

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PASİF GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİ İLE BİNA
ISITMASININ SAYISAL VE EKONOMİK ANALİZİ**

Mak. Müh. Fatih ÖZTÜRK

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Galip TEMİR (YTÜ)

İSTANBUL, 2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Taraması	3
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	6
2.1 Bir Enerji Kaynağı Olarak Güneş	6
2.1.1 Güneş Işınımı	6
2.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	9
3. BİNA ISITMASINDA PASİF GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDEN YARARLANMA	12
3.1 Pasif Güneş Isıtma Sistemleri	12
3.1.1 Pasif Bina Dizaynı	13
3.1.1.1 Koruma, Muhafaza	13
3.1.1.2 Bölge Planı	14
3.1.1.2.1 Yapı Yönü	16
3.1.1.2.2 Bina Şekli ve Yerleşimi	16
3.1.1.2.3 İç Alan Düzeni	16
3.1.1.2.4 Pencere Yerleşimi	17
3.1.1.2.5 Kuzey Duvarı Koruması	17
3.1.1.3 İzolasyon	17
3.1.1.4 Pencereler	18
3.1.1.5 Kütle	19
3.1.1.6 Havalandırma	20
3.2 Pasif Isıtma Teknikleri	21
3.2.1 GPM	21
3.2.2 Doğrudan (Direkt) Kazanç	21
3.2.3 Trombe Duvarı (Isıl Depolama Duvarı)	23
3.2.4 Güneş Odaları (Kış Bahçeleri)	25
3.2.5 Çatı Havuzları	27
4. PASİF SİSTEMLERİN TEORİK ANALİZİ	28

4.1	Isı Kazancı Olarak Camdan Geçen Toplam Güneş Işınımının Hesaplanması	28
4.1.1	Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	29
4.1.2	Yatay Düzleme Gelen Günlük Yaygın Işınım	30
4.1.3	Eğimli Yüzeye Gelen Günlük Yaygın Işınım	31
4.1.4	Eğimli Yüzeye Gelen Günlük Direkt Işınım	32
4.1.5	Eğimli Yüzeye Gelen Günlük Yansıyan Işınım	32
4.1.6	Eğimli Yüzeye Gelen Günlük Toplam Işınım	33
4.1.7	Günlük Güneş Işınımı Verilerinden Saatlik Işınım Verilerinin Tahmini	33
4.1.8	Camdan Geçen ve Bina Tarafından Absorbe Edilen Toplam Güneş Işınımı ..	34
4.2	Kullanılabilirlik Kavramı	38
4.3	Kullanılmayan Enerji Yöntemi	40
4.3.1	Trombe Duvarı İçin Kullanılmayan Enerji Yöntemi	45
4.4	Trombe Duvar Kalınlığının Günlük Isıl Kapasite (DHC) Metodu İle Belirlenmesi	51
4.5	Gölgelikler	52
4.6	Pasif Sistem Ekonomisi	54
4.6.1	Konstrüksiyon Maliyetleri	54
4.6.2	Yatırım Kazancı	54
4.6.3	Geri Ödeme Periyodu	55
5.	MODEL ÇALIŞMASI	57
5.1	Çalışmada Seçilen İlin Coğrafi ve İklimsel Özellikleri	57
5.2	Örnek Yapıya İlişkin Veriler	57
5.3	Bina Isı Kaybı	59
5.4	Kullanılmayan Enerji Yöntemi İle Güneş Enerjisi Kazancının Hesaplanması	60
5.4.1	Direkt Kazanç Uygulaması İçin Güneş Enerjisi Kazancının Hesaplanması ...	60
5.4.2	Trombe Duvarı Uygulaması İçin Güneş Enerjisi Kazancının Hesaplanması .	62
5.4.3	Konvansiyonel Sistem İçin Güneş Enerjisi Kazancının Hesaplanması	64
5.5	Örnek Modele Uygulanan Direkt Kazanç ve Trombe Duvarı Sisteminin Sayısal Analizi	66
5.6	Örnek Bina İçin Gölgelik Tasarımı	70
5.7	Örnek Çalışmanın Ekonomik Analizi	71
5.7.1	Örnek Çalışmadaki Pasif Sistemlerin Yatırım Kazancı	73
5.7.2	Örnek Çalışmadaki Pasif Sistemlerin Geri Ödeme Periyodu	74
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
	KAYNAKLAR	77
	EKLER	81
Ek 1.	Tasarlanan Direkt Kazanç, Trombe Duvarı ve Konvansiyonel Sistem Mimarisi	82
Ek 2.	Sundurmalar İçin Ortalama Gölgelik Faktörleri	86
	ÖZGEÇMİŞ	88

SİMGE LİSTESİ

a	Düzlemin azimut açısı
A	Yatırım maliyetindeki toplam artış
A_a	Cam alanı
A_i	İç yüzeylerin toplam alanı
A_p	Gölgelenmemiş cam alanı
A_r	Gölgelenmiş cam alanı
c	Özgöl ısı
C_b	Binanın etkili ısıl kapasitesi
C_p	Trombe duvarının özgöl ısısı
CF	Yakıt fiyatı
CF'	Konvansiyonel yakıt fiyatı
d	Deklinasyon açısı
d_f	Kredi faiz oranı
DJ	İşletme giderlerinin toplam yatırım maliyetine oranı
e	Enlem açısı
E	Duvar ile cam arasındaki mesafe
e_a	Bir yıldaki yakıt fiyatlarındaki artış oranı
Eff	Isıtıcı cihazın ısı verimliliği
F_1	Sonlu kalınlığa sahip duvarın günlük ısıl kapasitesinin genliği
g	Yakıtın alt ısı değeri
G	Gölgelik ile cam arasındaki mesafe
h	24 saatlik zaman periyodu
H	Cam yüksekliği
$\overline{H}$	Yatay düzleme gelen günlük toplam ışıınım
$\overline{H}_0$	Yatay düzleme gelen günlük atmosfer dışı güneş ışıınımı
$\overline{H}_b$	Yatay düzleme gelen günlük toplam direkt ışıınım
$\overline{H}_{be}$	Eğimli yüzeye gelen günlük toplam direkt ışıınım
$\overline{H}_d$	Yatay düzleme gelen günlük toplam yaygın ışıınım
$\overline{H}_{de}$	Eğimli yüzeye gelen günlük toplam yaygın ışıınım
$\overline{H}_{ort}$	Yıllık ortalama günlük toplam ışıınım
$\overline{H}_{re}$	Eğimli yüzeye gelen günlük toplam yansıyan ışıınım
$\overline{H}_T$	Eğimli yüzeye gelen günlük toplam güneş ışıınımı
I	Yatay düzleme gelen saatlik toplam güneş ışıınımı
I_d	Yatay düzleme gelen saatlik yaygın ışıınım
I_s	Güneş sabiti
I_T	Eğimli yüzeye gelen anlık toplam güneş ışıınımı
$\overline{I}_T$	Eğimli yüzeye gelen saatlik toplam güneş ışıınımı
I_{TC}	Kritik ışıınım seviyesi
i	24 saat boyunca gece izolasyonunun devrede olacağı zaman bölümü
k	Trombe duvarının ısı iletim katsayısı
K	Camın sönmüleme katsayısı
$\overline{K}_T$	Günlük ortalama berraklık indeksi
l	Malzeme kalınlığı
L	Cam kalınlığı
M	Bir aydaki gün sayısı
n	1 ocaktan itibaren gün sayısı
N	Cam sayısı
n_1	Atmosferin güneş spektrumundaki ortalama kırılma indisi

n_2	Camın güneş spektrumundaki ortalama kırılma indisi
N_e	Ekonomik analiz periyodu
n_g	Geri ödeme periyodu
P	Gölgeleme çıkıntı uzunluğu
PI	Geri ödeme katsayısı
Q_{ad}	Trombe duvarı dışındaki yapı elemanlarından olan ısı kaybı
Q_D	Aylık atılması gereken fazla enerji
Q_i	Sonsuz ısı depolama kapasitesine sahip binada depolanan güneş enerjisi
Q_{kayit}	Aylık ısı kaybı miktarı
Q_n	Trombe duvarından odaya aylık net ısı transferi
Q_s	Aylık absorbe edilen güneş enerjisi
Q_w	Trombe duvarından olan ısı kaybı
$Q_{yard.}$	Aylık yardımcı enerji miktarı
$\bar{R}$	Aylık eğimli yüzey üzerine gelen güneş ışınımının yatay düzlem üzerine gelen güneş ışınımına oranı
r_1	Polarize olmamış ışınımın dikey bileşeni
r_2	Polarize olmamış ışınımın yatay bileşeni
$\bar{R}_b$	Günlük direkt ışınım dönüşüm katsayısı
r_d	Saatlik toplam yaygın ışınımın günlük ortalama yaygın ışınımına oranı
R_n	Tam öğle zamanı aylık ortalama eğimli yüzey üzerine gelen günlük güneş ışınımının yatay düzlem üzerine gelen güneş ışınımına oranı
R_N	Gece izolasyon malzemesinin ısı iletim katsayısı
r_t	Saatlik toplam güneş ışınımının günlük toplam güneş ışınımına oranı
s	Sonsuz kalınlıktaki duvarın günlük ısı kapasitesi
$\bar{S}$	Mahal içinde absorbe edilen günlük toplam güneş ışınımı
S_b	Trombe duvarı dışındaki yapı elemanlarının toplam ısı depolama kapasitesi
S_w	Trombe duvarının ısı depolama kapasitesi
T_a	Dış ortam sıcaklık değeri
$\bar{T}_a$	Ortalama dış ortam sıcaklık değeri
T_b	İç sıcaklık değeri
T_r	İzin verilen en düşük oda sıcaklığı
T_w	Trombe dış duvar sıcaklığı
$\bar{T}_w$	Aylık ortalama trombe dış duvar sıcaklığı
U	Isı geçirgenlik katsayısı
U_i	Trombe iç duvar yüzeyi ile oda arasındaki ısı taşınım katsayısı
U_k	Trombe dış duvar yüzeyinden oda içine ısı transfer katsayısı
U_L	Cam yüzeyi ile dış ortam arasındaki ısı taşınım katsayısı
U_w	Trombe duvarı ısı geçirgenlik katsayısı
ω	Güneş saat açısı
W	Cam genişliği
w_s	Gün batımı saat açısı
w_{s1}	Güneş ışınlarının düzleme ilk geliş saat açısı
w_{s2}	Güneş ışınlarının düzleme son geliş saat açısı
x	Boyutsuz kalınlık
$\bar{X}_C$	Aylık ortalama kritik ışınım seviyesi
Y	Depolanan-atılan enerji oranı
β	Yüzey eğim açısı
ρ	Yoğunluk
ρ_g	Çevre yansıtma oranı
τ	Güneş ışınımı geçirme katsayısı

τ_a	Camın güneş ışıınıını geçirgenlik katsayısı
τ_p	Camın polarize olmamış ışıınıındaki geçirgenlik katsayısı
$\overline{\tau_b}$	Camın direkt ışıınıındaki ortalama geçirgenlik katsayısı
$\overline{\tau_d}$	Camın yaygın ışıınıındaki ortalama geçirgenlik katsayısı
τ_r	Camın yansıyan ışıınıındaki ortalama geçirgenlik katsayısı
α	Güneş ışıınıını yutma katsayısı
α_{eff}	Mahalin etkili yutma katsayısı
θ_d	Yaygın ışıınıım için güneş geliş açısı
θ_r	Yansıyan ışıınıım için güneş geliş açısı
$\overline{\theta_b}$	Aylık ortalama direkt güneş ışıınıını geliş açısı
θ_1	Güneş ışıınıını geliş açısı
θ_2	Cama kırılan güneş ışıınıının yüzey normali ile yaptığı açı
ϕ	Günlük kullanılabilirlik
ϕ_h	Saatlik kullanılabilirlik
Δt	Bir gündeiki zaman dilimi miktarı
ΔT_b	İzin verilen maksimum ve minimum sıcaklık arasındaki fark
ΔT_{sw}	Günlük sıcaklık dalgalanması
ΔT_w	Aylık ortalama trombe duvarı dış ve iç yüzey sıcaklığı arasındaki fark
δ	Trombe duvar kalınlığı
$\delta Q_{yard.,g}$	Isıtma periyodu boyunca pasif güneş evindeki güneşten gelen enerji kazancı

