruyucu Çatı

Yazın istenmeyen güneş ışınlarından korunmak amacıyla, Trombe Duvarı'nın üstüne (genellikle çatıya) opak bir koruyucu çatı yerleştirilir. Kış mevsiminde güneş daha alçak seviyededir. Kıştan yazı doğru gidildikçe güneş yükselmeye başlar. Yerleştirilecek koruyucu çatı; kışın güneşten gelen tüm ışığı geçirmeli, yazın ise güneşten gelen ışınları tamamıyla engelleyecek şekilde tasarlanmalıdır.



Şekil 4.8 Koruyucu çatı

Yaz güneşinden korunmamızı sağlayacak olan çatının yataydaki uzunluğu rule of thumb kuralıyla hesaplanabilir.[14]

Tablo 4.1 F faktörünün enlem ile değişimini gösteren tablo [14]

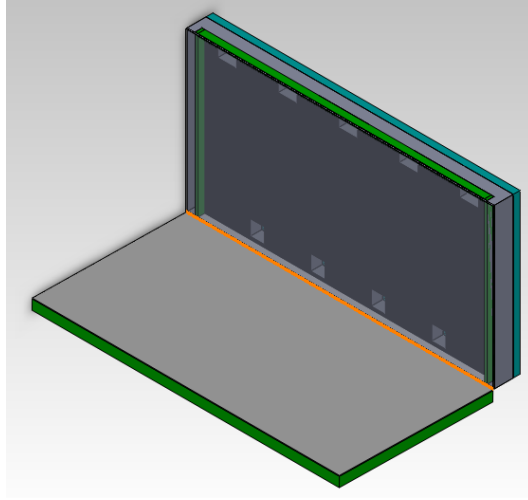
Kuzey Enlemi	Koruyucu çatı faktörü F*
28	5.6 - 11.1
32	4.0 - 6.3
36	3.0 - 4.5
40	2.5 - 3.4
44	2.0 - 2.7
48	1.7 - 2.2
52	1.5 - 1.8
56	1.3 - 1.5

Koruyucu çatının yataydaki uzunluğu

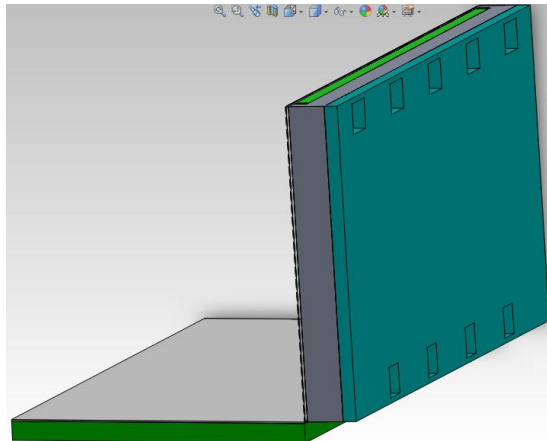
$$= \frac{\text{Pencere Yüksekliği}}{F} \quad (4.5)$$

Bornova 38.28° kuzey enlemlerindedir. Bornova için F faktörü iterasyonlar sonucu yaklaşık olarak 3,086 bulunur. Pencere yüksekliğimiz de 2 metre olduğundan, koruyucu çatımızın yatay uzunluğu 65 cm elde edilir.

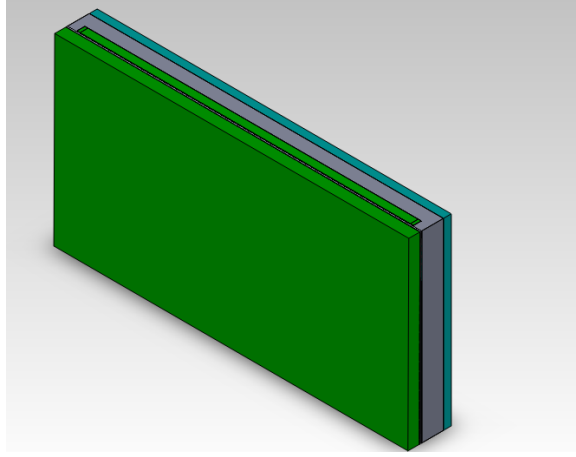
Elde edilen tüm veriler değerlendirilerek izolasyonlu Trombe Duvarı'nın üç boyutlu tasarım programı Solidworks yardımıyla modellenmiş olup, sistemin anlaşılabilmesi için 3 adet resim gösterilmiştir.



Şekil 4.9 3 boyutlu modelin gündüz vakti yansıtıcı metal levha devrede olduğu zamanki görüntüsü



Şekil 4.10 3 boyutlu modelin gündüz vaktindeki iç taraftan görünümü

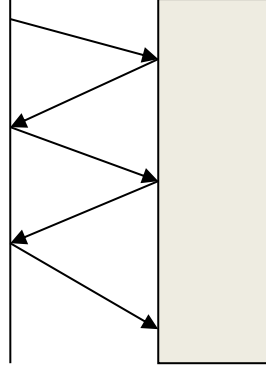


Şekil 4.11 3 boyutlu modelin gece vakti dış izolasyon devreye alındığı zamanki görüntüsü

4.2. Analitik Hesap

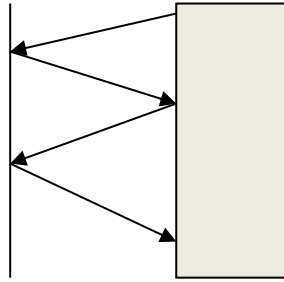
Bu bölümde, Bornova için tasarlanmış olan Trombe Duvarı'mızın Aralık, Ocak ve Şubat ayların için ortalama günlük sıcaklık değerleri ve ısıtma süreleri, analitik yöntemle hesaplanmış olup, bölüm sonunda tablo halinde sunulmuştur. Örnek olarak Ocak ayı için analitik hesaplama yöntemi aşağıdaki işlem basamakları izlenerek elde edilmiştir.

İlk adım olarak Ocak ayındaki eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması değerinden yola çıkılarak bulunan dik yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması değeri olan ve tablo 1.8'de de verilen $7,6578846 \text{ MJ/m}^2$ değeri kullanılarak duvardaki enerji dengesi kurulur ve gün boyunca duvarda depo edilen enerji miktarı Joule cinsinden hesaplanır. Hesaplama yönteminde, tasarımda kullanılan çift camın solar geçirgenliği (% 60), ışığı yansıtma (%12) ve geçirme (%79) değerleri kullanılır. Ayrıca selektif boyanın da solar radyasyon spektrumundaki absorpsiyon değeri (α), yansıtma değeri (ρ) ve uzun dalga boyları için yüzey yayma oranı(ϵ) değerleri kullanılır.



Şekil 4.12 Camdan geçen solar radyasyonun izlediği yol

Yukarıdaki verilen şekilde, camdan geçen solar radyasyonun izlediği yol gösterilmiştir. Solar geçirgenliği %60 olan çift cam tabakasını geçen güneş ışınları, selektif yüzeye çarpar. Burada, solar radyasyonun bir miktarı yüzey tarafından emilir, bir kısmı da yansıtılır. Yansıyan ışınlar tekrar cam ile temasa geçer. Cam ile temasa geçen ışınların da bir kısmı camda emilir, bir kısmı dış ortama geçer, bir kısmı da tekrardan sisteme döner ve bunun da belli bir miktarı, yüzeyin absorpsiyon kapasitesine bağlı olarak duvarda depo edilir. Bu olay sürekli bu şekilde tekrarlanır. Belli bir tekrardan sonar duvarda depolanan miktar çok küçük olduğundan ihmal edilebilir bir değerdedir. Bu yüzden bizim analitik hesabımızda, camdan geri yansıyan ışın 2 defa hesaplanmıştır.



Şekil 4.13 Selektif yüzeyin gri cisim ışıması

Şekil 4.6'dan da görülebileceği gibi duvar yüzeyinden gri cisim ışıması gerçekleşecektir. Yüzeyden gerçekleşen gri cisim ışımasının da bir miktarı cam malzemedan dışarı, bir kısmı da içeri yansiyarak duvarda birikecektir. Bilindiği üzere gerçek cisimler, hiçbir sıcaklıkta siyah cisimden daha fazla ışıma yayamazlar.[4] Gerçek cismin yaydığı ışıının miktarının, aynı sıcaklığa sahip siyah cismin yaydığı ışıının oranı

bize yüzey yayması (ϵ) değerini verir. Bizim dış duvar sıcaklığımız kış ayları için ortalama 45°C olduğundan yüzey yayma oranı ortalama 0,91'dir.[18] Ayrıca yüzeyimizin solar spektrumdaki absorpsiyon katsayısı α ortalama 0,98 olarak verilmiştir.[18] Duvar opak bir cisim olduğundan ışığı geçirmez. Buradan hareketle formül 4.1 göz önünde bulundurulursa yüzeyin yansıtma oranı da 0,02 olacaktır. Böylece duvardaki enerji dengesi aşağıdaki ifade ile verilebilir.

$$\begin{aligned} & \left(0,6 \times 7657884,6 \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \times 0,98\right) + \left(0,02 \times 0,6 \times 7657884,6 \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \times 0,12 \times 0,98\right) \\ & + \left(0,02^2 \times 0,6 \times 7657884,6 \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \times 0,12^2 \times 0,98\right) \\ & + (\epsilon \sigma T_y^4 \times 0,12 \times 0,98 \times 34740s) + (0,02 \times \epsilon \sigma T_y^4 \times 0,12^2 \times 0,98 \\ & \times 34740s) \end{aligned} \quad (4.6)$$

Burada; 34740 saniye değeri gün uzunluğu süresi olup java bilgisayar programı ile hesaplanmış olup Ekler kısmında verilmiştir. Enerji dengesinde bu sürenin kullanımının nedeni ise yüzeyin verilen sıcaklıkta kalma süresi, güneşin gelme süresi ile eşit kabul edilmesidir. Böylelikle birim uyumsuzluğu ortadan kalkmıştır ve belli bir sıcaklıkta gri cisim ışıması yapan yüzey, bu ışınlamaların camdan içeri yansmasıyla bu ışınlam enerjisini depo etmiştir. 0,6 değeri, daha önce de bahsedildiği gibi çift camın solar geçirgenliği, 0,12 değeri de camın ışığı içe yansıtma oranıdır. σ değeri, Stefan – Boltzman sabiti olup değeri $5,76 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. Ayrıca yüzey sıcaklığı da, Ocak ayı için ortalama 45°C (318K) sabit yüzey sıcaklığı kabulü yapılmıştır.

Enerji dengesi sonucu duvarın güneşin gelme süresince depoladığı enerji miktarı buradan 6674451,742 J/m² bulunur. Duvar alanımız 8 m² olduğundan duvarda depo edilen toplam enerji ise $Q_{\text{depolanan}} = 53395613,93 \text{ J}$ olur.

Daha sonra ise duvardan ara boşluktaki havaya gerçekleşen ısı transferini bulmamız gerekir. Bu amaçla öncelikle ortalama Nusselt sayısına, oradan da ortalama taşınım katsayısına ($h_{\text{taşınım}}$) ve ısı ışınlam katsayısına ($h_{\text{ışınım}}$) ihtiyaç vardır. Nusselt sayısının hesabı için Churchill ve Chu tarafından geliştirilen ampirik bağıntı kullanılmıştır.[4]

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h}_{\text{taşınım}} \times L}{k} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (4.7)$$

Burada Ra_L Rayleigh sayısı, Pr ise Prandtl sayısıdır. Sağ taraftaki denklemden elde edilen değer Nusselt sayısına eşittir. Nusselt sayısı bulunduktan sonra ortalama ısı taşınım katsayısı olan $\bar{h}_{\text{taşınım}}$, ortalama hava sıcaklığı olan ortam sıcaklığındaki ısı iletim katsayısı ve duvarın boyu formülde kullanılarak, içler dışlar çarpımı sonucunda elde edilir. Ra_L ise;

$$Ra_L = \frac{g \times \frac{1}{\beta} \times (T_{\text{yüzey}} - T_{\text{ortam}}) \times L^3}{\alpha \times \nu} \quad (4.8)$$

Eşitlik 4.7’de g yer çekimi ivmesi, β hacimsel genleşme katsayısı, α ısıl yayılım katsayısı, ν ise kinematik viskoziteyi temsil etmektedir.

Eşitlik 4.6 ve 4.7’de verilen özellikler, duvar sıcaklığı ile çift camın iç yüzey sıcaklığının ortalaması alınarak elde edilir. Verilere göre Ocak ayı için Bornova’da ortalama $8,9^\circ\text{C}$ ’dir.[17] Buna göre özellikleri tespiti için kullanılacak olan ortalama sıcaklık $T_{\text{ortam}}=26,95^\circ\text{C}=299,95\text{ K}$ olur.

Bu sıcaklık değeri için hava gazı tablosundan gerekli verilerek interpolasyon ile bulunudur.[4] Buna göre;

$$Ra_L = \frac{9,81 \times \frac{1}{299,95} \times (318 - 299,95) \times 2^3}{22,50 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 15,89 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 1,310 \times 10^{10} \quad (4.9)$$

değeri elde edilir. Rayleigh sayısı 10^9 ’dan büyük olduğundan akış türbülanslıdır.[5]

Denklem 4.7'ye göre ortalama Nusselt sayısı kullanılarak $h_{\text{taşınım}}$ taşınım katsayısı, aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\bar{h}_{\text{taşınım}} = \frac{\overline{Nu} \times k}{L} \quad (4.10)$$

Bu işlem sonucunda $\bar{h}_{\text{taşınım}}=3,611 \text{ W/m}^2\text{K}$ elde edilir.

Şimdi de $\bar{h}_{\text{ışınım}}$, yani ışınım ısı iletim katsayısının bulunması gerekmektedir. Işınım ile gerçekleşen ısı transferinde, duvar, yaydığı ışınlarla ara boşluktaki havayı ısıtacaktır. İdeal şartlar altında gazın ışınım yutmadığı varsayılır. Fakat bu projede, gazların ışınım yutma katsayıları hesaplanarak ortalama gaz yutma katsayısı bulunmuştur ve buna göre $\bar{h}_{\text{ışınım}}$ değeri belirlenmiştir.

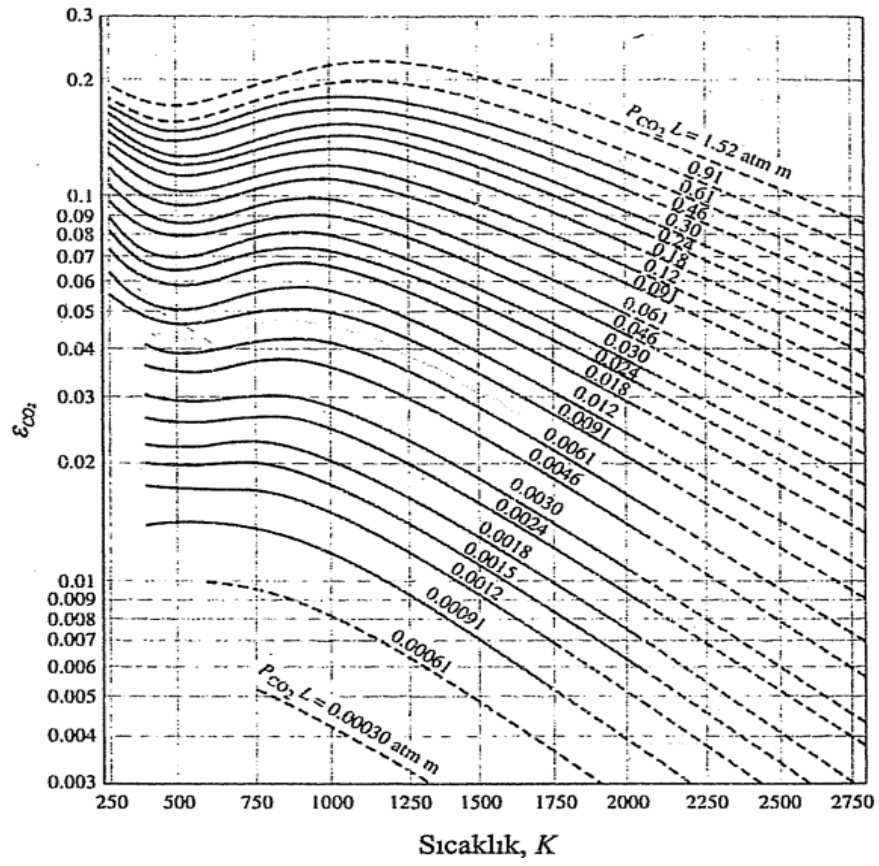
Ara boşluktaki havanın içerisinde %4 su buharı ve % 2 CO₂ bulunduğu kabulü yapılmıştır. Bunun nedeni havadaki nem miktarının %4'ü geçmemesi ve atmosferdeki havada yaklaşık olarak % 1 oranında CO₂ bulunduğu ve havanın devir daim esnasında insanlar tarafından solunmasıyla CO₂ oranının bir miktar arttığı göz önüne alınmıştır. Hava içerisindeki diğer gazların ışınım yutma katsayıları çok düşük olduğundan ihmal edilmişlerdir.[4]

İşınım yapan gazın eşdeğer tabaka kalınlığı $L_{\text{eş}}$ eşitlik 4.11 ile hesaplanır.

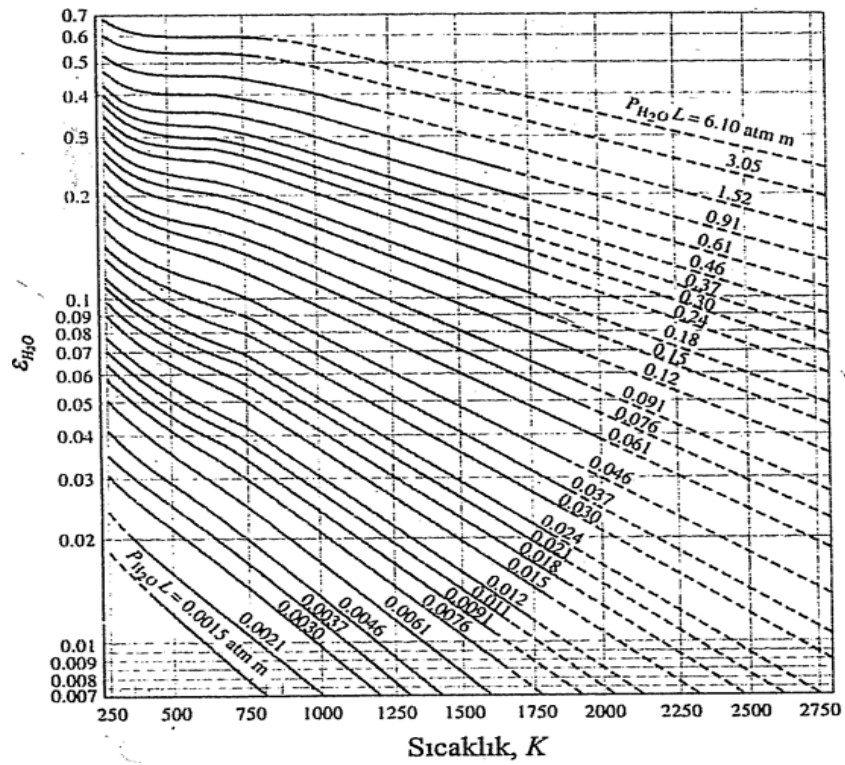
$$L_{\text{eş}} = 4 \times \frac{\text{Hacim}}{\text{Yüzey Alanı}} \quad (4.11)$$

Bu formüle göre bizim eşdeğer tabakamızın kalınlığımız $L_{\text{eş}}$ 0,36 metre elde edilir.

Aşağıda sırasıyla CO₂ ve H₂O'nun 1 atmosfer basınçta ışınım yapma oranları Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.14 1 atmosfer toplam basınçta karbon dioksitin ısıtım yayma oranı[5]



Şekil 4.15 1 atmosfer toplam basınçta su buharının ısıtım yayma oranı[5]

Bu grafiklerden, gazın yüzdesi ile $L_{eş}$ eşdeğer tabaka kalınlığı çarpılarak elde edilen değer okunarak gazın ışıyım yayma katsayısı ϵ_g okunur. Buna göre CO₂'nin ışıyım yutma katsayısı 0,05, H₂O'nun ışıyım yutma katsayısı ise 0,09 okunur.

Gazların ışıyım yutma katsayılar α_g Eşitlik 4.12 ile verilir.

$$\alpha_g = \epsilon_g \times \left(\frac{T_g}{T_{yüzey}} \right) \quad (4.12)$$

Burada α_g gazın ışıyım yutma katsayısı, ϵ_g gazın ışıyım yayma katsayısı, T_g gazın sıcaklığı, $T_{yüzey}$ ise duvarın sıcaklığıdır.

İki gazın ortalama ışıyım yutma katsayısını hesaplamak içinse eşitlik 4.13 kullanılır.

$$\alpha_g = \alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1 \times \alpha_2 \quad (4.13)$$

Bu formüle göre ara boşluktaki havanın toplam ışıyım yutma katsayısı 0,131 olur.

İdeal durumda $\bar{h}_{ışıyım}$ bulunurken aşağıda verilmiş olan eşitlik 4.14 kullanılır.

$$\bar{h}_{ışıyım} = \epsilon \times \sigma \times (T_{yüzey} + T_{ortam}) \times (T_{yüzey}^2 + T_{ortam}^2) \quad (4.14)$$

İdeal durumlarda uygulanan 4.14 formülü kullanıldığında zaman $\bar{h}_{ışıyım}$ miktarımızı 6,09 W/m²K olmaktadır. Gazların da ışıyım yutma oranı α_g hesaba katılırsa, $\bar{h}_{ışıyım}$ miktarımız 5,291 W/m²K olur.