KISALTMA LİSTESİ

<i>dhc</i>	Malzemenin birim alandaki günlük ısı kapasitesi
DHC	Binanın günlük ısı kapasitesi
EIA	Energy Information Administration
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
FGI	Işınım fonksiyon genliği
FKI	Işınım fonksiyon faz kayması
SAV	Yatırımdan sağlanan kazanç
SLR	Güneş yükü oranı
SSF	Güneş enerjisinden yararlanma oranı
SSF _i	Sonsuz ısı depolama kapasiteli binanın güneşten yararlanma oranı
SSF _z	Sıfır ısı depolama kapasiteli binanın güneşten yararlanma oranı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Güneş ışıınım bileşenleri 8
Şekil 2.2	Dünyanın güneş etrafında dönüşü 8
Şekil 2.3	Değişik zamanlarda dünyanın güneşe göre konumu 9
Şekil 2.4	Güneş pozisyonunun belirlenmesi 9
Şekil 3.1	Soğuk iklimdeki binaların pasif ısıtma planı 15
Şekil 3.2	Binanın mikroiklimi 16
Şekil 3.3	Farklı kütle yerleşimleri 20
Şekil 3.4	Güneş ışıınının oda içindeki dağılımı 20
Şekil 3.5	Direkt kazanç sisteminin gün boyunca çalışma sistemi 22
Şekil 3.6	Direkt kazanç sisteminin gece boyunca çalışma sistemi 22
Şekil 3.7	Trombe duvarının gün boyunca çalışma sistemi 25
Şekil 3.8	Trombe duvarının gece boyunca çalışma sistemi 25
Şekil 3.9	Güneş odalarının gün boyunca çalışma sistemi 27
Şekil 3.10	Güneş odalarının gece boyunca çalışma sistemi 27
Şekil 4.1	Yüzey eğim açısı ve yöne bağlı olarak aylık ortalama direkt güneş ışıını geliş açısı 39
Şekil 4.2	1, 2, 3 ve 4'lü cam tabakasının güneş ışıını geliş açısına göre $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ oranının değişimi 40
Şekil 4.3	Direkt kazançlı pasif sisteme sahip bir binadaki aylık enerji akışı 43
Şekil 4.4	Direkt Kazanç Sistemlerinde Sıfır Isı Depolama Kapasiteli Durum İçin Yardımcı, Kullanılabilir ve Atılması Gereken Fazla Enerji 44
Şekil 4.5	Trombe Duvarına Sahip Pasif Evdeki Enerji Akışı 47
Şekil 4.6	Çift camlı bir Trombe duvarı için ısı devre diyagramı 49
Şekil 4.7	Trombe duvar sistemi için basitleştirilmiş aylık ortalama ısı direnç devresi 49
Şekil 4.8	Alıcı saydam yüzeye dik bir çıkıntının gölge diyagramı 55
Şekil 5.1	İstanbul ili için global radyasyon değerleri 59
Şekil 5.2	Örnek binanın direkt kazanç tasarımındaki ısıtma ihtiyacının olduğu aylara ait ısı yükü, bina içine giren güneş ışıını ve güneş enerjisi kazancı .. 65
Şekil 5.3	Günlük Isıl Kapasitenin Trombe Duvar Kalınlığı İle Değişimi 66
Şekil 5.4	Örnek binanın Trombe duvarı tasarımındaki ısıtma ihtiyacının olduğu aylara ait ısı yükü, bina içine giren güneş ışıını ve güneş enerjisi kazancı .. 67
Şekil 5.5	Örnek konvansiyonel binanın ısıtma ihtiyacının olduğu aylara ait ısı yükü, bina içine giren güneş ışıını ve güneş enerjisi kazancı 69
Şekil 5.6	Direkt Kazanç ve Trombe Duvarı Sisteminde Güneşten Yararlanma Oranının Cam Sayısı İle Değişimi 70
Şekil 5.7	Direkt Kazanç ve Trombe Duvarı Sisteminde Yıllık Yardımcı Enerji İhtiyacının Cam Sayısı İle Değişimi 71
Şekil 5.8	Trombe Duvarı Sisteminde Güneşten Yararlanma Oranının Malzeme Cinsi İle Değişimi 71
Şekil 5.9	Trombe Duvarı Sisteminde Yıllık Yardımcı Enerji İhtiyacının Malzeme Cinsi İle Değişimi 72
Şekil 5.10	Trombe duvar kalınlığına göre güneş enerjisinden yararlanma oranının değişimi 72
Şekil 5.11	Trombe duvar kalınlığına göre yıllık yardımcı enerji ihtiyacının değişimi ... 73
Şekil 5.12	Yıllık güneşten yararlanma oranının Trombe duvar yüzeyini oluşturan malzeme yutma katsayısına göre değişimi 73

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	10
Çizelge 2.2 Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı	11
Çizelge 3.1 Güneş ışıınıını absorbsiyon değeri	23
Çizelge 4.1 Yatay düzleme gelen toplam güneş ışıınıını için fonksiyon parametreleri	31
Çizelge 5.1 İstanbul İçin Ortalama Dış Hava Sıcaklığı	60
Çizelge 5.2 Trombe Duvarı, Direkt Kazanç ve Konvansiyonel Sistemin Yapı Özellikleri	60
Çizelge 5.3 Pasif ve Konvansiyonel Sistemlerin Isı Kaybı Sonuçları	62
Çizelge 5.4 İstanbul İli İçin Seçilen Binaya Gelen Aylık Direkt, Yaygın, Yansıyan ve Toplam Güneş Işıınıını Değeri	63
Çizelge 5.5 Yapı Elemanlarının Termofiziksel Özellikleri	64
Çizelge 5.6 Direkt Kazanç Sisteminin Güneş Enerjisinden Yararlanma Oranı ve Yıllık Yardımcı Enerji Miktarı	64
Çizelge 5.7 Trombe Duvarı Sisteminin Güneş Enerjisinden Yararlanma Oranı ve Yıllık Yardımcı Enerji Miktarı	66
Çizelge 5.8 Konvansiyonel Sistemin Güneş Enerjisinden Yararlanma Oranı ve Yıllık Yardımcı Enerji Miktarı	68
Çizelge 5.9 Malzeme fiyatları	74
Çizelge 5.10 Pasif ve konvansiyonel sistemin ısıtma tesisat maliyeti karşılaştırması	75
Çizelge 5.11 Pasif ve konvansiyonel sistemin konstrüksiyon maliyeti karşılaştırması	75
Çizelge 5.12 Pasif ve konvansiyonel sistemin toplam yatırım maliyeti karşılaştırması	76

ÖNSÖZ

Ülkemizde güneş enerjisinin binalarda ısıtma amaçlı kullanımında yaygın olarak uygulanan aktif sistemlerin yanında, bina mimarisinden yararlanan ve herhangi bir enerji tüketen cihaz gerektirmeyen pasif güneş enerji sistemlerine de dikkat çekmek amacıyla, “PASİF GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİ İLE BİNA ISITMASININ SAYISAL VE EKONOMİK ANALİZİ” isimli tez konusu; ulusal ve uluslar arası kaynaklardan yararlanarak hazırlanmıştır.

Bu çalışma konusunun belirlenmesinde ve hazırlanmasında değerli görüşleri ile bana yol gösteren ve üstün hoşgörüsünü benden esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Galip TEMİR’e, uygulamaya yönelik çalışma kısmında katkılarından dolayı Yük. Mak. Müh. İlhan ARPACI’ya, literatür taramasında emeği geçen kuzenim Mak. Müh. Bilal ARPACI’ya ve dünyanın en mükemmel insanı canım anneme her şey için teşekkür ederim.

ÖZET

Bu çalışmada, güneş enerjisinin bina ısıtmasında kullanılması için bir yöntem olan pasif güneş enerji sistemleri incelenmiştir. Bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin bina ısıtmasında kullanma potansiyeli ve yöntemleri ele alınarak konunun önemine dikkat çekilmiştir. Tezimizin esasını oluşturan bina ısıtmasında pasif güneş enerji sistemlerinden yararlanma teknikleri ve bu tekniklerin pasif bina dizaynına uygulanmasındaki parametreler araştırılmıştır.

Pasif güneş enerjisi sistemlerinin performansının değerlendirilmesi için öncelikle camdan bina içine gelen güneş ışınımı ve bu ışınımın bina duvarları tarafından absorbe etme hesabı metodolojisi geliştirilmiştir. Daha sonra Direkt ve Trombe duvar sisteminin verimliliğinin göstergesi olan güneş enerjisinden yararlanma oranının bulunması araştırılmıştır. Direkt ve Trombe duvar sisteminin teorik analizi yapıldıktan sonra her iki sistem ve pasif sistem performansının karşılaştırılmasında kullanılacak konvansiyonel sistemin mimarisi tasarlanarak binanın güneş enerjisinden yararlanma oranı ve yıllık yardımcı enerji ihtiyacı bulunmuştur. Bu sonuç üzerinden yola çıkarak pasif performansını etkileyen parametreler üzerinde analiz yapılmıştır. Sayısal analizden sonra pasif sistemin ekonomikliğı üzerinde durulmuştur. İstanbul ili için model alınan bina için ekonomik olarak direkt kazanç sisteminin Trombe duvar sisteminden daha avantajlı olduğu görülmüştür. Ayrıca her iki sistemin de yatırım maliyetini karşılama süresi 10 yılın üzerinde bir zaman alacağı görülmüştür. Ancak ülkemizde hem bina ısıtmasında kullanılan enerjinin dışa bağımlı olması ve hem de çevre kirliliğı problemleri dolayısıyla ekonomik parametrelerin göz ardı edilebileceğı aşıkardır.

Anahtar Kelimeler : Pasif güneş enerji sistemleri, güneş kükü oranı, güneş enerjisinden yararlanma oranı, direkt kazanç, trombe duvarı, termal kütle, güneş mimarisi

ABSTRACT

In this study, passive solar energy systems as a kind of solar energy technique in building heating are investigated. As an energy sources, the potential and methods of solar energy in building heating are examined and the importance of the subject is highlighted. The bases of the thesis which are the techniques to benefit passive solar energy systems and the parameters for application of these techniques on a passive building design are studied.

To evaluate the passive solar energy systems performance, firstly, the calculation of solar radiation throughout the window into the building and absorption by the walls is developed. Afterwards, the ratio of utilization from solar energy which is an indicator of direct and trombe wall system efficiency is studied. After analyzing the direct and trombe wall systems, conventional system is designed to compare both two systems and passive system performances and ratio of utilization from solar energy and annual auxiliary energy demand are found. The parameters affecting the passive performance are analyzed. After the numeric analysis, economic aspects of the passive system are studied. Direct wall system is founded to be better than trombe wall system compared in terms of economic parameters for a sample building in İstanbul. However, both of the systems' break-even period is longer than 10 years. On the other hand, it is possible not to take into the consideration due to the facts first of which is that our country is highly dependent on energy and second of which is the pollution problems are increasing rapidly.

Keywords: Passive solar energy systems, solar load ratio, solar savings fraction, direct gain, Trombe wall, thermal mass, solar architecture.

1. GİRİŞ

Enerji bugün sahip olduğumuz medeniyetin temel taşlarından birini oluşturmaktadır. Ayrıca kalkınmanın ve gelişmişliğin bir göstergesi durumundadır. Ancak son dönem enerji üretim ve tüketim yöntemleri ile yerine yenisi konulamayacak enerji kaynaklarımız tüketilmekte bunun sonucunda da tabiat üzerinde geri dönüşsüz bir tahribata sebep olunmakta ve çevre kirliliği meydana getirilmektedir. Hem fosil kaynakların kısıtlılığı hem de üretimde meydana getirilen çevre kirliliği ile enerji üretiminde hem yenilenebilir ve sınırsız hem de çevreyle uyumlu kaynakların araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Aralarında Güneş enerjisinin de bulunduğu yenilenebilir enerji kaynakları bu fırsatları içlerinde barındırmakta ve geliştirilmeyi bekleyen yegâne enerji kaynaklarıdır (Varınca ve Gönüllü, 2006).

Sınırlı rezervlere sahip fosil kaynakların atmosfere yaydığı sera gazlarının artışına bağlı olarak 2030 yılında atmosfer sıcaklığının 1,5-4,5 °C artacağı tahmin edilmektedir (Treberspurg, 1994). Atmosferdeki bu ısınma iklim değişikliklerini ve ekolojik dengenin bozulmasını beraberinde getirecektir. Dolayısıyla küresel ısınmanın dünyanın ekolojik dengeleri üzerindeki tehditinin ortadan kaldırılması için önlem alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu önlemlerin başında ise atmosfere CO₂ salınımının minimum düzeyde tutulması gelmektedir.