Bu durumda duvar yüzeyinden ara boşluktaki havaya gerçekleştirilen ısı transferi $\dot{Q}$;

$$Q = (\bar{h}_{taşıyım} + \bar{h}_{ışıyım}) \times A_{yüzey} \times (T_{yüzey} - T_{ortam}) \quad (4.15)$$

formülü yardımıyla 1285,501 Watt bulunur.

Bu aşamadan sonra ise, duvardan ara boşluktaki havaya gerçekleşen ısı transferi miktarı kullanılarak, havanın giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark bulunmalıdır. Bu amaçla;

$$Q = \dot{m} \times c_p \times (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \quad (4.16)$$

formülü kullanılır. Denklem 4.15'teki $\dot{Q}$ ile denklem 4.16'daki $\dot{Q}$ ısı miktarı, enerjinin korunumu ilkesine göre birbirine eşit olmalıdır. Havanın kütleli debisi olan $\dot{m}$ 'nin hesaplanabilmesi için öncelikle ara boşluktaki havanın ortalama hızı $\bar{V}$ hesaplanması gerekmektedir.

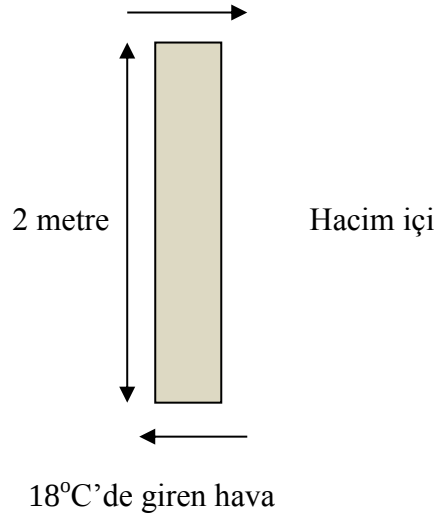
$$\bar{V} = \left[\frac{2 \times g \times L}{C_1 \times \left(\frac{A_{\text{çıkış}}}{A_{\text{giriş}}} \right)^2 + C_2} \times \left(\frac{T_{\text{ortam}} - T_{\text{oda}}}{T_{\text{ortam}}} \right) \right]^{1/2} \quad (4.17)$$

$A_{\text{çıkış}}$ 'ın $A_{\text{giriş}}$ 'e oranını 3/2 alındığı bölüm 4.1.5'de belirtilmişti. Oda sıcaklığının 18°C'de tutulduğu kabul edilirse, ara boşluktaki ortalama hava hızı 4.17 formülü yardımıyla 0,241 m/s bulunur.

$$\dot{m} = \rho \times \bar{V} \times A \quad (4.18)$$

eşitliği yardımıyla, verilen sıcaklıktaki $\dot{m}$ kütleli hava debisi 0,112 kg/s bulunur. Havanın verilen sıcaklıktaki ısı depolama kapasitesi olan C_p bu sıcaklıkta 1007 J/gK'dir. Buna göre değerler, denklem 4.16'da yerine yazılırsa giriş ve çıkış sıcaklık farkı 11,3°C elde edilir. Yani 18°C'de tutulan hacimde, alt havalandırmadan giren 18°C'deki hava, 2 metre uzunluğundaki duvar boyunca ısınır ve 29,3°C sıcaklıkta tekrar hacim içine transfer edilir.

29,3°C'deki çıkan hava



Şekil 4.16 Sisteme giriş ve çıkış sıcaklıkları

Son olarak da sistemin güneş ışığına maruz kaldığı ilk andan itibaren kaç saat boyunca hacim içini 18°C'de tutabileceğinin hesaplanması gerekmektedir. Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, güneş battıktan sonra, sistemde kalan ısınn korunabilmesi ve daha uzun süreli bir ısıtma sağlamak amacıyla dış izolasyon (gece izolasyonu) kullanılmıştı. Dış izolasyon 5 inch kalınlığındaki XPS malzemeden yapılmış olup, direnç katsayısı 25 m²K/W idi.[10]

Sistemden dışarıya gerçekleşen günlük ısı kaybının aylık ortalama değeri $\bar{Q}_L$;

$$\bar{Q}_L = 24 \times 3600 \times A \times \bar{U}_L \times (T_m - T_{dış}) \quad (4.19)$$

formülüne göre hesaplanır. Burada; 24 x 3600 değeri bir gün içerisindeki saniye sayısını, A duvar alanını, $\bar{U}_L$ çift camdan dışarı çıkan ısınn günlük miktarının aylık ortalamasını belirtir. Eğer sistemde gece izolasyonu kullanılıyorsa $\bar{U}_L$ değeri eşitlik 4.20 yardımıyla hesaplanır.

$$\bar{U}_L = (1 - f_n) \times U_L + f_n \times U_L \times \left(\frac{U_L}{1 + R_N U_L} \right) \quad (4.20)$$

Burada f_n değeri, gece izolasyonunun devrede olduğu sürenin, toplam gün uzunluğuna oranıdır. 17 Ocaktaki gün uzunluğunun 34740 saniye olduğu hesaplanmıştı. Bu durumda f_n oranı 0,597'ye eşit olmaktadır. U_L değerimiz de şekil 4.2'deki çift cam kataloğundan 1,1 W/m²K okunur. Bu durumda $\bar{U}_L=0,467$ W/m²K, $\bar{Q}_L$ değeri de 5834811,84 Joule olur. İzolasyonlu Trombe Duvarımızın hacmi 18°C'de tutabileceği süreyi bulmak için, gün boyunca depolanan enerji ($Q_{\text{depolanan}}$) ile dışarıya kaybedilen enerji ($\bar{Q}_L$) farkının, 1 saniye içerisinde duvardan ara boşluktaki havaya gerçekleşen ısı miktarına($\dot{Q}$) oranının alınması gereklidir.

$$\frac{Q_{\text{depolanan}} - \bar{Q}_L}{\dot{Q}} = \frac{53395613,93 \text{ J} - 5834811,84 \text{ J}}{1285,501 \text{ J/s}} = 36997,85292 \text{ s.} \quad (4.21)$$

olur. Buradaki 36997,85292 saniyelik değer ise yaklaşık 10 saat 17 dakikaya denk gelmektedir. Buradan hareketle, gece izolasyonunun, sistemin güneş battıktan sonra fazladan yaklaşık 40 dakikalık bir sürede aynı şekilde ısıtmaya devam edebilmesini sağladığı görülür.

4.3. Maliyet Analizi

İyi tasarlanmış bir Trombe Duvarı sistemi yüksek verimli olacak olup, uzun bir zaman aralığı içerisinde insan ihtiyaçlarını karşılayacak ve bu sürede kullanılan enerjiyi azaltacaktır. Böylelikle hem bu sistemden yararlanan kişilerin enerji için harcadığı para azalacak, hem de yenilenebilir enerjinin kullanımıyla konvansiyonel enerji kaynaklarının tüketimi azaltılmış olacak, dolayısıyla çevreye verilen zarar da ortadan kalkacaktır.

Trombe Duvarı, güneş evi, kompozit güneş duvarı gibi sistemler, ilk yatırım maliyetleri dışında, periyodik bakımı hariç hiçbir masrafı olmayan sistemlerdir. Bu yüzden, yüksek verim alabilmek için; yüksek solar geçirgenliğe ve yüksek izolasyon kapasitesine sahip cam malzeme, otomatik geri dönüş damperi, izolasyon malzemesi, ısıl kütle gibi sistem elemanlarının en ideal seçiminin yapılması gerekmektedir.

Şimdi, bu projede kullanılan ve daha önce bahsedilmiş olan sistem elemanlarının maliyet hesaplamalarını gerçekleştirelim.

Sistemde iç izolasyon ve gece izolasyonu malzemesi olarak Ekstrüze edilmiş polistren (XPS) tipi malzeme kullanılmıştı. Bu malzeme, binaların mantolanmasında sıkça kullanılan bir malzeme olup, temin edilmesi kolaydır. Metre küp başına birim fiyatı 325 TL[20] olan XPS malzemeden sistemde; gece izolasyonunda, iç izolasyonda ve cam ile duvar ara boşluğunda yanlarda ve üst kapakta olmak üzere toplam $1,65 \text{ m}^3$ kullanılmıştır. Böylelikle $325\text{TL}/\text{m}^3$ olan birim fiyatıyla çarpıldığı zaman izolasyon malzemesinin toplam maliyeti bize yaklaşık 535TL olmaktadır.

Isıl depolama birimi olarak kullanılan beton duvarlarımızın malzemesini TS EN 206-1 standardına göre C25 tipi beton malzeme kullanmayı tercih ettik. C25, betonun minimum basma dayanımının 25 MPa, yani $250 \text{ kg}/\text{cm}^2$ olduğu anlamına gelmektedir.[21] Katma değer vergisi de eklendiği zaman 1 m^3 betonun maliyeti 90 TL civarında olmaktadır.[21] Bizim sistemimiz, $1,2 \text{ m}^3$ beton ihtiva etmektedir. Birim metre küp için verilen fiyatla çarpıldığı zaman betonun bize maliyeti 108 TL olmaktadır.

Tasarımda rol oynayan en büyük faktörlerden birisi kullanılan cam malzemedir. Bunun için cam kullanılabileceği gibi, geçirgen plastik malzeme de kullanmak mümkündür. Ancak camların solar geçirgenliği ve izolasyon karakteristiği plastiklere göre daha iyi olduğundan cam malzeme kullanımı tercih edilmiştir. Cam malzeme için Trakya Cam kataloğundan TRC Ecotherm 4+4 mm kalınlığında, 16 cm ara boşluğa sahip, ara boşluk gazı argon olan cam tipi seçilmiştir. [15] Alanı 8 m^2 olan bu camın birim m^2 fiyatı Trakya Cam Şirketi'nin İzmir'deki üreticilerinden olan Moda Cam firması ile irtibata geçilerek öğrenilmiş olup, 30 TL'dir. [23] Katma değer vergisi de eklendiği zaman 8 m^2 yüzey alanına sahip TRC Ecotherm 4+4, 16 cm ara boşluklu ve argon gazlı çift camın toplam maliyeti 285 TL etmektedir.[23] Böylelikle sistemde kullanılmış olan cam malzemenin bize maliyeti 285 TL olur.

Bir başka sistem elemanımız da, hacimdeki sıcak havanın, ters akışla hacimden dışarı çıkmasını engelleyen otomatik damperlerdir. Sistemde 5 adet üst, 4 adet de alt havalandırma olmak üzere toplam 9 adet havalandırma bulunmaktadır. Bu yüzden 9 adet

otomatik damper kullanılmalıdır. Birim fiyatı 11 dolar, yani yaklaşık 19,8 TL olan FV-1B tipi otomatik damperlerden 9 adet kullanılmıştır.[22] Böylelikle 9 adet otomatik damperin maliyeti bize 178 TL olur.

Havalandırma kanallarının yapımı, kullanılan boya, sıva ve işçilik fiyatlarının da 150 TL tuttuğu kabul edilir ise, bu sistemin bize toplam maliyeti yaklaşık 1256 TL olur.

5. JAVA PROGRAMLAMA DİLİ YARDIMIYLA OTOMATİKLEŞTİRİLEN HESAPLAMALAR

Tüm bu yukarıda anlatılan hesaplamalar Java Programlama dilinde yazılmış bir programla otomatikleştirilmiştir. Java dili kaynak kod dosyasına **Ekler** kısmından ulaşılabilir.

Program çalıştırıldığında kullanıcıya programın ne yapmasının istendiği hakkında bir soru sorulur. Program 5 çeşit hesaplama yapmaktadır:

- (1) Eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamasını hesaplamaktadır.
- (2) Mevsimlere göre değişen solar sabitini hesaplamaktadır.
- (3) Gün uzunluğunu hesaplamaktadır.
- (4) Hacme giriş sıcaklığını hesaplamaktadır.
- (5) Sistemin toplam ısıtma süresini hesaplamaktadır.

```
Programın ne hesaplamasını istersiniz?
-----
(1) Eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamasını hesaplamak için '1'e basınız
(2) Mevsimlere göre değişen solar sabitini hesaplamak için '2'ye basınız
(3) Gün uzunluğunu hesaplamak için '3'e basınız
(4) Çıkış sıcaklığını hesaplamak için '4'e basınız
(5) Sistemin toplam ısıtma süresini hesaplamak için '5'e basınız

Tercihinizi giriniz: 1
```

Şekil 5.1 Java Programının “Ne hesaplanmasını istiyorsunuz?” ekran görüntüsü

Kullanıcı belirtilen tercihlerden birini girerek istediği hesaplamaları yaptırabilir.

- Tercih olarak “1” girildiğinde program “Eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması hesaplanacak” der ve kullanıcıdan gerekli değerleri almak için beklemektedir.

Örnek programda Bornova’da gerçekleşen eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması hesaplanırken, Tablo 1.7’de verilmiş olan yatay yüzeye gelen radyasyon değerleri kullanılmıştır.

Bu değerler programa girildiğinde;

```
Tercihinizi giriniz: 1

--> Eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması hesaplanacak..

Enlemi giriniz (derece olarak): 38.28
Yüzey eğikliği giriniz (derece olarak): 90
Yüzey yansıtıcılığı sabitini giriniz: 0.8
Yatay yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamalarını giriniz (MJ/mm olarak)
1. ay: 5.03899
2. ay: 7.108926
3. ay: 10.269424
4. ay: 14.378364
5. ay: 19.097166
6. ay: 18.284992
7. ay: 18.963824
8. ay: 17.555164
9. ay: 13.870494
10. ay: 10.091356
11. ay: 6.351928
12. ay: 4.344274
```

Şekil 5.2 Bornova için “eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması” hesaplaması için veri girişi ekran görüntüsü

Java programı formüllerdeki hesaplamaları otomatik olarak yaparak şu tabloyu vermektedir:

Günlük Radyasyonun Aylık Ortalaması								

Enlem: 38.28 derece								
Yüzey Eğikliği: 90.0 derece								
Yansıtıcılık sabiti: 0.8								
Ay	H	Ho	KT	Hd	Rb	Rd	Rr	HT
1	5.03899	16.267958	0.3097494	3.1579115	2.160108	0.49999997	0.40000004	7.6578846
2	7.108926	21.513659	0.33043778	4.229323	1.4977741	0.49999997	0.40000004	9.271227
3	10.269424	28.213476	0.36399004	5.9279647	0.9002854	0.49999997	0.40000004	10.980305
4	14.378364	35.0751	0.4099308	7.5145893	0.4498762	0.49999997	0.40000004	12.596489
5	19.097166	39.817986	0.47961155	8.574966	0.2258103	0.49999997	0.40000004	14.30237
6	18.284992	41.711826	0.4383647	8.985421	0.15000154	0.49999997	0.40000004	13.201658
7	18.963823	40.697163	0.4659741	8.774416	0.18176118	0.49999997	0.40000004	13.824776
8	17.555164	36.845352	0.47645533	7.937653	0.3422901	0.49999997	0.40000004	14.282871
9	13.870494	30.645546	0.45261043	6.6080456	0.6956214	0.49999997	0.40000004	13.904135
10	10.091356	23.44392	0.43044662	5.0449286	1.2826147	0.49999997	0.40000004	13.03163
11	6.351928	17.477339	0.36343795	3.4801342	1.9673686	0.49999997	0.40000004	9.930716
12	4.344274	14.821779	0.2931007	2.8395092	2.3911502	0.49999997	0.40000004	6.755583

Şekil 5.3 Bornova için $Ay-H-H_0-KT-H_d-R_b-R_d-R_r-HT$ tablosu ekran görüntüsü

Yukarıda program çıktısı olan ekrandaki Ay & $\bar{H}$ & $\bar{H}_T$ değerleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 5.1 Bornova koşullarında aylara göre değişen $\bar{H}$ ve $\bar{H}_T$ değerleri

Ay	$\bar{H}$	$\bar{H}_T$
1	5,03899 MJ/m ²	7,6578846 MJ/m ²
2	7,108926 MJ/m ²	9,271227 MJ/m ²
3	10,269424 MJ/m ²	10,980305 MJ/m ²
4	14,378364 MJ/m ²	12,596489 MJ/m ²
5	19,097166 MJ/m ²	14,30237 MJ/m ²
6	18,284992 MJ/m ²	13,201658 MJ/m ²
7	18,963824 MJ/m ²	13,824776 MJ/m ²
8	17,555164 MJ/m ²	14,282871 MJ/m ²
9	13,870494 MJ/m ²	13,904135 MJ/m ²
10	10,091356 MJ/m ²	13,03163 MJ/m ²
11	6,351928 MJ/m ²	9,930716 MJ/m ²
12	4,344274 MJ/m ²	6,755583 MJ/m ²

Program tabloyu verdikten sonra kullanıcının bir daha programı çalıştırmasına imkan sağlayacak şekilde çalışmaya devam eder.

```
Programı bir daha çalıştırmak için '0'a basınız, diğer her tuş programı bitirir..  
Tamam mı devam mı?:
```

Şekil 5.4 Programın başka bir hesap yapıp yapmamasının sorulduğu ekran görüntüsü

- Eğer kullanıcı tercih olarak “2” girdiyse program “Mevsimlere göre değişen solar sabiti hesaplanacak” demekte ve kullanıcıdan yılın kaçınıcı günü olduğu bilgisini almak için beklemektedir.

```
Programın ne hesaplamasını istersiniz?  
-----  
(1) Eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamasını hesaplamak için '1'e basınız  
(2) Mevsimlere göre değişen solar sabitini hesaplamak için '2'ye basınız  
(3) Gün uzunluğunu hesaplamak için '3'e basınız  
(4) Çıkış sıcaklığını hesaplamak için '4'e basınız  
(5) Sistemin toplam ısıtma süresini hesaplamak için '5'e basınız  
  
Tercihinizi giriniz: 2
```

Şekil 5.5“Mevsimlere göre değişen solar sabiti” hesaplaması için veri girişi ekran görüntüsü

Her ayın ortasındaki gün ile 1 Ocak arasındaki gün sayısı Tablo 1.4'e göre hesaplanarak programa girdi olarak verildiğinde şu sonuçlar elde edilir:

```
Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 16
Hesaplanan solar sabiti: 1410.4108

Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 45
Hesaplanan solar sabiti: 1399.2396

Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 75
Hesaplanan solar sabiti: 1379.455

Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 105
Hesaplanan solar sabiti: 1356.4219

Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 136
Hesaplanan solar sabiti: 1335.5858

Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 166
Hesaplanan solar sabiti: 1323.6965

Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 197
Hesaplanan solar sabiti: 1323.287

Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 228
Hesaplanan solar sabiti: 1335.0331

Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 258
Hesaplanan solar sabiti: 1354.9186

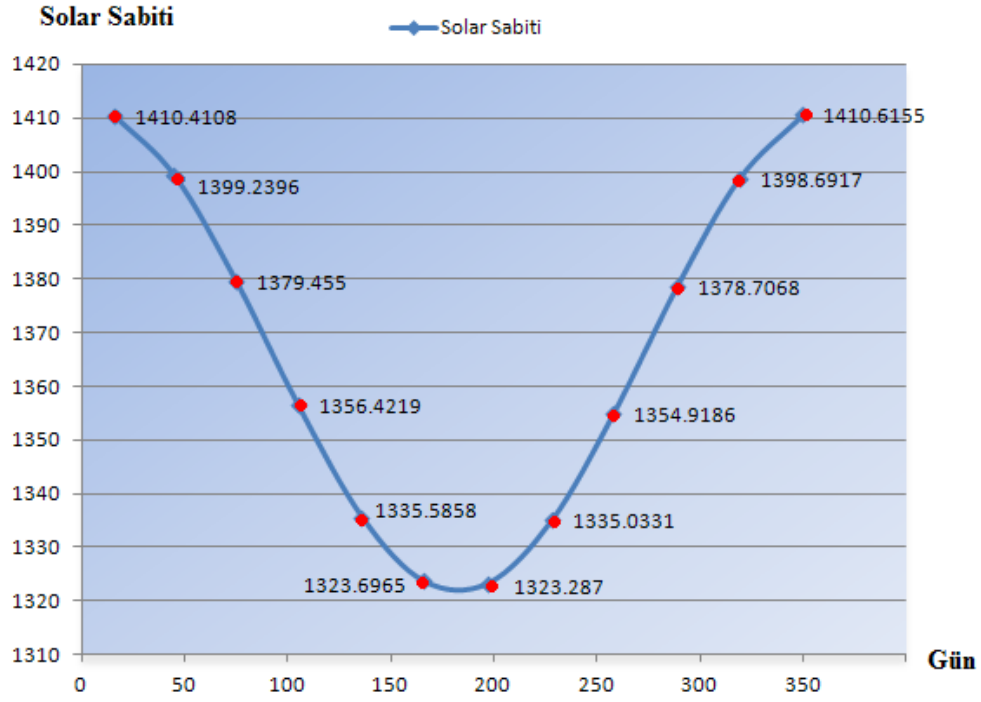
Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 289
Hesaplanan solar sabiti: 1378.7068

Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 319
Hesaplanan solar sabiti: 1398.6917

Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: 350
Hesaplanan solar sabiti: 1410.6155
```

Şekil 5.6 Her ayın ortasındaki gün ile 1 Ocak arasındaki gün sayısına göre değişen hesaplanmış solar sabiti ekran görüntüsü