Dünya ülkelerinin enerji politikaları, arz güvenliğini sağlamak, yenilenebilir enerji kaynaklarının payını, enerji verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir kalkınma kapsamında çevrenin korunmasına katkıda bulunmak şeklinde özetlenebilir. Enerji çevriminde tasarruf potansiyeli yüksek sektörler sanayi, bina ve ulaşım olarak sıralanmaktadır. ABD’deki Enerji Bakanlığı’na bağlı Enerji Bilgi Yönetimi Merkezi (Energy Information Administration / EIA) tarafından yapılan hesaplamalara göre, dünya genelinde, toplam tüketim içinde bina sektörü (ticari ve konut) %24, sanayi sektörü %49 ve ulaşım sektörü %27’lik paylara sahiptir. Yapılan projeksiyon çalışmaları sonucunda, 2025 yılı için bu payların sırasıyla %22, %55 ve %23 olması öngörülmektedir (Onaygil, 2008). Uluslar arası Enerji Ajansı (IEA) tarafından 2005 yılında yapılan bir diğer çalışmada, dünya genelinde birincil enerji kaynaklarının tüketimi incelendiğinde, 2003-2025 yılları arasında sanayi sektörünün payının %22 oranında artması tahmin edilirken, bina sektörünün (ticari ve konut) payının %38 oranında artacağı belirtilmiştir [2]. Bu açıdan bina sektöründe, yüksek enerji tasarruf potansiyeli ile enerji verimliliği uygulamalarının öncelikli olarak ele alınması gerekmektedir (Kartal, 2009).

Enerji verimliliği uygulamalarında temel gösterge olan enerji yoğunluğu, Türkiye’de 1980 yılından itibaren artış göstererek, gelişmiş ülkeler ile arasındaki farkı giderek artırmaktadır. Türkiye’nin enerji yoğunluğu 0.38 olup, OECD ortalamasının 2 katı, Japonya’nın ise yaklaşık 4 katıdır. 2020 yılında 2004 yılına oranla, sanayide 2,8, binalarda 2,3 ve ulaşımda 2,5 kat daha fazla enerji tüketileceği tahmin edilmektedir (Altıntop, 2007). Türkiye’de binalarda kullanılan enerjinin toplam enerji içerisinde payı ise %37’dir. Ayrıca konutlarda ısıtma amacıyla kullanılan enerjinin toplam enerji tüketimine oranı ise yaklaşık %85 olarak bilinmektedir (Ünver, 2002).

Enerji verimliliğini artırmaya yönelik olarak binalarda, santrallerde, ulaştırma, sanayi ve elektrik sektörlerinde çalışmalar yapılmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) üyesi ülkelerde nihai enerjinin yaklaşık olarak üçte biri (1/3) konut ve ticari binalarda tüketilmektedir. Bu nedenle binalarda uygulanacak çeşitli teknik donanım ve alınacak tasarruf önlemlerinin büyük miktarlarda enerji verimliliğini artırabileceği öngörülmüştür. Binalarda enerji verimliliğini artırmanın en önemli yolu ise, bina dış kabuğunun (duvar, çatı, zemin ve çerçeveler) enerji etkinliğinin iyileştirilmesi, yapı elemanlarının ısı geçirme oranlarını düşürerek ısı ve enerjinin ısı direncinin yükseltilmesi, binanın mimari tasarımı ve ev cihazlarında önlemler alınmasıdır. Özellikle konutlarda tüketilen enerjinin %80’i ısıtma için kullanıldığından yalıtım önlemleri enerji verimliliğinde en önemli unsur olmaktadır (Narin ve Akdemir, 2006)

Enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan mimari uygulamalarda sürdürülebilirlik bağlamında enerji korunumu, enerji verimliliği ve güneşten yararlanma konularını ön plana çıkarmak amacı ile enerji eldesinde temiz, tükenmez ve atık bırakmayan kaynaklara yönelmek kaçınılmazdır. İncelenen tüm çalışmalarda, bina sektörünün önemi, enerji, ekonomi ve çevre alanlarında ileriye dönük yapılan tüm projeksiyonlarda vurgulanmaktadır. Ayrıca, maliyet etkin ve çevreyi de gözeterek enerji tüketimini azaltmanın yolu enerji verimliliği olarak belirtilmektedir. Bu kapsamda, bina sektöründe enerji verimliliğini artırmak amaçlı önlemler arasında, yeni binaların tasarımının enerjiyi verimli kullanacak ve güneş enerjisinden yararlanabilecek şekilde yapılması, mevcut binalarda verimliliği artırıcı uygulamaların yaygınlaştırılması, hem yeni yapılacak hem de mevcut binalarda etkili bir enerji yönetiminin sağlanması sayılabilir (Kartal, 2009).

Bu çalışmanın amacı, binaların ısıtılması için gerekli olan enerjinin, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden pasif sistem ile, ekonomik faktörleri de göz önünde bulundurarak tamamen ya da kısmen karşılanmasına olanak sağlamaktır. Bu amaçla

TS 825'e göre 2. bölgede yer alan İstanbul ilinde, bina ısıtması için kullanılan enerjinin karşılanmasına katkıda bulunacak pasif güneş enerji sistemleri ele alınan binaya uygulanmıştır. Bunun sonucunda güneş enerjisinden elde edilen kazanç hesaplanarak binanın ısıl performansı sayısal ve ekonomik açıdan analiz edilmiştir.

Coğrafi konum olarak güneş enerjisinden ikinci derece yararlanma bölgesinde olan Türkiye'de, bina mimarisinin güneş enerjisinden maksimum fayda sağlanacak şekilde tasarlanmasının teşvik edilebilmesi için böyle bir çalışmanın yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de aktif güneş enerjisi sistemlerinin yaygınlaşmaya başladığı günümüzde pasif sistemlere de dikkat çekmek ve yaygınlaşmasına katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

1.1 Literatür Taraması

Pasif güneş sistemi ile binaların ısıtılması konusunda çok sayıda deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır. Aşağıda bu çalışmalar ile ilgili özet bilgiler sunulmuştur.

Kartal (2009), doktora tezinde Türkiye'nin farklı derece-gün bölgelerinde güneş enerjisinin mekanlarda ısıtma amaçlı kullanımına yönelik, bina kabuğunda alınan önlemlerin uygulanabilirliğine dikkat çekmek amacıyla pasif sistemlerden kış bahçesi, Trombe duvarı ve saydam yalıtım uygulamalarının enerji kazancına olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmada örnek binaya uygulanan kış bahçesi ile farklı Derece-gün bölgelerinde elde edilen yıllık ısıtma ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanma oranı Antalya'da %67, Edirne'de %36,9, Eskişehir'de %42,5 ve Erzurum'da %38,3, koyu renkli betonarme trombe duvarı uygulamasında Antalya'da %47,7, Edirne'de %26,5, Eskişehir'de %29,4 ve Erzurum'da %26,9, koyu renkli betonarme saydam yalıtım uygulamasında Antalya'da %45,6, Edirne'de %29,5, Eskişehir'de %27,9 ve Erzurum'da %25,5 olarak bulunmuştur.

Majjad (1990), güneş yük oranı yöntemi ile Trombe duvarına sahip pasif sistemlerin Antalya, Ankara ve Kars gibi farklı iklim bölgelerindeki etkinliği üzerine çalışmıştır. Beton Trombe duvarının yalıtımsız/gece yalıtım uygulaması sonucunda sözü edilen iller için enerji kazançları sırasıyla %65-%81, %31-%45 ve %19-%32, sulu Trombe duvarın yalıtımsız/gece yalıtım uygulaması sonucunda aynı iller için enerji kazançları sırasıyla %71-%85, %30-%46 ve %17-%31 olarak elde edilmiştir.

Onbaşıoğlu (1998), Trombe duvarlı bir pasif güneş sistemindeki türbülanslı doğal taşınımı deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada, çok odalı pasif güneş evlerinin tasarımında, sıcak havanın binanın en uç noktalarına ulaşabilmesi, bina içindeki sıcaklık dağılımının

homojenliği ve sistemin yüksek bir performansa sahip olabilmesi için gerekli tasarım kriterlerine dikkat çekmiştir.

Demirbilek vd., (2003), Türkiye’de gerçekleştirilen Trombe duvarı uygulamalarından biri olan Antalya Ulusal Gözlemevi’nde binanın ısı davranışlarını mevcut durum ve önerilen sistemlerin karşılaştırılması şeklinde incelemişlerdir. Bu amaçla, Trombe duvar malzemelerinin değiştirilmesi, yalıtım kalınlığının artırılması, kış bahçesi ve Trombe duvarında kullanılan saydam örtü sayısının değiştirilmesi, gece yalıtımı uygulanması, yaz aylarında gölgeleme ve havalandırma yapılması, Trombe duvarı ve kış bahçesi yerine farklı boyutlarda direkt kazanç uygulamasına yönelik seçenekleri irdelemişlerdir.

Chen vd., (2006), Trombe duvarının ısı performansını artırmak için hava boşluğunda gölgeleme elemanlarının kullanımı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Dalian’da bir binanın Trombe duvarına gölgeleme elemanları yerleştirerek kış ayları gece sıcaklığındaki değişimi incelemişlerdir. Gölgeleme elemanları kullanılması ile hava boşluğundaki ısı kaybının %20-40 oranında azaldığı ve Trombe duvarından dış ortama ısı akısının önlendiği görülmüştür. Ayrıca Trombe duvarı dış yüzey sıcaklığının da arttığı gözlemlenmiştir.

Kartal vd., (2006), Trombe duvarı uygulamasının enerji kazancına olan katkısını araştırdıkları çalışmada, öncelikle sistemin çalışma ilkelerini ele almış ve teorik olarak Edirne ilinde bulunan mevcut bir binaya uygulanması sonucu elde edilebilecek kazançları belirlemişlerdir. Masif duvar malzemesi olarak 19 cm tuğla ve 10 cm betonarme malzemesi kullanımı sonucu, yıllık enerji tüketiminin güneşten karşılanma oranları sırasıyla % 25,6 ve % 37,3 olarak elde edilmiştir. Örnek binanın enerji tüketimini azaltmak amacıyla güney cephesinde uygulanan 24,57 m² Trombe duvarı ile yıllık toplam enerji gereksiniminin 10470 kWh olacağı Kullanılmayan Enerji Yöntemine göre yapılan hesaplar sonucu bulunmuştur.

Yılmaz ve Kundakçı (2008), çalışmalarında İstanbul’da bir konutun güney yüzeyine Trombe duvarı uygulamasının enerji kazancına olan katkısını incelemişlerdir. Mevcut duvar ve Trombe duvar uygulamasının ısı performansları zamana bağlı olarak ele alınmıştır. Farklı duvar malzemesi olarak tuğla ve betonun kullanıldığı 6 farklı duvar kuruluşu incelenmiştir. Duvar malzemesinin değişimi ile kış aylarında iç hava sıcaklık değişiminin fazla etkilenmediği, ancak Trombe duvarı uygulaması ile bu etkinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca çalışmada Trombe duvarı ve cam arası boşluk aralığının 0,05-0,10-0,15 m şeklinde değişiminde, 0,05 m’lik aralığın enerji etkin iyileştirmede en iyi sonuç olduğunu belirtilmiştir.

Aksoy (2002), doktora tezinde iklimsel konforu esas alarak, bina kabuk elemanındaki sıcaklık dağılımına göre opak ve saydam yüzeylerdeki ısı geçişini hesaplamış ve sonuçları bir yıllık periyod için toplam ısıtma enerjisi miktarı olarak vermiştir. Bina kabuğunun detayına bağlı olarak minimum ve maksimum yıllık ısıtma enerjisi değerlerinin gerçekleştiği yönlendiriliş durumları arasında %2,7-7,2 arasında değişen oranlarda ısıtma enerjisi maliyet farkı olduğunu tespit etmiştir.

Üçkardeş (1992), yüksek lisans tezinde pasif sistemler için analiz yazılımı olan TRNSYS programını kullanarak direkt ve Trombe duvarına sahip pasif sistemleri analiz etmiştir. Çalışma sonucunda Adana bölgesi için Trombe duvarına sahip pasif sistem için tasarladığı binanın güneşten yararlanma oranının %42 ve sistemin ekonomik olarak geri ödeme süresinin 35 yıl olduğunu bulmuştur. Ayrıca direkt kazançlı pasif sistemlerde kullanılan gece izolasyonunun güneş enerjisinden yararlanma oranına etkisini incelemiş ve kullanılan izolasyon malzemesine bağlı olarak gece izolasyonunun olmadığı duruma göre faydalanma oranının %30 artacağını tespit etmiştir.