Her ayın ortasındaki günde, atmosfer dışındaki 1m^2 'lik alana solar radyasyon miktarı, Java programından elde edilmiş veriler kullanılarak aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 5.7 Mevsimlere bağlı olarak değişen solar sabiti grafiği

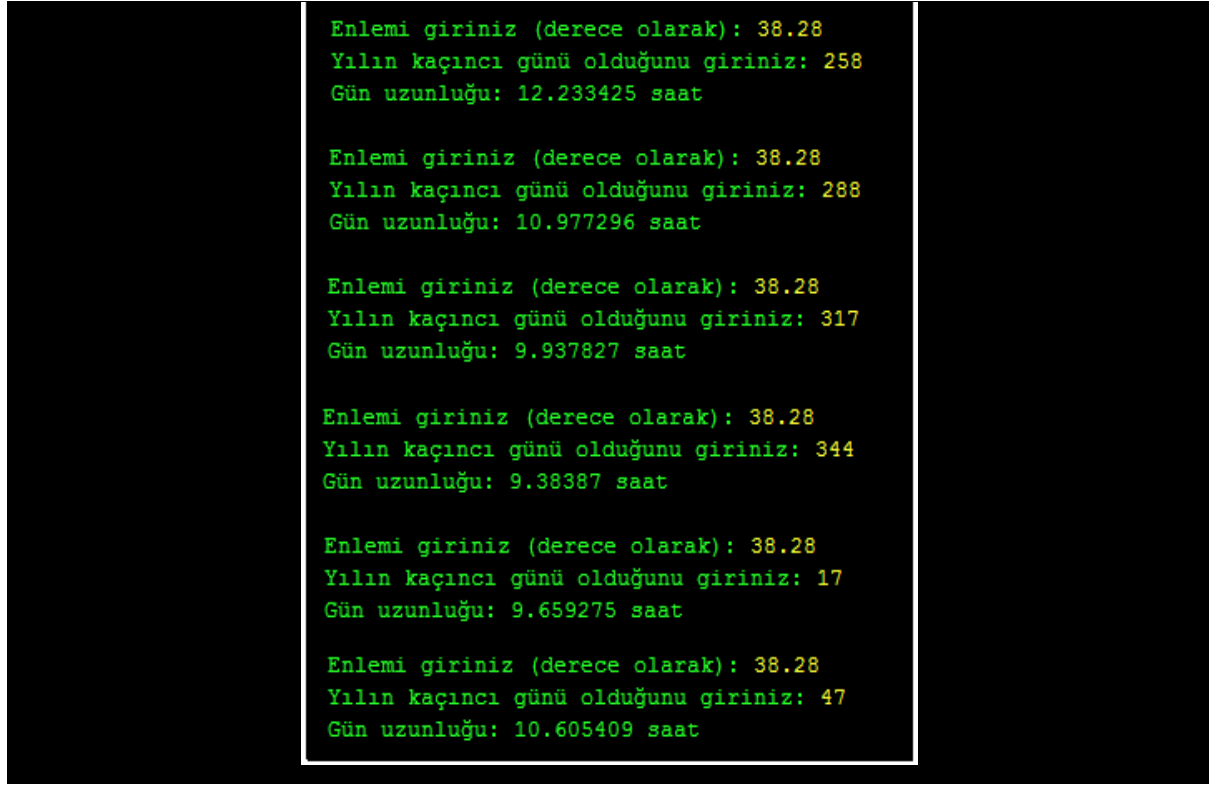
• Tercih olarak “3” girildiğinde, örnek uygulamada Bornova için enlem değeri 38,28 derece girilerek Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarının orta günleri için gün uzunluğu saat cinsinden hesaplanmıştır.

```
Programın ne hesaplamasını istersiniz?
```

- ```

(1) Eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamasını hesaplamak için '1'e basınız
(2) Mevsimlere göre değişen solar sabitini hesaplamak için '2'ye basınız
(3) Gün uzunluğunu hesaplamak için '3'e basınız
(4) Çıkış sıcaklığını hesaplamak için '4'e basınız
(5) Sistemin toplam ısıtma süresini hesaplamak için '5'e basınız
```

```
Tercihinizi giriniz: 3
```



Şekil 5.8 Bornova’daki “Gün uzunluğu” hesaplaması için veri giriş ekranları

Programdan elde edilen Bornova’daki gün uzunlukları Tablo 5.2’de özetlenmiştir.

**Tablo 5.2** Java programlama dili ile hesaplanmış olan, her ayın ortasındaki güne ait gün uzunluğu

| Aylar               | Eylül                | Ekim                 | Kasım               | Aralık              | Ocak                | Şubat                |
|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Yılın kaçınıcı günü | 258                  | 288                  | 317                 | 344                 | 17                  | 47                   |
| Gün uzunluğu (saat) | 12 saat<br>14 dakika | 10 saat<br>58 dakika | 9 saat<br>56 dakika | 9 saat<br>23 dakika | 9 saat<br>39 dakika | 10 saat<br>36 dakika |

- Tercih olarak “4” girildiğinde, Trombe Duvarı sistemindeki ısınan havanın çıkış sıcaklığını, yani hacme giriş sıcaklığı hesaplanır. Bunu amaçla kullanıcıdan birtakım veriler girdi olarak alınır. Programa örnek olarak, analitik hesaplamaları Bölüm 4.2’de

yapılmış olan Ocak ayı değerleri girilmiştir. Bu girilen değerler sonucu oluşan program çıktısı ve sonuçlar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

```
Programın ne hesaplamasını istersiniz?

(1) Eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamasını hesaplamak için '1'e basınız
(2) Mevsimlere göre değişen solar sabitini hesaplamak için '2'ye basınız
(3) Gün uzunluğunu hesaplamak için '3'e basınız
(4) Çıkış sıcaklığını hesaplamak için '4'e basınız
(5) Sistemin toplam ısıtma süresini hesaplamak için '5'e basınız

Tercihinizi giriniz: 4
```

Şekil 5.9 Isınan havanın hacme giriş sıcaklığının hesaplanması için kullanılan programın veri girişi ekran görüntüsü

```
--> Çıkış sıcaklığı hesaplanacak..

Ra Rayleigh sayısını bulmak için

Duvarın sabit yüzey sıcaklığını giriniz (Kelvin olarak): 318
Dış sıcaklığı giriniz (Kelvin olarak): 281,9
Ortalama sıcaklıktaki havanın ısı yayılım değerini giriniz: 0,0000225
Ortalama sıcaklıktaki havanın kinematik viskozite değerini giriniz: 0,00001589
Duvar boyunu giriniz (metre olarak): 2

Ortalama ısı taşınım katsayısını bulmak için

Ortalama sıcaklıktaki havanın Prandtl sayısını giriniz: 0,707
Ortalama sıcaklıktaki havanın ısı iletim katsayısını giriniz: 0,0263

Isı ışıyım katsayısını bulmak için

Birinci gaz için ışıyım yayma katsayısını giriniz: 0,05
İkinci gaz için ışıyım yayma katsayısını giriniz: 0,09
Selektif boyanın ortalama ısı ışıyım yayma oranını giriniz: 0,91

Duvar alanını giriniz: 8

Ara boşluktaki havanın ortalama hızını bulmak için

Üst havalandırma deliklerinin toplam alanını giriniz: 0,24
Alt havalandırma deliklerinin toplam alanını giriniz: 0,16
Odanın tutulmak istendiği sıcaklığı giriniz (Kelvin olarak): 291

Havanın kütleli debisini bulmak için havanın özkütlesini giriniz: 1,161

T Çıkışı için havanın ısı depolama kapasitesini giriniz (J/(gr*K) olarak): 1007
```

Şekil 5.10 Ocak ayındaki ortalama hacme giriş sıcaklığının hesaplanmasında Bölüm 4.2’de kullanılmış olan verilerin programa giriliş ekran görüntüsü

```
Elde edilen veriler:

Rayleigh: 1.32093245E10
Isı taşınım katsayısı: 3.6209443
Isı ışıınım katsayısı: 5.312715
Toplam ısı transferi: 1290.0195
Ara boşluktaki havanın hızı: 0.24195626
Havanın kütlelesel debisi: 0.112364486

Hesaplanan T Çıkış: 302.40088

Programı bir daha çalıştırmak için '0'a basınız, diğer her tuş programı bitirir..
Tamam mı devam mı?:
```

Şekil 5.11 Hacme giriş sıcaklığı için girilen veriler sonucunda elde edilen değerler

Java ile simüle edilmiş olan tasarımda elde edilen veriler, Bölüm 4.2’de analitik metotlarla yapılan hesaplama sonucu ulaşılan değerlere çok yakındır. Analitik hesap sonucunda, hacme giriş sıcaklığı 29,36°C yani 302,36 K bulunmuştu. Görüldüğü üzere yaklaşık % 0,1 hata ile doğru sonuca ulaşılmıştır.

- Son olarak, eğer tercih olarak “5” girilecek olursa, program bize sistemin girilen sıcaklıklara göre hacmi, kabul edilmiş sıcaklıkta ne kadar süre ısıtabileceğini hesaplar. Bilindiği gibi güneş battıktan sonra da ısıtmanın bir miktar sürmesi için ve gece boyunca dışarıya olan ısı kayıplarını azaltmak için sistemimizde R değeri 25 m<sup>2</sup>K/W olan gece izolasyonu kullanılmıştı.

```
Programın ne hesaplamasını istersiniz?

(1) Eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamasını hesaplamak için '1'e basınız
(2) Mevsimlere göre değişen solar sabitini hesaplamak için '2'ye basınız
(3) Gün uzunluğunu hesaplamak için '3'e basınız
(4) Çıkış sıcaklığını hesaplamak için '4'e basınız
(5) Sistemin toplam ısıtma süresini hesaplamak için '5'e basınız

Tercihinizi giriniz: 5
```

Şekil 5.12 Sistemin toplam ısıtma süresinin hesaplanmasında kullanılan programın veri girişi ekran görüntüsü

Tercih olarak “5” girildikten sonra kullanıcıdan yine birtakım veriler alınmaktadır. Bu veriler için, gene Bölüm 4.2’deki analitik hesaplamada kullanılmış olan, Ocak ayı için ortalama değerler veri olarak girilmiştir.

```
--> Sistemin toplam ısıtma süresi hesaplanacak..

Duvarda toplanan toplam enerjiyi bulmak için

Duvar alanını giriniz: 8
Çift camın solar geçirgenliğini giriniz: 0,60
Dik yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamasını giriniz (J cinsinden): 7657884,6
Yüzeyin solar spektrumdaki absorpsiyon katsayısını (alfa) giriniz: 0,98
Yüzeyin termal ısıtım yayma oranının ortalama değerini (epsilon) giriniz: 0,91
Duvarın sabit yüzey sıcaklığını giriniz (Kelvin olarak): 318
Camın içe yansıtma katsayısını giriniz: 0,12
Gün uzunluğunu giriniz (saniye olarak): 34740

Sistemden dışarıya olan günlük ısı kaybının aylık ortalamasını bulmak için

Dış sıcaklığı giriniz (Kelvin olarak): 281,9
Gece izolasyonu var mı? ('0':yok / '1':var): 1
 Çift camın ısı geçirgenlik katsayısını giriniz: 1,1
 İzolasyonun ısı direncini giriniz: 25

Duvardan ara boşluktaki havaya gerçekleşen ısı transferi miktarını giriniz (watt olarak): 1285,501

Elde edilen veriler:

Depolanan toplam enerji: 5.339562E7 J
Dışarıya olan günlük ısı kaybının aylık ortalaması: 5834818.0 J
Isı taşınımı: 1285.501 watt
Hesaplanan ısıtma süresi: 36997.87 saniye

Programı bir daha çalıştırmak için '0'a basınız, diğer her tuş programı bitirir..
Tamam mı devam mı?:
```

Şekil 5.13 Sistemin toplam ısıtma süresini hesaplamak için programa girişi yapılan veriler ve bu veriler yardımıyla elde edilen sonuçlar

Elde edilen 36997.87 saniye, yaklaşık olarak 10 saat 17 dakikaya denk gelmektedir. Analitik hesaplarda aynı değerler kullanılarak 36997,85292 saniye bulunmuştu. Javada simüle edilmiş olan değerle, analitik hesap sonucu elde edilen değer, mükemmel denecek kadar birbirine yakındır.



## BÖLÜM ÜÇ

# SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

### 6. SONUÇ

Yapılan kabuller doğrultusundaki hesaplamalar sonucu 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. Elde edilen sonuçlar, ideale çok yakın bir davranış göstermektedir. Elbette ki böyle bir sistemde bütün değişkenlerin hesaba katılması imkansızdır. Çünkü bu tip bir sistem, bulutlanma, rüzgar gibi doğa şartlarından etkilenir.

Java programlama dili ile hesaplanan değerlerden de görülmüştür ki Şubat ayında, dik yüzeye gelen toplam radyasyon miktarı, Ocak ve Aralık aylarına göre bir hayli fazladır. Şubat ayı için toplam günlük ortalama ısınma süresi, Ocak ayına göre nispeten fazladır. Bunda hem dik yüzeye gelen radyasyon miktarı, hem de Şubat ayı ortalama sıcaklık değerinin, Ocak ayı sıcaklık ortalamasına göre daha yüksek olması etkilidir.[17] Aralık ayında dik yüzeye düşen solar radyasyon miktarı daha az olmasına rağmen, diğer aylara nazaran daha uzun süreli bir ısıtma yapmak mümkün olmaktadır. Bunun nedeni birçok değişkene bağlıdır. Bunlardan biri, Aralık ayındaki ortalama sıcaklığın diğer aylara göre daha fazla olmasıdır.[17] Böylelikle ısı kaybı azalır. Ayrıca, daha az solar radyasyona maruz kalındığından duvar sıcaklığının daha düşük bir değerde olması ve gece izolasyonunun daha uzun süreli kullanımının ısı kaybını azaltacağı, Bölüm 4.2’de yapılan hesaplar incelendiğinde kolaylıkla anlaşılır.

Aralık ayında dik yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması 6,755583 MJ/m<sup>2</sup>, Ocak ayında dik yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması 7,6578846 MJ/m<sup>2</sup> ve Şubat ayında ise dik yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalaması 9,271227 MJ/m<sup>2</sup> olduğundan bu aylar için,gün ışığına maruz kalıp ısıtma yaptığı süre boyunca duvar sıcaklıkları sabit kabul edilmiş olup sırasıyla 45°C, 50°C ve 55°C olarak kabulü yapılmıştır. Hacim içersinin de 18°C tutulmak istendiği kabulü yapılarak, Bölüm

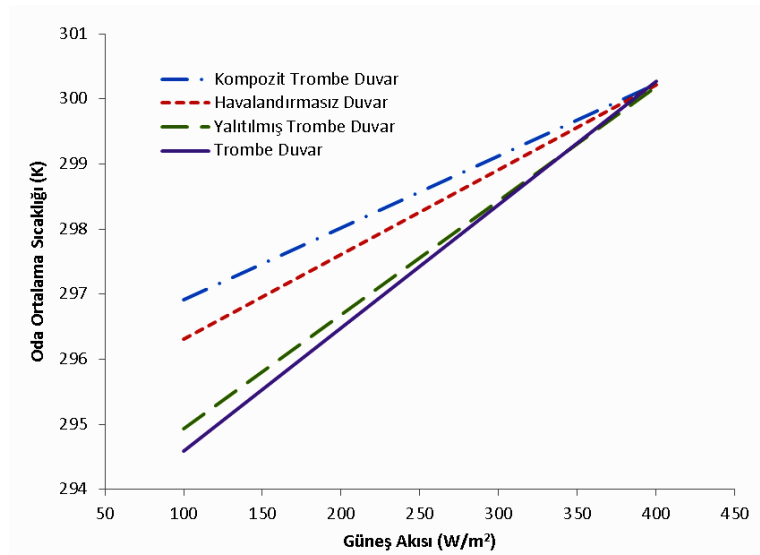
4.2'deki hesap metodu takip edilerek, kış ayları için giriş sıcaklıkları ve toplam ısıtma süreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 6.1** Kış ayları için giriş sıcaklıkları ve toplam ısıtma süreleri

|        | Giriş Sıcaklıkları (°C) | Isıtma Süreleri   |
|--------|-------------------------|-------------------|
| Aralık | 28,3                    | 11 saat 17 dakika |
| Ocak   | 29,36                   | 10 saat 17 dakika |
| Şubat  | 29,7                    | 10 saat 35 dakika |

Görüldüğü gibi izolasyonlu kompozit Trombe Duvarı kullanıldığında gündüz vakti, yani güneşin olduğu vakitte ve güneş battıktan birkaç saat sonra daha ısıtma yapmak mümkün olabilmektedir. Geceleri çok soğuk olan iklimlerde bu sistemin kullanılması, hele hele gece izolasyonu olmaması veya klasik Trombe Duvarı kullanmak pek faydalı olmaz. Böyle durumlarda, gece ısınmak için ya havalandırmasız Trombe Duvarı ya da kompozit güneş duvarı kullanılmalıdır. Klasik Trombe Duvarı-İzolasyonlu Trombe Duvarı ikilisi ile havalandırmasız Trombe Duvarı-Kompozit güneş duvarı ikilisini birbirinden ayıran en önemli özellik budur.

Ayla DOĞAN ve Tolga PIRASACI tarafından yapılan çalışmada[19]



Şekil 6.1 Güneş akısına göre oda sıcaklığının duvar tiplerine göre değişimi[19]

Şekil 6.1'deki grafik elde edilmiştir. Bu da bize kompozit güneş duvarı-havalandırmasız Trombe Duvarı ikilisinin, Klasik Trombe Duvarı-İzolasyonlu Trombe Duvarı ikilisine göre aynı güneş akısında ısı verimlerinin daha yüksek olduğunu gösterir. Ama az önce de bahsedildiği üzere, bu sistemlerin kullanımı iklim şartlarına göre ve ısıtılacak hacmin hangi amaçla kullanıldığına göre değişir. Geceleri soğuk iklimlerde kompozit güneş duvarı-havalandırmasız Trombe Duvarı ikilisi kullanılırken, gündüzleri de ısıtma gerektiren iklimlerde Klasik Trombe Duvarı-İzolasyonlu Trombe Duvarı ikilisi kullanılabilir. Okul, ofis gibi gündüz ısıtma gerektiren yerlerde de Klasik Trombe Duvarı-İzolasyonlu Trombe Duvarı ikilisinin kullanılması mümkündür.

Bizim projemizde ise gelen güneş akısı, Aralık ayı için  $200 \text{ W/m}^2$ , Ocak ayı için  $220 \text{ W/m}^2$ , Şubat ayı için de  $242 \text{ W/m}^2$ 'dir. Şekil 6.1'de grafiksel verileri gösterilen çalışmada hacim, yardımcı bir sistemle ısıtılarak sıcaklığı yaklaşık  $4,5^\circ\text{C}$  arttırılmıştır. Bu bilgi göz önüne alındığında bizim tasarımımızın çok doğru bir sonuç verdiği görülür.

Günümüzde enerji kaynaklarının hızla tükendiği ve dünya nüfusunun giderek kalabalıklaştığı da göz önüne alınırsa, alternatif enerjiye olan ihtiyaç bugün arttığı gibi yarın da artmaya devam edecektir. Bu yüzden Trombe Duvarı gibi pasif ısınma, soğutma sistemlerinin kullanımı gün geçtikçe artacaktır. Bize düşen ise, daha yüksek verimli tasarımlar yaparak insan ihtiyacının en uygun biçimde giderilmesi ve enerji kaynaklarının doğru bir biçimde kullanılmasıdır.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] JOHN A. DUFFIE ve WILLIAM A. BECKMAN: “Solar Engineering Of Thermal Processes”, John Wiley & Sons, New York, 1991
- [2] DOĞAN İBRAHİM: Güneş Enerjisi Uygulamaları, Aydın Bodur Bilişim, 2006
- [3] H. P. GARG, S. C. MULLICK ve A. K. BHARGAVA: “Solar Thermal Energy” Storage, D. Reidel Publishing Company, Boston, 1985
- [4] FRANK P. INCROPERA, DAVID P. DEWITT, THEODORE L. BERGMAN ve ADRIENNE S. LAVINE: Fundamentals Of Heat and Mass Transfer, New York, 2007
- [5] KEMAL ALTINIŞIK: “Uygulamalarla Isı Transferi”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2003
- [6] <http://www.caddet-ee.org/technologies/>, 17.04.2012
- [7] P. TORCELLİNİ ve S. PLESS: Trombe Walls In Low-Energy Buildings: Practical Experiences, Temmuz 2004
- [8] L. ZALEWSKI, S. LASSUE, B. DUTHOÏT, M. BUTEZ: Study Of Solar Walls- Validating A Simulation Model, Building And Environment, Vol: 37, 2002
- [9] ALEX WILSON: Thermal Storage Wall Design Manuel, New Mexico Solar Energy Association, Albuquerque, 1979
- [10] <http://www.allwallsystem.com/design/RValue.html> , 01.03.2012
- [11] [http://en.wikipedia.org/wiki/Heat\\_capacity.html](http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_capacity.html) , 06.03.2012
- [12] [http://www.st-georges-school.co.uk/georges\\_profile.html](http://www.st-georges-school.co.uk/georges_profile.html) , 25.02.2012
- [13] ALİ GÜNGÖR, NECDET ÖZBALTA, NECDET ALTUNTOP: Güneş enerjili Merkezi Sıcak Su Sistemlerinin Projelendirilmesi ve Uygulama Esasları Kursu, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Mersin Şubesi, Haziran 2007
- [14] D. YOGİ GOSWAMİ, FRANK KREİTH ve JAN F. KREIDER: Principles Of Solar Engineering, Taylor & Francis, Philadelphia, 1999
- [15] TRC Ecotherm, Mimari Camlar, Trakya Cam Sanayi A.Ş. , Sayfa no:22, 2010
- [16] TS 3817, Türk Standardı, Aralık 1994