Göksal ve Özbalta (2001), araştırmalarında İzmir ili için Ocak ve Temmuz aylarını temsil eden günlerde 3 cm dış sıva, 19 cm tuğla ve 2 cm iç sıvadan oluşan duvarın güneş ışıını etkisindeki ısı davranışını incelemişlerdir. Malzeme özellikleri ve sınır koşulları da dikkate alınarak duvar içindeki bir boyutlu ısı iletimi sonlu farklar yöntemiyle çözümlenmiştir. Çalışmada iç ortam ısı tasınım katsayısı $8,141 \text{ W/m}^2\text{°C}$, sıcaklığı 20°C olarak alınmıştır. Dış ortam ısı tasınım katsayısı $5 \text{ W/m}^2\text{°C}$, $23,26 \text{ W/m}^2\text{°C}$, $32 \text{ W/m}^2\text{°C}$, duvar dış yüzeyinin yutma katsayısı 0,15, 0,30, 0,45, 0,75 ve 0,90 olarak alınmıştır. Sonuç olarak Ocak ve Temmuz aylarında duvar kuruluşundaki ısı akılarının, dış ortama ait ısı tasınım katsayısı ve duvar dış yüzeyinin güneş ışıını yutma katsayısına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Pasif güneş sistemi ile binaların ısıtılma prosesini anlamak için, ısı enerjisinin kaynağını ve davranışını anlamak önemlidir. Bu konunun iyi öğrenilmesi çeşitli güneş enerjisi ile ısıtma tekniklerinin optimizasyonuna yardım edecek ve iyi bir teorik temel ile akıllı değişiklikler yapılmasına olanak sağlayacaktır.

2.1 Bir Enerji Kaynağı Olarak Güneş

Dünya üzerindeki yaşam için gerekli enerjinin hemen hemen tümünü karşılayan Güneş orta yaşlı, orta boyutlu bir yıldızdır. 1,4 milyon km çapıyla Dünyanın 110 kat büyüklüğünde olan Güneş, Dünyadan $1,5 \cdot 10^{11}$ m uzaklıkta yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa sahip bir yıldızdır. Yüzey sıcaklığı yaklaşık 6.000 K olup iç bölgelerindeki sıcaklığın $8 \cdot 10^6$ K ile $8 \cdot 10^6$ K arasında olduğu tahmin edilmektedir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

Güneşin içindeki büyük çekimsel kuvvetler, nükleer füzyon olarak adlandırılan bir işlem ile 4 hidrojen atomunu 1 Helyum atomuna dönüştürerek büyük bir enerji üretir. 4 Hidrojen atomu 1 Helyum atomuna dönüşürken 0,029 birim ağırlıktaki kütle kaybı Einstein'ın madde-enerji bağıntısı ($E=mc^2$) sonucu enerjiye dönüşür. Yani güneşte her saniyede 564 milyon ton Hidrojen 560 milyon Helyuma dönüşürken, kaybolan 4 milyon ton karşılığı $3,86 \cdot 10^{26}$ J enerji açığa çıkmakta ve bu enerji ışıınım şeklinde uzaya yayılmaktadır. Toplam enerji rezervi $1,785 \cdot 10^{47}$ J olan bu yıldız daha milyonlarca yıl ışımasını sürdüreceğinden Dünya için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Dünyanın çapına eşit bir dairesel alan üzerine çarpan güneş gücü yaklaşık 178 trilyon kw düzeyindedir. Dünyaya güneşten gelen enerji, dünyada bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 20 bin katıdır. (Varınca ve Gönüllü, 2006)

Güneşten gelen enerji birçok farklı biçimde kendini gösterir. Örneğin, atmosferin çeşitli bölümlerini farklı sıcaklıklara ısıtan güneş rüzgar olarak adlandırdığımız hava hareketine sebep olur. Okyanus akıntıları kısmen benzer sebeplerle ve hidroelektrik enerji güneşten kaynaklanan enerjidir ki, okyanus ve göllerdeki su buharlaşır ve sonra yüksek seviyelerde yağmur veya kara dönüşerek taşınır. Su yükseklik kazanarak potansiyel enerjiye dönüşür ve bu enerji suyun daha düşük bir seviyeye akışıyla kinetik enerjiye dönüşür.

2.1.1 Güneş Işınımı

Dünya atmosferinin dışında güneş ışıının şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1370 W/m^2 değerindedir, ancak atmosfer bu ışıının %6'sını yansıtır, %16'sını da sönümler. Böylece deniz seviyesinde ulaşılabilen en yüksek güneş ışıını 1.020 W/m^2 düzeyindedir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat

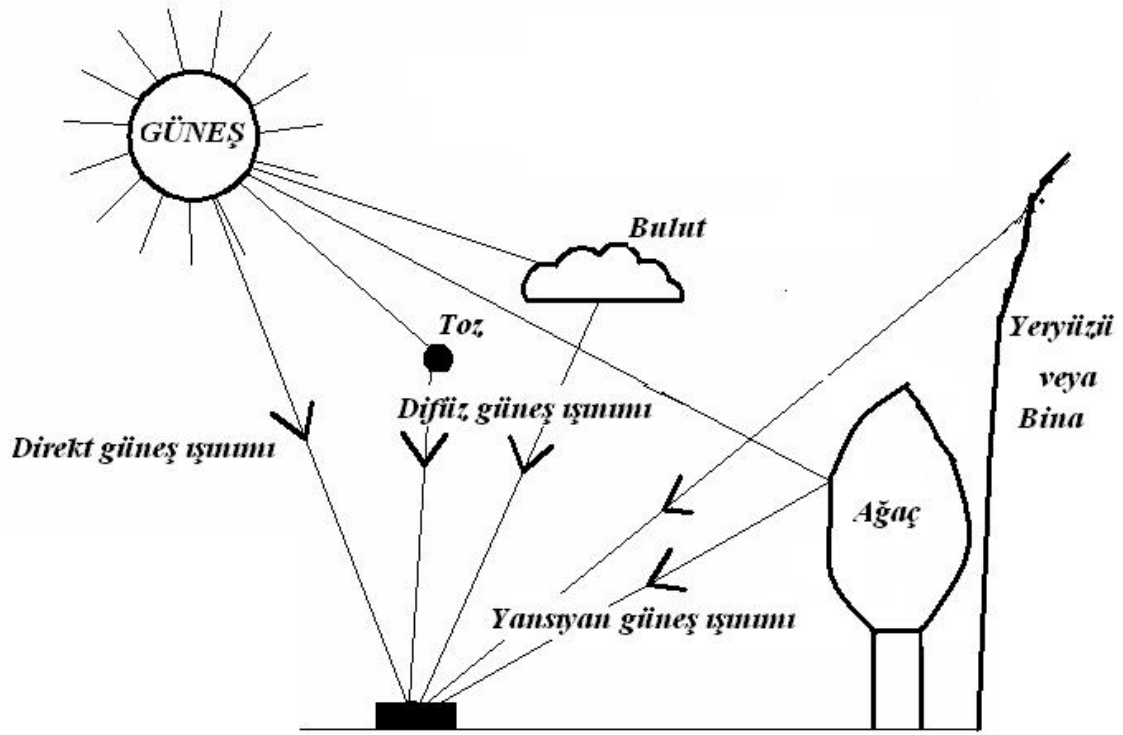
fazladır. Bulutlar dünyaya gelen ışınlamayı yansıtma suretiyle yaklaşık %20, yutma suretiyle de yaklaşık %16 azaltırlar.

Yeryüzündeki herhangi bir yüzeye gelen toplam güneş ışınlamayı, direkt, difüz ve yansıyan ışınlamalardan oluşur. Direkt güneş ışınlamı bileşeni doğrudan güneş enerjisinden yüzeye gelir. Difüz (yaygın) güneş ışınlamı ise güneşten gelen ışınlamının atmosferden geçtikten sonra bulut ve tozlar tarafından yutulması ve tekrar buradan yüzeylere gelen bileşenidir.

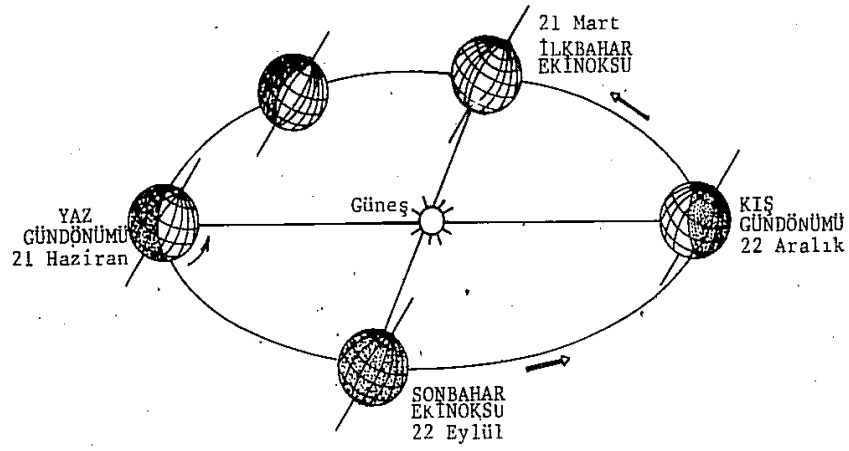
Dünya yüzeyine gelen enerji miktarı, ışınlamaların ulaşma açıları tarafından etkilenir. (yaygın ışınlamı gölgelenmemiş yönlerden gelir) Bu durum yatay bir masa üzerine dikey bir şekilde tutulan bir el feneri ışınlamıyla açıklanabilir. Fenere verilen enerji miktarı masa üzerine yayılır. Eğer fener, ışınlamaların masa üzerine belirli bir açı ile çarpacak şekilde hareket ettirilirse, ışınlamaların masa üzerine çarptığı alanın boyutu artacaktır. Toplamda enerji daha büyük bir alana ulaştığı için masa üzerindeki birim alana düşen ışınlamaların enerjisi daha az olacaktır. Fener dikey pozisyonundan hareket ettirildiği için yayılan ışınlamalar sönükleşecektir. (Chen vd., 1982)

Her gezegen güneş etrafında daireye yakın eliptik bir yörünge etrafında döner. Dünyamız bu dönmeyi 365 gün 6 saatte tamamlar. Dünya-güneş mesafesi değiştiğinden dünyanın yörünge hızı da periyodik olarak değişir. Ayrıca dünya, yörünge düzleminin normalinden $23^{\circ} 27'$ açı yapan eksenini etrafında döner (Şekil 2.2)

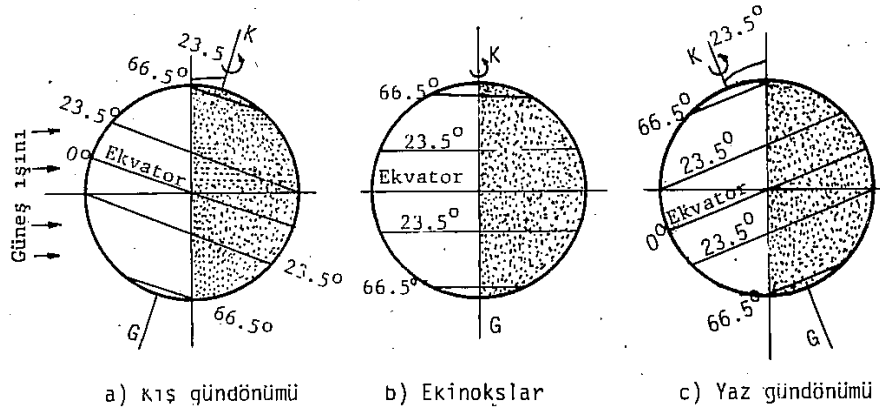
Güneş ışınlamalarının dünyaya geliş açısına çeşitli faktörler etki eder. Güneş ışınlamaları daha yüksek enlemlerde yeryüzüne daha düşük açılarda ulaşır. Bu enlem etkisi, dünya ekseninin dikeyden yaklaşık 23 derece eğik olmasından dolayı karmaşıktır. Eksenin eğikliği mevsimlerin meydana gelmesine, gece ve gündüz uzunluğunun değişmesine sebep olduğu gibi güneş doğrultusunun günlere göre değişmesine de sebep olur (Şekil 2.3)



Şekil 2.1 Güneş ışıınım bileşenleri (Bulut, 2009)

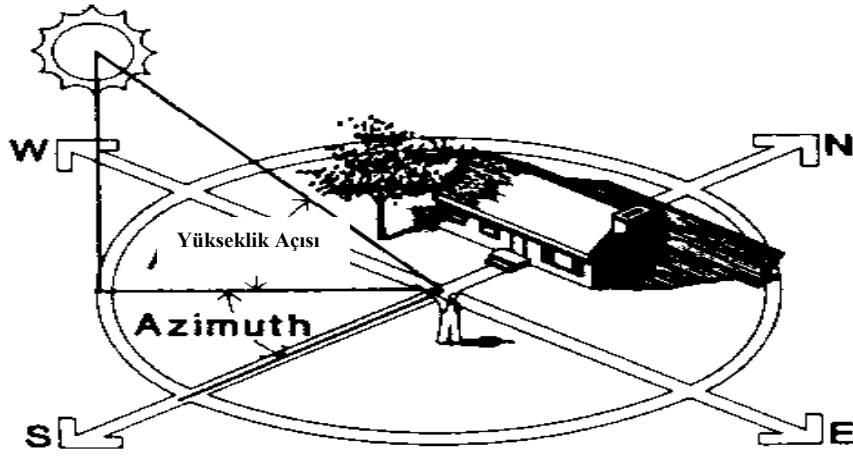


Şekil 2.2 Dünyanın güneş etrafında dönüğü (Kılıç ve Öztürk, 1983)



Şekil 2.3 Değişik zamanlarda dünyanın güneşe göre konumu (Kılıç ve Öztürk, 1983)

Güneşin gökyüzündeki pozisyonu, yükseklik ve azimut olarak adlandırılan iki açı ile belirlenir. Yükseklik açısı, güneş yüksekliğinin nasıl olduğunun ölçüsüdür ve güneş ışınımı ile yatay yüzey arasındaki açıdır. Güneşin gün içerisindeki maksimum yükseklik açısı mevsimlere göre değişmekle birlikte tam öğle vakti meydana gelir. Güneş doğrultusunun tam bilinebilmesi için, güneş ışınlarının yatay düzlem üzerindeki izdüşümünün tam güney doğrultusundan sapma açısı olan azimut açısına ihtiyaç vardır ve saat yönünde ölçülür.