- [17] <http://www.mgm.gov.tr> , 29.04.2012
- [18] <http://www.solarmirror.com/fom/fom-serve/cache/43.html> , 03.05.2012
- [19] AYLA DOĞAN ve TOLGA PIRASACI: Farklı Tipte Modellenmiş Güneş Duvarlarının Isıl Performansının Sayısal Olarak İncelenmesi
- [20] <http://www.dinamik-izmir.com/Eklentiler/article/64/dinamikfiyatlist2011.pdf> , 02.05.2012
- [21] <http://www.insaathaberleri.net/haber/17699-2012-cimento-fiyatlari.html> , 02.05.2012
- [22] <http://www.ece.vill.edu/~nick/solar/solar.html> , 02.05.2012
- [23] MODA CAM AYNA İNŞAAT SAN. Ve TİC. LTD. ŞTİ., Mehmet Akif Ersoy Mahallesi 1. Öteyaka Mevkii No:40 Kemalpaşa İzmir, [Tel:02328871778](tel:02328871778)

## 8. EKLER

### 8.1. Java Programlama Dilinde Yazılmış Programın Kaynak Kodu

```
*
* YAZAR: Barış AKDUR
* AMAC: Bu program aşağıdaki amaçlar için kullanılır
* 1-) Eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamasını hesaplar.
* 2-) Mevsimlere göre değişen solar sabitini hesaplar.
* 3-) Gün uzunluğunu hesaplar.
* 4-) Çıkış sıcaklığını hesaplar
* 5-) Sistemin toplam ısıtma süresini hesaplar
*
*/

import java.util.*;

public class Hesaplamalar
{
 // Kullanılan sabitler
 final static float PI = (float) (4 * Math.atan(1.0));
 final static float RADYAN = (float) (PI/180.0);
 final static float ISC = (float) 1367.0;
 final static float GUN_UZUNLUGU_SABITI = (float) 2/15;
 final static float STEFAN_BOLTZMAN_SABITI = (float) 0.0000000567;
 final static float G_YERCEKIMI_IVMESI = (float) 9.81;

 public static float egimAcisi(int N)
 {
 return (float) (23.45*Math.sin(RADYAN*360.0*(284.0+N)/365.0));
 }

 public static float gunbatimi(float fi, float decl)
 {
 return ((float)
 Math.acos(-Math.tan(fi*RADYAN)*Math.tan(decl*RADYAN))/RADYAN);
 }

 public static float gunUzunlugu(float fi, float decl)
 {
 return ((float)GUN_UZUNLUGU_SABITI *gunbatimi(fi, decl));
 }

 public static float yatayYuzeyeGelenGunlukRadyasyon(int n, float fi, float
decl, float ws)
 {
 float c1,c2,c3;
 c1 = (float) (24.0*3600.0*ISC/PI);
 c2 = (float) (1.0+0.033*Math.cos(360.0*n*RADYAN/365.0));
 c3 = (float) (ws*RADYAN*Math.sin(fi*RADYAN)*Math.sin(decl*RADYAN)
+Math.cos(fi*RADYAN)*Math.cos(decl*RADYAN)*Math.sin(ws*RADYAN));
 return c1*c2*c3;
 }

 public static float yataydaDagilanRadyasyon(float KT, float ws)
 {
 float radyasyon;
 }
```

```

 if(ws<=81.4)
 radyasyon = (float)
 (1.391-3.560*KT+4.189*Math.pow(KT,2.0)-2.137*Math.pow(KT,3.0));
 else
 radyasyon = (float)
 (1.311-3.022*KT+3.427*Math.pow(KT,2.0)-1.821*Math.pow(KT,3.0));

 return radyasyon;
 }

 public static float gundogumuZamanAcisi(float fi, float beta, float decl)
 {
 float w1, w2;
 w1 = gunbatimi(fi, decl);
 w2 = gunbatimi((fi-beta), decl);

 if(w1 < w2)
 return w1;
 else
 return w2;
 }

 public static float RHb(float beta, float fi, float delta, float ws, float
wst)
 {
 float num, den;
 num = (float)
 (RADYAN*wst*Math.sin(RADYAN*delta)*Math.sin(RADYAN*(fi-beta))
+Math.cos(RADYAN*delta)*Math.sin(RADYAN*wst)*Math.cos(RADYAN*(fi-beta)));
 den = (float) (RADYAN*ws*Math.sin(RADYAN*fi)*Math.sin(RADYAN*delta)
+Math.cos(RADYAN*fi)*Math.cos(RADYAN*delta)*Math.sin(RADYAN*ws));

 return (num/den);
 }

 public static float Rd(float beta)
 {
 return (float) ((1+Math.cos(RADYAN*beta))/2.0);
 }

 public static float Rr(float r, float beta)
 {
 return (float) (r*(1-Math.cos(RADYAN*beta))/2.0);
 }

 public static float egimliYuzeyeGelenRadyasyon(float H, float Hd, float Rb,
float Rd, float Rr)
 {
 return (H*(1-Hd/H)*Rb+Hd*Rd+H*Rr);
 }

 public static float solarSabitiHesapla(int N)
 {
 return (float) (ISC*(1+0.033*Math.cos(360*N*RADYAN/365)));
 }

 public static float depolananEnerji(float duvarAlani, float
solarGecirgenlik, float dikRad, float alfa, float caminIceYansitmasi, float
epsilon, float sicaklik, int gunUzunlugu)
 {
 float depEnerji = (float) (duvarAlani*
 ((solarGecirgenlik*dikRad*alfa)
 +((1-alfa)*solarGecirgenlik*dikRad*caminIceYansitmasi*alfa)

```

```

 +((1-alfa)*(1-alfa)
*solarGecirgenlik*dikRad*caminIceYansitmasi*caminIceYansitmasi*alfa)

+ (epsilon*STEFAN_BOLTZMAN_SABITI*Math.pow(sicaklik,4)*gunUzunlugu*caminIceYansitm
asi*alfa)
+ (epsilon*STEFAN_BOLTZMAN_SABITI*Math.pow(sicaklik,4)*gunUzunlugu*caminIceYansitm
asi*caminIceYansitmasi*alfa*(1-alfa)));

 return depEnerji;
 }

 public static float isiKaybi(float duvarAlani, float UL, float
duvarSabitSic, float disSic)
 {
 float Tm = (float)((duvarSabitSic+disSic)/2);
 float kayip = (float)
 (24*3600*duvarAlani*UL*(Tm-disSic));

 return kayip;
 }

 public static float Rayleigh(float sicaklik, float disSic, float alfa, float
v, float L)
 {
 float Tortam = (float)((sicaklik+disSic)/2);
 float Ra = (float)((float)(G_YERCEKIMI_IVMESI*(sicaklik-Tortam)
*Math.pow(L, 3)/(float)(Tortam*alfa*v)));

 return Ra;
 }

 public static float isiTasinimKatsayisi(float k, float Ra, float L, float
Pr)
 {
 float parantezIci = (float)
 (0.825 + ((float)(0.387*Math.pow(Ra, 0.1666666667))
/ (float)(Math.pow((float)(1 +
(Math.pow((float)(0.492/Pr), 0.5625))), 0.2962296229)))
);

 return (float)(Math.pow(parantezIci,2)*k/L);
 }

 public static float araBosluktakiHiz(float L, float ACikis, float AGiris,
float Tortam, float odaSic)
 {
 float parantezIci = (float)((float)(2*G_YERCEKIMI_IVMESI*L*(Tortam-
odaSic))/(float)((8*Math.pow((ACikis/AGiris), 2)+2)*Tortam));
 return (float)(Math.pow(parantezIci, 0.5));
 }

 // Kullanıcıdan aldığı verilerle hesaplamaları yapar
 public static void main(String[] args)
 {
 int devam = -1;
 do
 {
 System.out.println("\n Programın ne hesaplamasını istersiniz?");
 System.out.println(" -----");

 System.out.println(" (1) Eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık
ortalamasını hesaplamak için '1'e basınız");
 System.out.println(" (2) Mevsimlere göre değişen solar sabitini
hesaplamak için '2'ye basınız");
 System.out.println(" (3) Gün uzunluğunu hesaplamak için '3'e
basınız");

```



```

 System.out.println(" (4) Çıkış sıcaklığını hesaplamak için '4'e
basınız");
 System.out.println(" (5) Sistemin toplam ısıtma süresini hesaplamak
için '5'e basınız");

 Scanner input = new Scanner(System.in);
 System.out.print("\n Tercihinizi giriniz: ");
 int tercih = input.nextInt();
 if(tercih == 1)
 {
 System.out.println("\n\n --> Eğimli yüzeye gelen günlük
radyasyonun aylık ortalaması hesaplanacak...\n");

 /* ara günler
 17 Ocak, 16 Şubat, 16 Mart, 15 Nisan, 15 Mayıs, 11 Haziran
 17 Temmuz, 16 Ağustos, 15 Eylül, 15 Ekim, 14 Kasım, 10 Aralık */
 int[] ara_gunler = {0, 17, 47, 75, 105, 135, 162, 198, 228, 258, 288,
318, 344};

 float[] H = new float[13];
 float[] decl = new float[13];
 float[] ws = new float[13];
 float[] Ho = new float[13];
 float[] KT = new float[13];
 float[] WST = new float[13];
 float[] Ht = new float[13];
 float[] RB = new float[13];
 float[] RD = new float[13];
 float[] RR = new float[13];
 float[] Hd = new float[13];

 // Kullanıcıdan enlem değerini al
 System.out.print(" Enlemi giriniz (derece olarak): ");
 float fi = input.nextFloat();

 // Kullanıcıdan yüzey eğikliği değerini al
 System.out.print(" Yüzey eğikliğini giriniz (derece olarak): ");
 float beta = input.nextFloat();

 // Kullanıcıdan yüzey yansıtıcılığı sabitini al
 System.out.print(" Yüzey yansıtıcılığı sabitini giriniz: ");
 float r = input.nextFloat();

 // Kullanıcıdan her ay için günlük radyasyon ortalamalarını al
 System.out.println(" Yatay yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık
ortalamalarını giriniz (MJ/mm olarak) ");
 for(int ay=1; ay<=12; ay++)
 {
 System.out.print(" "+ay+". ay: ");
 H[ay] = input.nextFloat();
 }

 for(int ay=1; ay<=12; ay++)
 {
 decl[ay] = egimAcisi(ara_gunler[ay]);
 ws[ay] = gunbatimi(fi, decl[ay]);
 Ho[ay] = (float) (yatayYuzeyeGelenGunlukRadyasyon(ara_gunler[ay],
fi, decl[ay], ws[ay])/1.0E6);
 KT[ay] = H[ay]/Ho[ay];
 Hd[ay] = H[ay]*yataydaDagilanRadyasyon(KT[ay],ws[ay]);
 WST[ay] = gundogumuZamanAcisi(fi, beta, decl[ay]);
 RB[ay] = RHb(beta, fi, decl[ay], ws[ay], WST[ay]);
 RD[ay] = Rd(beta);
 RR[ay] = Rr(r,beta);
 Ht[ay] = egimliYuzeyeGelenRadyasyon(H[ay], Hd[ay], RB[ay],
RD[ay], RR[ay]);