Şekil 2.4 Güneş pozisyonunun belirlenmesi (Chen vd., 1980)

2.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye dünya üzerinde 36° - 42° kuzey enlemleri ve 26° - 45° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye'nin yıllık ortalama güneş ışınımı $1311 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$, ortalama yıllık güneşlenme süresi ise 2640 saattir. Bu rakam günlük $3,6 \text{ kWh/m}^2$ güce, günde yaklaşık 7,2 saat, toplamda ise 110 günlük bir güneşlenme süresine denk gelmektedir. Yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olan Türkiye’de gerekli yatırımların yapılması halinde birim metrekarede ortalama 1.100 kwh’lik

güneş enerjisi elde edilebilir (Varınca ve Gönüllü, 2006). Yılın 10 ayı boyunca teknik ve ekonomik olarak ülke yüzölçümünün %63'ünde ve tüm yıl boyunca %17'sinde güneş enerjisinden yararlanılabilir.

Çizelge 2.1 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [1]

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
Ocak	51,75	103,0
Şubat	63,27	115,0
Mart	96,65	165,0
Nisan	122,23	197,0
Mayıs	153,86	273,0
Haziran	168,75	325,0
Temmuz	175,38	365,0
Ağustos	158,40	343,0
Eylül	123,28	280,0
Ekim	89,90	214,0
Kasım	60,82	157,0
Aralık	46,87	103,0
Toplam	1311	2640
Ortalama	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

EİE Genel Müdürlüğü verilerine göre, Türkiye'nin en fazla güneş alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, ikinci sırada Akdeniz Bölgesi gelmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ülkemizin enerji bakımından en zengin bölgesidir. Bu bölgeye gelen yıllık toplam güneş enerjisi miktarı 1460 kW/m² ve yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2993 saattir. Bunun yanında Karadeniz Bölgesi Türkiye'nin en az güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgesidir (Çizelge 2.2). Bu verilen ışığında Türkiye'de toplam olarak yıllık alınan enerji 10¹⁵ kWh kadardır.

Çizelge 2.2 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı
[1]

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

3. BİNA ISITMASINDA PASİF GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDEN YARARLANMA

Binalarda güneş enerjisi uygulamalarında iki tur uygulama yaklaşımı olup bunlar aktif ve pasif ısıtma ve soğutma sistemleri olarak isimlendirilirler. Aktif sistemde güneş enerjisi toplayıcıları depolama birimleri, enerji transfer mekanizmaları ve enerji dağıtım sistemleri (pompa, fan) kullanılır. Bu tip bir sistemde genelde bir veya daha çok çalışma akışkanı, toplanan güneş enerjisinin transfer, depolama veya dağıtımında kullanılır. Çalışma akışkanları fan ve/veya pompaların yardımıyla dolaştırılır (Güngör, 1993) Aktif güneş enerjisi sistemlerinin amacı, bir akışkanı kollektör kullanarak ısıtmak, ihtiyaç oluncaya kadar ısıtılmış akışkanı depolama ünitesinde depolamak, bir kontrol mekanizması yardımıyla ısıtılacak hacimlere bu enerjiyi dağıtım ekipmanları aracılığı ile sağlamaktır (Günerhan, 1995) Pasif sistemlerde ise enerjinin toplanması, depolanması ve taşınması bina mimarisi ile gerçekleştirilir. Bu çalışmada sadece pasif sistemler ele alınacaktır.

3.1 Pasif Güneş Isıtma Sistemleri

Pasif güneş enerjisi sistemleri diğer dış güç kaynaklardan bağımsız çalışmakta olup, pompa ve fanların kullanımı elimine edilir. Pasif terimi mimari bir kavram olup binalarda güneş enerjisi kullanımının yöntemini açıklamaktadır. Pasif sistemler konutun enerji giderlerini yönlendirme, yalıtım, pencere yerleşimi gibi tasarım yöntemleriyle azaltır.

Pasif sistemde, enerjinin toplama, depolama ve dağıtım fonksiyonları binada kullanılan malzemelerce gerçekleştirilir. Pasif güneş enerjisiyle ısıtılan binaların çoğunda, daha çok güneye bakan cam yüzeylerin kullanımıyla kışın yataya en yakın olan güneş ışınlarının bina içine alınması amaçlanır (Güngör, 1993)

Bir pasif güneş evindeki amaç, Güneş parlarken, bir evin mevcut ısı ihtiyacı için uygun miktarda güneş enerjisine müsaade eden bir sistem dizayn ederek evin ısınması için gerekenden önemli ölçüde daha fazla güneş enerjisini içeri almak ve güneşin parlamadığı zaman boyunca kullanmak için ilave enerjiyi depolamaktır.

Bir güneş evindeki önemli özellik camın mükemmel kullanımıdır. Kışın güneş enerjisinden mümkün olduğu kadar yararlanmak için, güney cephe cam alanları optimum güneş standardında olmalıdır. İstenmeyen yaz ısı kazançları ve dış ısı kayıplarından doğu, batı ve kuzeydeki pencere alanı ve sayısının indirilmesiyle kaçınılabılır.

Bir pasif sitemdeki depolama ortamı “termal kütle” olarak adlandırılır. Bu genellikle, küçük hacimleri aşırı sıcak yapmaksızın çok büyük miktarlarda ısı depolayabilen, ısı özelliklerinin

yüksek olduğu bir malzemedir. Beton, tuğla, kagir malzemeler ve su ortak bir şekilde termal kütle olarak kullanılabilir. Sistemdeki termal kütlenin fonksiyonu gün boyunca güneş enerjisinin fazlalığını absorbe etmek, onu ısı olarak depolamak ve iç oda sıcaklığı düşmeye başladığında onu havaya serbest bırakmaktır. Böylece, termal kütle havadaki sıcaklık dalgalanmalarını engeller.

Başarılı bir güneş evinde, cam alanı ve termal kütle uyum içinde çalışır. Bu bölümde, konfor elemanlarının incelenmesi ve bir pasif güneş evinde kullanılması gereken çeşitli dizayn fikirlerinin tartışması yapılacaktır.

3.1.1 Pasif Bina Dizaynı

Bu bölümde, bütün pasif güneş enerjisi sistemlerinde kullanılması gereken çeşitli dizayn fikirleri ele alınacaktır.

3.1.1.1 Koruma, Muhafaza

Bir evin güneş performansını optimize etmek için kullanılan birkaç metodu incelemenden önce, daha fazla enerji etkin bir ev yapan bu teknikleri tartışmak önemlidir. Bu tekniklerin tümü bir evin kışın ısıtma ihtiyacını düşürür. Öyle ki mümkün olan en küçük ısıtma sistemi, ya güneş ve klasik ya da ikisinin kombinasyonu etkin bir şekilde kullanılarak yapılabilir. Bu tasarruf tiplerinin çoğu mevcut evlere uygulanabilir. Aşağıda enerji etkin binalarda ısı kaybını düşürmek için kullanılan çeşitli yapı teknikleri özetlenmiştir.

1. Kapı-pencere yalıtımı: Kapı ve pencereler çevresindeki hava sızıntıları hissedilemese bile infiltrasyon ısı kayıplarına önemli ölçüde katkıda bulunur. Zarara uğrayan, eskiyen veya bulunmayan kapı-pencere yalıtımlarının değişimi infiltrasyonla ısı kaybını önemli ölçüde düşürür.
2. Hava kilidi girişi: Kışın bir evin toplam ısı kaybının %10 kadarı dış kapı açıldığında çıkan sıcak hava yüzündendir. Bu kayıplar uygun bir şekilde dizayn edilmiş bir hava kilidi veya çift kapı girişi kullanılarak önemli ölçüde düşürülebilir. Öyle ki aynı zamanda kapının sadece biri açık olacaktır (Chen vd., 1980)
3. İzolasyonu: İzolasyon bir evin ısı kaybına karşı en önemli önlemdir. İzolasyon tipleri ve ayrıntıları ayrı bir başlık altında ayrıca incelenecektir.
4. Hareketli izolasyon : Duvarlar ve tavanların iyi izole edilmiş olduğunu kabul ederek, pencereler tipik bir evdeki en büyük ısı kaybına sebep olur. Pencere izolasyon malzemeleri özellikle geceleyin yararlıdır. Bu pencere izolasyon kaplamaları iyi performans almak için tüm çevreye sıkı bir şekilde tespit edilmelidir.

5. Bakım: Bir ev uzun süre kendi kendine etkili şekilde iş göremez. Ev görevini yerine getirebilmek için birlikte çalışması gereken birçok parçadan oluşan bir çeşit makine gibidir. Tüm kapı-pencere yalıtımları, astarlar, dış cephe kaplamaları, çatılar v.s. periyodik bakım ve kontrole ihtiyaç duyar.
6. Astarlar: Kapı ve pencere çerçeveleri çevresindeki hava sızıntıları, en iyi kapı-pencere yalıtımı ve markalı yeni pencerelerde bile sızabilir. Çerçevelerin çevresindeki astarlar infiltrasyon kayıplarını şiddetle keser. Küçük temel çatlakları, delik duvar menfezleri gibi diğer alanlar ayrıca yarar sağlayabilir. İyi kalitedeki bir dış cephe astar tabakası dışarı için tavsiye edilir ki daha ucuz tipler bir veya iki mevsimde etkisini kaybeder.
7. Üçlü cam tabakası: Üç camlı pencereler özellikle evin kuzey cephesinde veya gece izolasyonunun kullanışsız olduğu yerlerde ısı kaybını önlemek için etkili bir önlemdir.

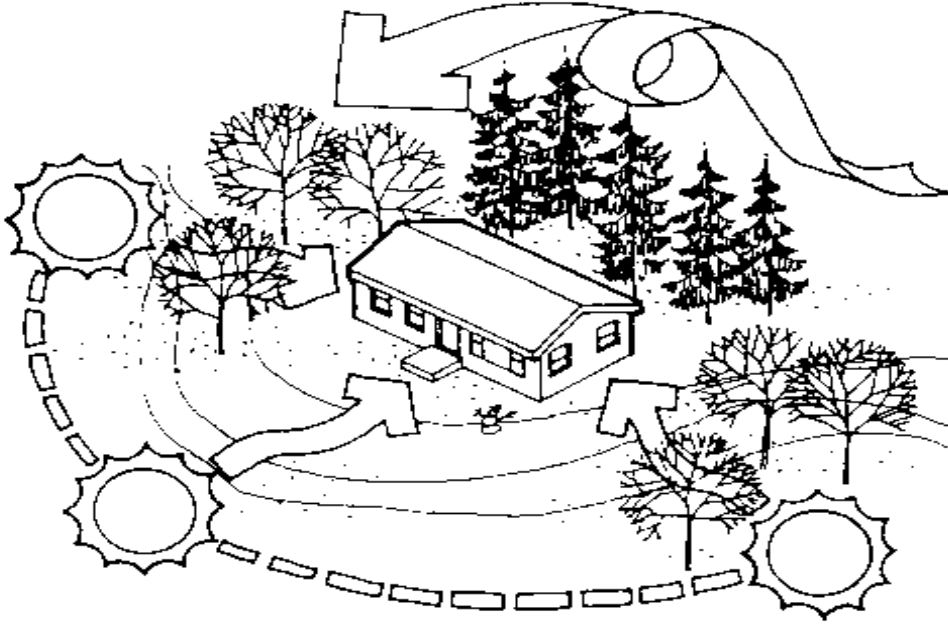
3.1.1.2 Bölge Planı

Konutların akılcı planı, hem ısıtma hem de soğutma mevsimlerinde bir evin ısıl performansı üzerinde çarpıcı bir etkide bulunabilir. Binanın bulunduğu bölgenin coğrafik yerleşimi yıllık bulutlu ve yağmurlu gün sayısını etkileyen birçok önemli faktörü etkiler. Küçük ölçek üzerinde yerel kara sınırları ve bitki örtüsü evin ısıtma ve soğutmasını etkileyen doğal rüzgar yapıları ve hızlarını etkiler.