```

```

}

// Kullanıcıya tüm verileri tablo halinde sun
System.out.println("\n Günlük Radyasyonun Aylık Ortalaması");
System.out.println(" -----");
System.out.println(" Enlem: " + fi + " derece");
System.out.println(" Yüzey Eğikliği: " + beta + " derece");
System.out.println(" Yansıtıcılık sabiti: " + r + "\n");

System.out.println(" Ay\tH\tHo\tKT\tHd\tRb\tRd\tRr\tHT");

for(int ay=1; ay<=12; ay++)
{
 System.out.println("
"+ay+"\t"+H[ay)+"\t"+Ho[ay)+"\t"+KT[ay)+"\t"+Hd[ay)+"\t"+RB[ay)+"\t"+RD[ay)+"\t"+
RR[ay)+"\t"+Ht[ay]);
}
else if (tercih == 2)
{
 System.out.println("\n\n --> Mevsimlere göre değişen solar
sabitini hesaplanacak..\n");

 // Kullanıcıdan yılın kaçınıcı günü olduğunu al
 System.out.print(" Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: ");
 int n = input.nextInt();

 float solarSabit = solarSabitiniHesapla(n);

 System.out.println(" Hesaplanan solar sabiti: "+solarSabit);

}
else if (tercih == 3)
{
 System.out.println("\n\n --> Gün uzunluğu hesaplanacak..\n");

 // Kullanıcıdan enlem değerini al
 System.out.print(" Enlemi giriniz (derece olarak): ");
 float fi = input.nextFloat();

 // Kullanıcıdan yılın kaçınıcı günü olduğunu al
 System.out.print(" Yılın kaçınıcı günü olduğunu giriniz: ");
 int n = input.nextInt();

 float gunUzunlugu = gunUzunlugu(fi, egimAcisi(n));

 System.out.println(" Gün uzunluğu: "+gunUzunlugu+ " saat");

}
else if (tercih == 4)
{
 System.out.println("\n\n --> Çıkış sıcaklığı hesaplanacak..\n");

 System.out.println(" Ra Rayleigh sayısını bulmak için");
 System.out.println(" -----");
 System.out.print("Sabit yüzey sıcaklığını giriniz (Kelvin olarak): ");
 float sicaklik = input.nextFloat();
 System.out.print(" Dış sıcaklığı giriniz (Kelvin olarak): ");
 float disSic = input.nextFloat();
 float Tortam = (float) ((sicaklik+disSic)/2);
 System.out.print(" Alfa ısı yayılım katsayısını giriniz: ");
 float alfa = input.nextFloat();
 System.out.print(" Kinematik viskozite katsayısını giriniz: ");
 float v = input.nextFloat();
 System.out.print(" Duvar boyunu giriniz (metre olarak): ");

```

```

float L = input.nextFloat();

float Ra = Rayleigh(sicaklik, disSic, alfa, v, L);

System.out.println("\n Ortalama ısı taşınım katsayısını bulmak
için");
System.out.println(" -----");
System.out.print(" Prandtl sayısını giriniz: ");
float Pr = input.nextFloat();
System.out.print(" Havanın ısı iletim katsayısını giriniz: ");
float k = input.nextFloat();

float hTasinim = isiTasinimKatsayisi(k, Ra, L, Pr);

System.out.println("\n Isı ışıınım katsayısını bulmak için");
System.out.println(" -----");
System.out.print("Birinci gaz için ışıınım yayma katsayısını giriniz: ");
float epsilonG1 = input.nextFloat();
System.out.print("İkinci gaz için ışıınım yayma katsayısını giriniz: ");
float epsilonG2 = input.nextFloat();
System.out.print(" Selektif yüzeyin yayma oranını giriniz: ");
float epsilon = input.nextFloat();

float alfa1 = (float) (epsilonG1*Tortam/sicaklik);
float alfa2 = (float) (epsilonG2*Tortam/sicaklik);

float alfaG = (float) (alfa1+alfa2-(alfa1*alfa2));

float hIsinim = (float) ((epsilon * STEFAN_BOLTZMAN_SABITI *
(sicaklik+Tortam) * (Math.pow(sicaklik, 2)+ Math.pow(Tortam, 2)))*(1-alfaG));

System.out.print("\n Duvar alanını giriniz: ");
float duvarAlani = input.nextFloat();

float Q = (float) ((hTasinim+hIsinim)*duvarAlani*((float) (sicaklik-
Tortam)));

System.out.println("\n Ara boşluktaki havanın ortalama hızını bulmak
için");
System.out.println(" -----");
System.out.print(" A çıkış değerini giriniz: ");
float ACikis = input.nextFloat();
System.out.print(" A giriş değerini giriniz: ");
float AGiris = input.nextFloat();
System.out.print(" Odanın tutulmak istendiği sıcaklığı giriniz
(Kelvin olarak): ");
float odaSic = input.nextFloat();

float havaHizi = araBosluktakiHiz(L, ACikis, AGiris, Tortam, odaSic);

System.out.print("\n Havanın kütleli debisini bulmak için ro
değerini giriniz: ");
float ro = input.nextFloat();

float kutleselDebi = (float) (ro * havaHizi* (float) (AGiris+ACikis));

System.out.print("\n T Çıkışı için havanın ısı depolama kapasitesini
giriniz (J/(gr*K) olarak): ");
float Cp = input.nextFloat();

float Tcikis = (float) ((float) (Q/(kutleselDebi*Cp))+odaSic);

System.out.println("\n Elde edilen veriler:");
System.out.println(" -----");
System.out.print(" Rayleigh: "+Ra);
System.out.print(" Isı taşınım katsayısı: "+hTasinim);

```

```

System.out.println(" Isı ışıınım katsayısı: "+hIsininim);
System.out.println(" Toplam ısı transferi: "+Q);
System.out.println(" Ara boşluktaki havanın hızı: "+havaHizi);
System.out.println(" Havanın kütleesel debisi: "+kutleselDebi);

System.out.println("\n Hesaplanan T Çıkış: "+Tcikis);

}
else if (tercih == 5)
{
System.out.println("\n\n --> Sistemin toplam ısıtma süresi
hesaplanacak..\n");

System.out.println(" Duvarda toplanan toplam enerjiyi bulmak için");
System.out.println(" -----");

System.out.print(" Duvar alanını giriniz: ");
float duvarAlani = input.nextFloat();

System.out.print(" Çift camın solar geçirgenliğini giriniz: ");
float solarGecirgenlik = input.nextFloat();

System.out.print(" Dik yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık
ortalamasını giriniz (J cinsinden): ");
float dikRad = input.nextFloat();

System.out.print("Yüzeyin absorbsiyon katsayısını (alfa) giriniz: ");
float alfa = input.nextFloat();

System.out.print("Yüzeyin yayma oranını (epsilon) giriniz: ");
float epsilon = input.nextFloat();

System.out.print("Sabit yüzey sıcaklığını giriniz(Kelvin olarak): ");
float sicaklik = input.nextFloat();

System.out.print(" Camın içe yansıtma katsayısını giriniz: ");
float caminIceYansitmasi = input.nextFloat();

System.out.print(" Gün uzunluğunu giriniz (saniye olarak): ");
int gunUzunlugu = input.nextInt();

float depolananEnerji = depolananEnerji(duvarAlani, solarGecirgenlik,
dikRad, alfa, caminIceYansitmasi, epsilon, sicaklik, gunUzunlugu);

System.out.println("\n Sistemden dışarıya olan ısı kaybını bulmak
için");
System.out.println(" -----");

System.out.print(" Dış sıcaklığı giriniz (Kelvin olarak): ");
float disSic = input.nextFloat();

System.out.print(" Gece izolasyonu var mı? ('0':yok / '1':var): ");
int varYok = input.nextInt();

float UL = 0;

if(varYok == 0) // izolasyon yok
{
System.out.print(" Çift camın ısı geçirgenlik katsayısını
giriniz: ");
UL = input.nextFloat();
}
else if(varYok == 1) // izolasyon var
{
System.out.print(" Çift camın ısı geçirgenlik katsayısını
giriniz: ");

```

```

 float UL1 = input.nextFloat();

 System.out.print(" İzolasyonun ısıl direncini giriniz: ");
 float R = input.nextFloat();

 float fn = (float)((float)(86400.0-gunUzunlugu)/(float)86400.0);

 UL = (float)((1-fn)*UL1)+(fn*UL1*(UL1/(1+UL1*R)));
 }
 else // 0 ya da 1 girilmedi: yokmuş gibi çalışacak
 {
 System.out.println(" Tercih olarak 0 ya da 1 girmediniz; gece
izolasyonu yokmuş gibi çalışacak!");
 System.out.print(" Çift camın ısı geçirgenlik katsayısını
giriniz: ");
 UL = input.nextFloat();
 }

 float disariyaIsiKaybi = isiKaybi(duvarAlani, UL, sicaklik, disSic);

 System.out.print("Sistemdeki ısı taşınımını giriniz(watt olarak):");
 float tasanim = input.nextFloat();

 System.out.println("\n Elde edilen veriler:");
 System.out.println(" -----");
 System.out.println(" Depolanan toplam enerji:"+depolananEnerji+" J");
 System.out.println(" Dışarıya ısı kaybı: "+disariyaIsiKaybi+ " J");
 System.out.println(" Isı taşınımı: "+tasanim+ " watt");

 float sure = (float)((depolananEnerji-disariyaIsiKaybi)/tasanim);
 System.out.println(" Hesaplanan ısıtma süresi: "+sure+ " saniye");
 }
 else
 {
 System.out.println("Hata: Böyle bir tercih seçeneği yok!");
 }

 System.out.println("\n Programı bir daha çalıştırmak için '0'a
basınız, diğer her tuş programı bitirir..");
 System.out.print(" Tamam mı devam mı?: ");

 try
 {
 devam = input.nextInt();

 if(devam!=0)
 {
 System.exit(0);
 }
 }
 catch(Exception e)
 {
 System.exit(0);
 }

 }while(devam == 0);

}
}

```