Türkiye’de mevsimsel rüzgarlar, dağların coğrafik yerleşimi dahil birçok faktör tarafından etkilenir ve ya güneydoğu ya da kuzeybatıdan esmeye meyillidir. Kış mevsiminde soğuk kuzey rüzgarlarından korunma infiltrasyon kaybını ve dolayısıyla ısıtma ihtiyacını düşürecektir. Bu korumayı sağlamak için, yerel rüzgar modelleri, arazi özellikleri ve büyük çalılar veya ağaçlar gibi bitki örtüsünden yararlanılabilir.

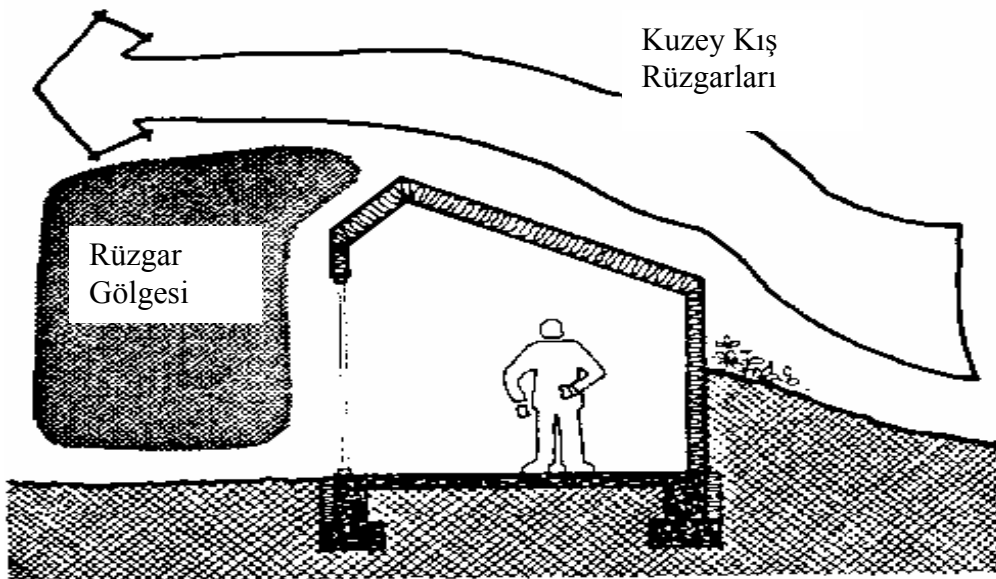
Rüzgarı önleme ve yönlendirmede ağaçlar ve diğer bitki örtüsü güneş kontrol aletleri olarak kullanılabilir. Bir binanın çatısı ile doğu ve batı cepheleri en çok yaz aylarında istenilmeyen güneş ışımasını alır. Bu yüzeyleri yazın gölgeleyerek istenilmeyen güneş ışımasını kesilecektir. Bu gölgeleme, binanın doğu ve batı yönüne kışın yapraklarını döken ağaçlar yerleştirilerek gerçekleştirilebilir, çünkü çıplak ağaç dallarından kışın güneş ışımasına izin vererek kar edilebilir. Bu hususta tüm ağaçların eşit olmadığı not edilmelidir. Çıplak yaprak yoğunlukları türler arasında çeşitlilik gösterir ve direkt güneş enerjisi miktarında farklılıklar olabilir.

Kozalaklı ağaçlar bir ev çevresindeki soğuk kış rüzgarlarını yönlendirmek ve önlemek için kullanılabilir. Buna göre evin kuzey tarafı kış rüzgarlarından kaçınmak için kışın yapraklarını dökmeyen kozalaklı ağaçlar ile çevrelenmelidir (Şekil 3.1.)



Şekil 3.1 Soğuk iklimdeki binaların pasif ısıtma planı (Chen vd., 1980)

Yerel arazi ile ilişkili yapı yerleşimi diğer önemli faktördür. Rüzgar tümsek bir tepe ile karşılaştığında karşı alan üzerinde serin korunaklı bir alan veya rüzgar gölgesi şekillenir. Buna göre, güney veya güneydoğu tarafı eğimli olarak yerleşmiş bir ev kış rüzgarının gölgesinde konumlanacaktır, fakat yaz rüzgarının tamamen etkisi altında kalacaktır. Bu iyi güneş yerleşimine uygundur, çünkü bir güney eğimi kuzey duvarın korunmasına yardımcı olur ve kışın gelen güneş enerjisinin eve maksimum seviyede girmesini sağlar. Ayrıca, yer şekillerinin elverdiği ölçüde güneye bakan dağların eteğine evlerin yerleşimi kışın güneş enerjisinden maksimum fayda sağlayacaktır (Şekil 3.2)



Şekil 3.2 Binanın mikroiklimi (Chen vd., 1980)

Bölge seçiminde diğer önemli faktör binaların veya bitki örtüsünün güneşi engellemesidir. Güneş alan pencerenin dışındaki sıra halindeki ladin ağaçları cezbedici bir görüntü sağlayabilir, fakat site dizaynına iyi bir örnek değildir. Bitki örtüsünün gelecekteki büyümüş hali yapının güneş enerjisini geçirecek şekilde düşünülmelidir.

3.1.1.2.1 Yapı Yönü

Uygun bir yapı bölgesi seçilir seçilmez, sonraki karar yapının yönü ile ilgilidir. Güneye bakan yönü açık bir binada maksimum miktarda enerji toplamasına rağmen, birkaç sapma estetik ve diğer bina yerleşim faktörleri için hoş görülebilir. Eğer bina öğleden sonraki saatlerde zorunlu olarak gölge alıyorsa, binanın güney doğuya yönlendirilmesi sabah güneşinin faydasını artıracaktır. Ayrıca bulutluluk ve sisin sabahleyin ortak olduğu alanlarda güney batı yönü önerilir. Yaz güneş kazançlarını engellemek için yapı yönünün güney doğu olması, güney batıya tercih edilir.

3.1.1.2.2 Bina Şekli ve Yerleşimi

Evlerin kışın en çok ısı kayıpları, binanın dış kabuğu etrafında meydana gelen kabuk kayıpları olarak adlandırılır; dış duvarlar, çatı, bodrum tabanı ve duvarları v.s. Yani daha fazla kabuk alanı daha fazla ısı kaybı anlamına gelir. Bu nedenle ısı kaybını kontrole yardımcı olmak amacıyla minimum kabuk alanını korumak önemlidir. Daha karışık çevreleri olan binaların kabuk alanı daha uzun olur ve kabuk etrafında daha fazla ısı akışı olur.

Daha önce tartışıldığı gibi basit bir evin dört duvarının doğu ve batısı en çok yaz güneş ısını alır. Kışın güney en çok miktarı alır. Doğru ve batıya bakan duvar alanlarının azaltılması ve güneyin genişletilmesi yıl çevresinde daha çok ısı kazancına yol açar. İdeal şekil kısa yanları daha fazla kaplanmış veya doğu ve batı yönü daha az olan basit bir dikdörtgendir (Chen vd.,1980)

3.1.1.2.3 İç Alan Düzeni

Geometri şeklinin seçimini etkileyen son bir faktör iç alanların boyutu ve düzenidir. Odaların özel yaşam alanlarına göre olmasına çaba sarf edilmesine rağmen, bazı düşünceler yapının enerji performansı üzerinde olumsuzluk yaratabilir.

Evin güney cephesi boyunca çok kullanılan yaşam alanlarını yerleştirmek mantıklıdır, çünkü bu alan en çok direkt güneş enerjisi ısı kazancı sağlayacaktır. Yaşanmayan alanlar (koridorlar, tuvaletler, çamaşırhaneler, çamaşır odaları, kilerler, depo odaları, garajlar, giriş yerleri ve bunun gibi yerler) kışın genelde daha soğuk olan evin kuzey cephesi üzerine

yerleştirilmelidir. Bu alanlar ara alanları olarak davranırlar, çünkü kuzeydeki dış sıcaklığın etkilerinden yaşam alanlarını izole ederler.

3.1.1.2.4 Pencere Yerleşimi

Tüm pencerelerin ısı kaybedici olmasına rağmen, birkaç pencere güneş enerjisini geçirerek net bir ısı kazancı sağlar. Doğu, batı ve güneyi karartılmamış pencereler bu yeteneğe sahiptirler. Daha önce belirtildiği gibi, doğu pencereleri yaz soğutma ihtiyacını düşürmek için batıya tercih edilir. Kışın güneş enerjisinden maksimum derecede faydalanmak için imkanlar elverdiği ölçüde güney tarafa pencere yerleştirilmelidir.

3.1.1.2.5 Kuzey Duvarı Koruması

Bir evin kuzey tarafı dış kabuk yüzeyinin en büyük ısı kayıp potansiyeline sahiptir, çünkü kışın çoğu aylarda direkt güneş ışığı almaz ve sürekli soğuk kış rüzgarlarına maruzdur. Kuzey duvarı için verimli bir işlem toprak korumasıdır. Kuzey duvarın bitişiğindeki toprak infiltrasyona karşı duvarları sızdırmaz yapar ve rüzgarı yapının üzerine saptırır. Toprak korumasının etkinliğindeki diğer faktör yeryüzü altındaki toprak tabakası sıcaklığının yıllar boyunca orta seviyelerde olmasıdır. Toprağın içine yapılan yapılar, toprak sıcaklığının en iyi avantajlarını gösterir.

Bir diğer önemli nokta kuzeye bakan duvar pencereleridir. Bir kuzey penceresi güneş kazançlarıyla kayıplarını karşılayamaz. Yapı yönetmelikleri ve estetiği kuzey camlarını tamamen yok etmeyi engelleyebilir, ancak sayıları ve boyutları en azından minimize edilmelidir. İyi yapılmış üç camlı pencereler yarı zamanlı pencere izolasyon malzemeleriyle birlikte kullanılmalıdır.

3.1.1.3 İzolasyon

İzolasyon evdeki iletimle ısı kaybını düşürmenin en önemli aracıdır. İzolasyon her biri özel bir amaç için dizayn edilmiş birçok şekilde sağlanır, bununla birlikte tüm izolasyon malzemelerinin ortak amacı ısı akışına yüksek bir direnç göstermektir. Evin dışarıya çıkış yolu üzerinden geçmek zorunda olan ısı daha fazla izolasyon malzemesiyle daha az ısı kaybeder; artan izolasyon ısı kaybını keser.

Teorik olarak çok iyi izole edilmiş bir ev yapılabilir ki, yapının toplam ısı kayıpları infiltrasyon kayıplarının da azaltıldığı göz önüne alınırsa tek başına iç kazançlarla karşılanabilir. Bunlar süper izolasyonlu evlerdir ve oldukça iyi performans gösterirler, ancak ekonomik performans tamamıyla farklı bir sorundur.

Güneş evleri iyi izolasyon seviyelerinden eşsiz bir kazanç elde eder. Daha fazla izolasyon daha az ısı kaybı verir ve bu nedenle ihtiyaç duyulan yedek ısıyı sağlamak için daha küçük cam alanına gerek duyulur. İzolasyon seviyesi ve güneş sistemi büyüklüğü arasında optimum denge temelde ekonomik bir sorundur.

3.1.1.4 Pencereler

Bir evin dizaynında yapılacak seçimlerin en kritik olanlarından biri pencerelerin seçimidir. Bir karar verilmeden önce bahsedilmesi gereken birkaç sorun vardır: bölge seçimi, maliyet, pasif güneş tipi, yaşam biçimi, estetik, kullanışlık ve cam tabakası malzeme tipi dikkate alınması gereken faktörlerdir.

Karar verilecek ilk husus cam tabakası sayısıdır. Pencereler tek, çift, üçlü veya hatta dörtlü mü olmalıdır? Tek camlı bir pencere ile pencerelere gelen güneş ışığından maksimum enerji kazanılabilir. Ancak, bu pencere tipinin iletimle ısı akışına direnci aynı oranda düşüktür.

İkinci bir cam tabakası eklendiği zaman çevreye kaybedilen enerji düşer, bununla birlikte bu güneş geçirgenliğinin düşmesine yol açar. Üçlü cam enerji kayıplarında daha fazla bir düşüş gösterir, fakat güneş enerjisinin içeriye girmesinde ek bir kayıp meydana getirir. Cam sayısının seçilmesinde maliyet, geçirgenlik ve ısı iletim katsayısı arasında bir optimizasyon yapılmalıdır.

İki pencerenin birlikte olduğu tek camlı bir pencere tipi hareketsiz bir hava boşluğu sağlar. Durgun hava ısıyı çok kötü iletir ve bu düzen iç ve dış sıcaklık arasında izolasyon değerini iyileştirir. Cam tabakaları arasındaki genişliğin dar olması hava sirkülasyonunun önlenmesi için önemlidir, çünkü hareketli hava taşınımından dolayı ısıyı iyi iletir.

Üçlü camlar artık ticari olarak üretilmektedir. Ekstra durgun hava boşluğu pencerenin izolasyon özelliklerini daha da geliştirir. Gece panjurları olmayan güneşe bakan pencerelerin uzun alanları için üçlü cam önerilir.

Önemli bir dizayn faktörü de cam olarak kullanılan malzemenin tipidir. Kullanılacak malzemenin ne olacağına karar verme maliyet, görünüm, dayanıklılık ve performansa bağlıdır. Cam tabakası, ısı, ışık ve hava bozulmasına dirençli, yüksek bir güneş iletimine sahip, kurulması ve kullanılması kolay olan ve göz alıcı olmalıdır.

Odanın ısıtılması için güneş toplama kışın istenilmesine rağmen, yazın istenilmez. Bir çatı sarkıtı kullanmak pencereye gelen direkt güneş ışığını engelleyerek yaz güneşinin neden olduğu birkaç problemi azaltmaya yardımcı olur. Bununla birlikte kış boyunca güneş gökyüzünde daha az görünür ve çatı sarkıtı güneş etkisini engellemez. Tenteler güneş

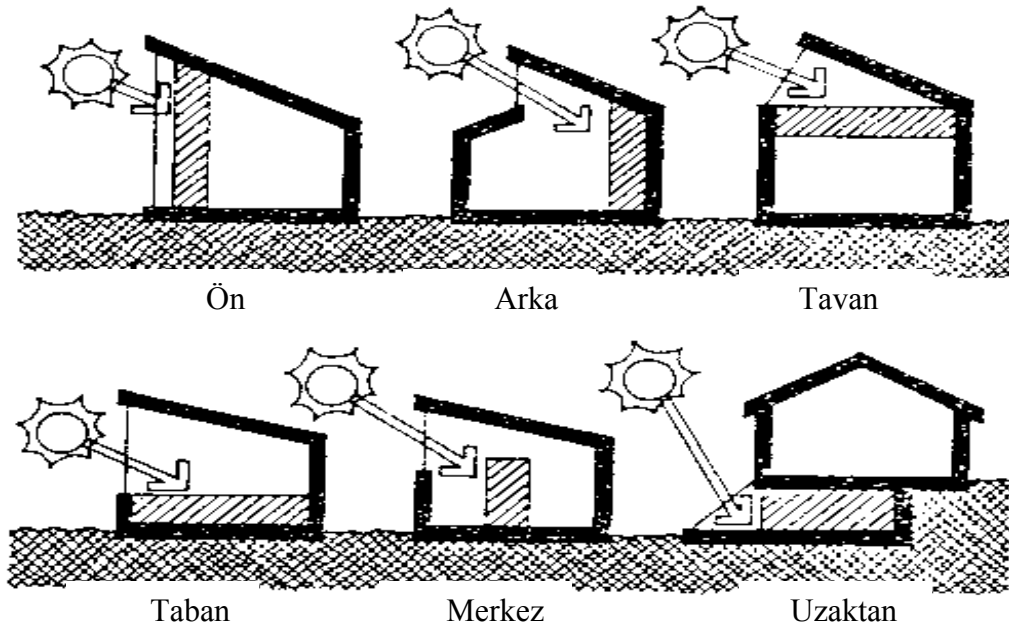
kontrolü için ayrı bir tekniktir. Hareketli tenteler özellikle ilkbahar ve sonbahar ayları boyunca faydalı olabilir.

İzolasyon panjurlarının kullanımı pencerelere ilave yalıtımın diğer bir yoludur. Panjurların iki ana tipi vardır: iç ve dış panjurlar. Kumaştan yapılan ve store adı verilen perdeler, ahşap veya PVC'den yapılan pencere iç ve dışına monte edilebilen koruma aparatları veya polistren malzemeden yapılmış hareketli pencere izolasyon malzemeleri bunlara örnek gösterilebilir. Panjurlar özellikle gece ısı kayıplarını düşürmede etkilidir ve ısı kaybını %25'e kadar düşürebilir.

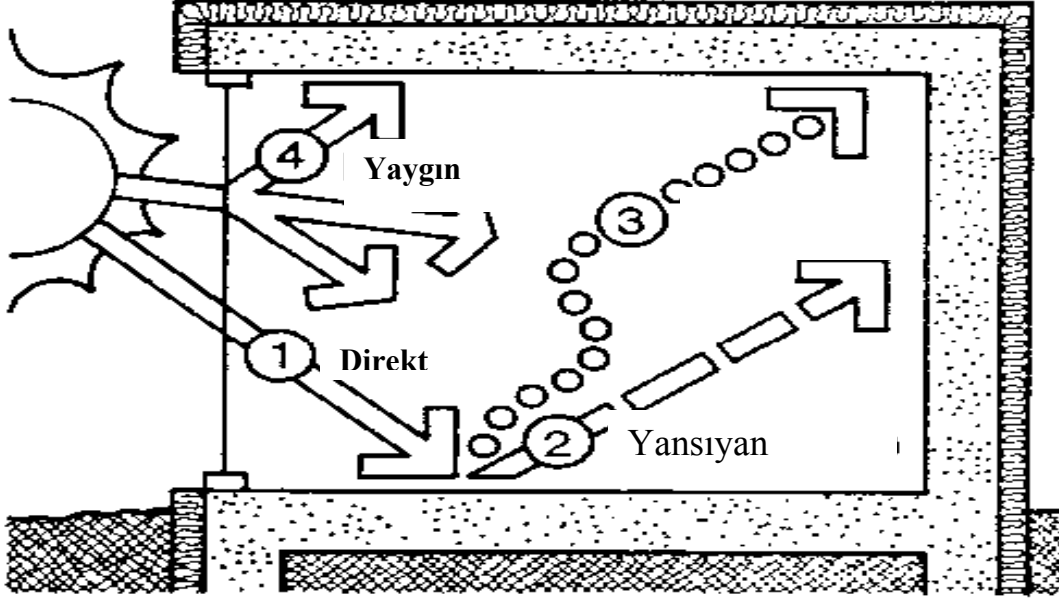
3.1.1.5 Kütle

Termal kütle bir pasif güneş evi dizaynının tamamlayıcı bir bileşenidir. Çünkü hava ısı için iyi bir depolama ortamı değildir. Eğer güneş ışınımını absorbe etmek ve depolamak için yetersiz termal kütle varsa bir evin aşırı ısınması gibi potansiyel bir problem vardır. Kütle tuğla, taş, kaya, toprak, su ve değişik fazdaki malzemelerden oluşabilir. Termal kütle güneş enerjisinin depolanması için yaşam alanlarına birkaç farklı şekilde yerleştirilebilir. (Şekil 3.3)

Binaya giren güneş enerjisi birkaç farklı yolla kütle tarafından absorbe edilebilir: bir kütle tarafından direkt absorbe edilebilir; bir kütle üzerine yansıtılabilir; güneşin ısıttığı iç hava uzaktaki, ısının absorbe edildiği depolama yerine ısıyı transfer edebilir; son olarak güneş ışığının yayılan bölümü ayrıca absorbe edilebilir.



Şekil 3.3 Farklı kütle yerleşimleri (Chen vd., 1980)



Şekil 3.4 Güneş ışınımının oda içindeki dağılımı (Chen vd., 1980)

Isının termal kütlede absorbe edilip yaşam alanlarına ulaşmak için aldığı zaman, planlama ve yerleşim konusunda dikkate alınması gereken bir parametredir. Örneğin, kalın bir yığma duvar etrafından ısının yaşam alanına ulaşması birkaç saat alabilir. Bu mesafe zamanı kullanılan malzeme ve onun kalınlığının bir fonksiyonudur.

Termal kütle olarak kullanılacak malzemelerin ana özellikleri yoğunluk, özgül ısı ve ısı geçirgenliğidir.

3.1.1.6 Havalandırma

Soğutma mevsimi boyunca üzerine verilen ilk önemin hava sirkülasyonu olmasına rağmen, kısmen farklı sebeplerle ısıtma mevsimi boyunca da hava hareketi önemlidir. Isınan hava yükseldiği için, odadaki en sıcak hava normal olarak tavana yakın bir yerdedir. Termostatlar tavan seviyesinin altına yerleştirildiği için, hava sıcaklığı termostat seviyesinde ölçülmektedir ve tavana yakın yerde sıcaklık daha yüksektir. Bu zorunlu kazan kullanımının daha büyük seçilmesi ile sonuçlanır.

Etkinliği maksimize etmek için bu hava katmanlarını dağıtmak gerekir. Tavan fanları katmanlaşma problemine bir çözüm getirirler.

Bir fan kullanımı enerji etkin gibi görünmezken, tipik bir tavan fanı, bir ısıtıcı blowerındaki 200-300 watt'lık tüketim ile karşılaştırıldığında, yüksek hız ayarlarında 75 watt ve düşük hızda 20 watt'lık elektrikten daha az tüketir. Fan daha uniform bir sıcaklığı koruyarak, oda havasıyla sıcak tavan havasını karıştırmaya ve yaymaya zorlar.

3.2 Pasif Isıtma Teknikleri

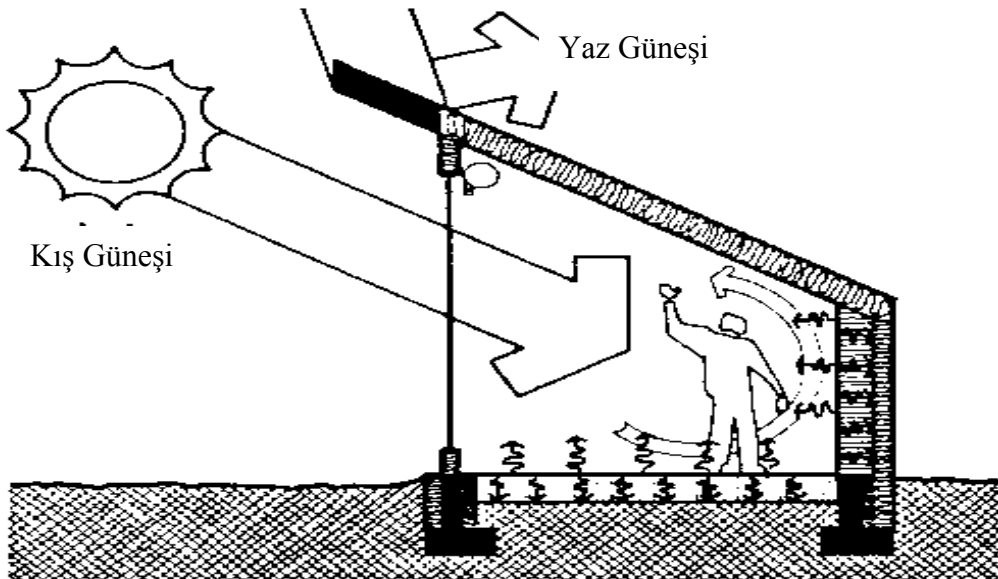
Bu bölümde 4 farklı pasif güneş ısıtma tekniği incelenecektir. Her bir pasif güneş ısıtma sisteminin özellikleri, avantajları ve dezavantajları detaylarıyla incelenmiştir. Bu bölümde tartışılan 4 pasif güneş enerji sistemi tekniği direkt kazanç, Trombe duvarı, güneş serası ve çatı havuzudur.

3.2.1 GPM

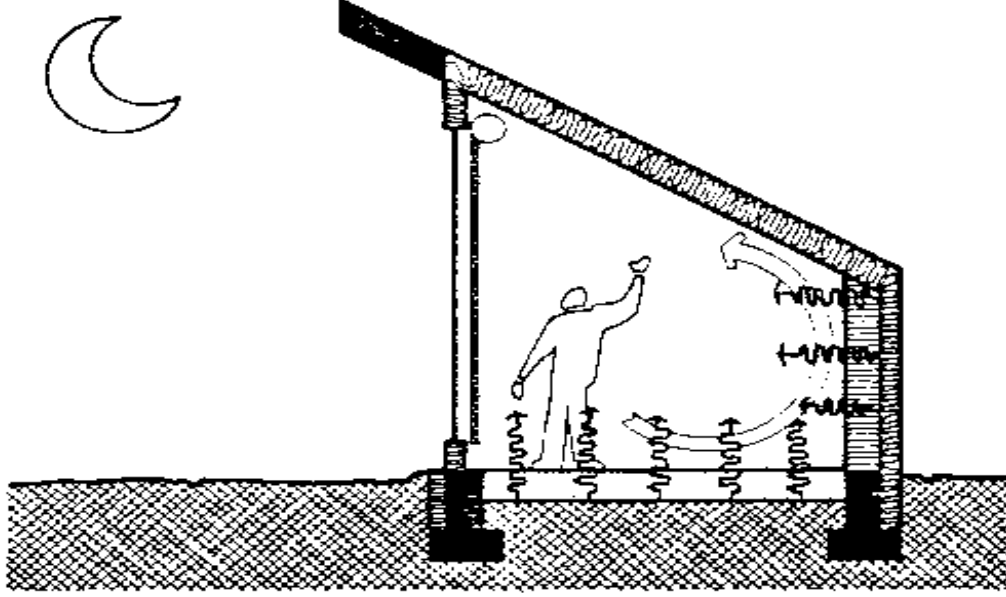
GPM tüm pasif güneş ısıtma sistemlerinin temelidir. G,P ve M cam (glass), geçiş (pass) ve kütlenin (mass) baş harflerini simgeler. Güneye bakan CAM etrafında toplanan güneş ışığından gelen ısı enerjisi, direkt kazanç veya dolaylı araçlarla yaşam alanlarına GEÇİRİlmelidir. Trombe duvarı, güneş serası, çift kaplama, termosifon ve çatı havuzu bir eve güneş enerjisi geçirmenin dolaylı metotlarıdır, çünkü onlar yaşam alanlarına girmeden önce güneş ışınlarını tutarlar. KÜTLE artan enerjiyi absorbe eder ve yaşam alanının aşırı ısınmasını engeller. Güneşsiz periyotlarda, termal kütle yaşam alanına depolanan enerjiyi geri bırakır.

3.2.2 Doğrudan (Direkt) Kazanç

Pasif güneş enerji konseptlerinin en basiti doğrudan kazanç sistemidir; eğer güneye bakan pencereleri varsa çoğu ev kısmen doğrudan kazanca sahiptir. Bir doğrudan kazanç sisteminde, güneş bir kollektör görevi yapan alana direkt olarak ışık saçar. İlk olarak oda havası ısıtılır. Daha sonra korumasız duvarlar, tabanlar ve diğer ısıtılabilir kütle güneş ve sıcak hava tarafından ısıtılır. Yeterli kütle olmadan, yaşam alanları aşırı ısınmaya başlar ve önemli sıcaklık dalgalanmalarına maruz kalır.



Şekil 3.5 Direkt kazanç sisteminin gün boyunca çalışma sistemi (Chen vd., 1980)



Şekil 3.6 Direkt kazanç sisteminin gece boyunca çalışma sistemi (Chen vd., 1980)

Doğrudan Kazanç Özellikleri

Avantajları:

1. Doğrudan kazanç yapılacak en az maliyetli pasif güneş enerji sistemidir.
2. Doğrudan kazanç bir yapıya dahil etmesi ve uygulaması en kolay pasif güneş enerji tekniğidir.
3. Doğrudan kazanç sistemleri güneş enerjisi kazanımı için çok fazla termal kütle gerektirmez.

Dezavantajları:

1. Güneşli periyotlarda kabul edilmez bir parlaklık oluşur.
2. Eğer panjurlar kullanılmazsa bir mahremiyet problemi olabilir.
3. Doğrudan güneş ışığı malzemelerin, kumaşların ve sanat eserlerinin kızılötesi bozunmalarına sebep olabilir.
4. Oldukça büyük sıcaklık dalgalanmaları günlük bir dönem boyunca meydana gelebilir.
5. Güney camları etrafında kabul edilemez gece kayıpları olabilir. Gece izolasyonlu çift veya üçlü cam ve gece izolasyonsuz dörtlü cama kuzey iklimlerde ihtiyaç duyulur.

Diğer Faktörler

1. Gece ısı kayıplarını düşürmek için gece panjurları veya hareketli izolasyon kullanılmalıdır.
2. Kuzeyde yer alan bölgelerde, camlar arasında hava boşluğu olan üçlü veya dörtlü camlar iletim kayıplarını indirmek için kullanılmalıdır.

3. Termal kütleye kaplanan halı ve duvar kağıtları minimum seviyede tutulmalıdır. Aksi takdirde kabul edilemez sıcaklık sapmaları ortaya çıkabilir.
4. Isının daha iyi dağıtılması için bir miktar yansıma arzu edilebilmesine rağmen, toplam güneşli alan için ortalama güneş absorpsiyonu 0.5'in altına düşmemelidir (Chen vd., 1980). Çizelge 3.1'de farklı renkler için tipik güneş absorpsiyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Güneş ışıını absorpsiyon değerleri (Chen vd., 1980)

Mat siyah boya	0,98
Siyah beton	0,91
Koyu kayverengi boya	0,88
Kahverengi beton	0,84
Kırmızı tuğla	0,70
Boyanmamış beton	0,65
Sarı boya	0,57
Açık yeşil boya	0,47
Yarı parlak beyaz	0,30
Parlak beyaz	0,25
Alüminyum kaplama	0,15
Yansıtıcı plaka	0,12

3.2.3 Trombe Duvarı (Termal Depolama Duvarı)

Felix Trombe olarak adlandırılan Trombe duvarı, ayrıca bir termal depolama duvarı olarak ifade edilebilir. Binanın içinde yer alan termal kütle yerine, doğrudan kazançlı bir sistemdeki gibi, termal kütle güney camının hemen arkasına yerleştirilir. Cam etrafından geçen güneş ışığı termal kütle duvarına çarpar ve güneş enerjisinin çoğu, kütle tarafından absorbe edilir. Bu enerji, iletim yoluyla kütle duvarından geçer ve taşınım ve ışıını yoluyla yaşam alanına yayılır.

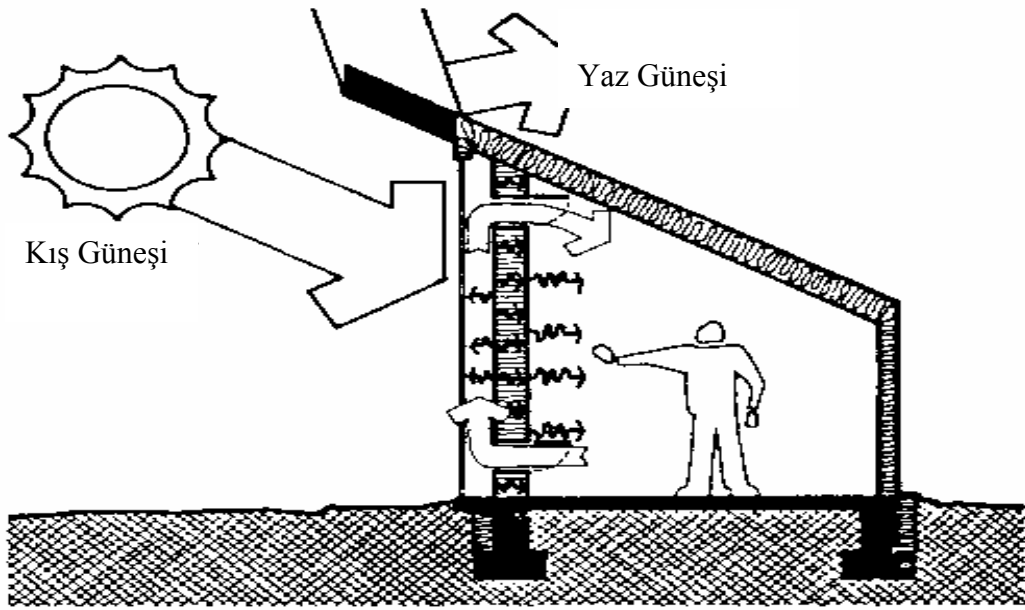
Termal kütle etrafından enerji transferi birkaç saat alabilir. Bu gecikme iki yolla karşılanabilir: 1) Kütle duvarının alt ve üstüne yerleştirilen havalandırma açıklıkları, güneş ortaya çıktığında sıcak havanın yaşam alanlarına girmesine izin veren bir doğal taşınım yolu sağlar, ve 2) Kütle duvarında bir pencere olması güneş ışığının alanlara doğrudan girmesini sağlar.

Su, diğer yapı malzemelerinden yaklaşık iki kat daha fazla ısı kapasiteye sahip olduğundan, ısı depolayıcı duvar olarak içi su dolu metal kapların kullanılması durumunda daha fazla ısı

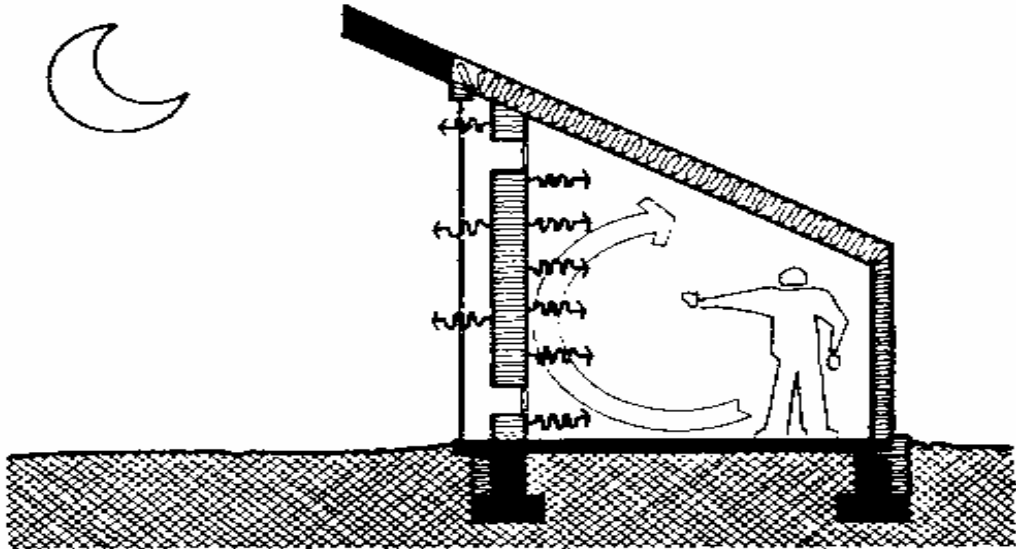
absorbe edilebilir. Ayrıca, su dolu kaplar içerisinde meydana gelen sirkülasyon nedeniyle sıcak yüzeyden soğuk yüzeye olan ısı transferi hızlanacağından, ısıtım alan yüzeyin aşırı ısınması sonucu dışarıya olan ısı kaybı azalacak ve yaşam alanlarına daha kısa sürede ısı geçişi sağlanabilecektir.

Trombe duvarında ısı performansının iyileştirilmesi için dikkat edilmesi gereken en önemli husus gece yalıtımıdır.

Trombe duvarının uygulaması yapılırken, güneş ışıınının çarptığı yani dışarıya bakan taraf yüksek emisiteden dolayı mutlaka siyaha boyanmalıdır.



Şekil 3.7 Trombe duvarının gün boyunca çalışma sistemi (Chen vd., 1980)



Şekil 3.8 Trombe duvarının gece boyunca çalışma sistemi (Chen vd., 1980)

Trombe Duvarı Özellikleri

Avantajları

1. Havalandırmasız termal kütle duvarları, diğer pasif ısıtma sistemleriyle karşılaştırıldığında yaşam alanlarının en dengeli sıcaklık dağılımını sağlar.
2. Kütle duvarı, binanın yapısal bir elemanı olarak hizmet edebilir.
3. Duvar malzemesinin tipi ve kalınlığına bağlı olarak, birkaç saatlik termal gecikme meydana gelebilir. Bu, eğer trombe duvarının ısı sağladığı alanın gece saatleri boyunca en sık kullanılan alan olması durumunda arzu edilebilir.
4. Kızılötesi ışınların sebep olduğu kumaş bozulması ve göz alıcı ışık problemleri düşürülebilir veya ortadan kaldırılabilir.
5. Tuğla, taş, beton, su gibi farklı malzeme çeşitleri termal kütle olarak kullanılabilir.
6. Ticari olarak yapılmış termal kütle duvarları, modüler yapı elemanları olarak kullanılabilir.

Dezavantajları

1. Termal kütle duvarları dış görünüşü engelleyebilir.
2. İlave maliyetler termal kütle duvarlarının yapımı ve kurulumuyla ortaya çıkabilir.

Güneşsiz periyotlar boyunca odadan pencere camlarına sıcak havanın geri akışını önlemek için havalandırmalar kapatılmalıdır. Bunun için bir otomatik kontrol sistemi düşünülebilir.

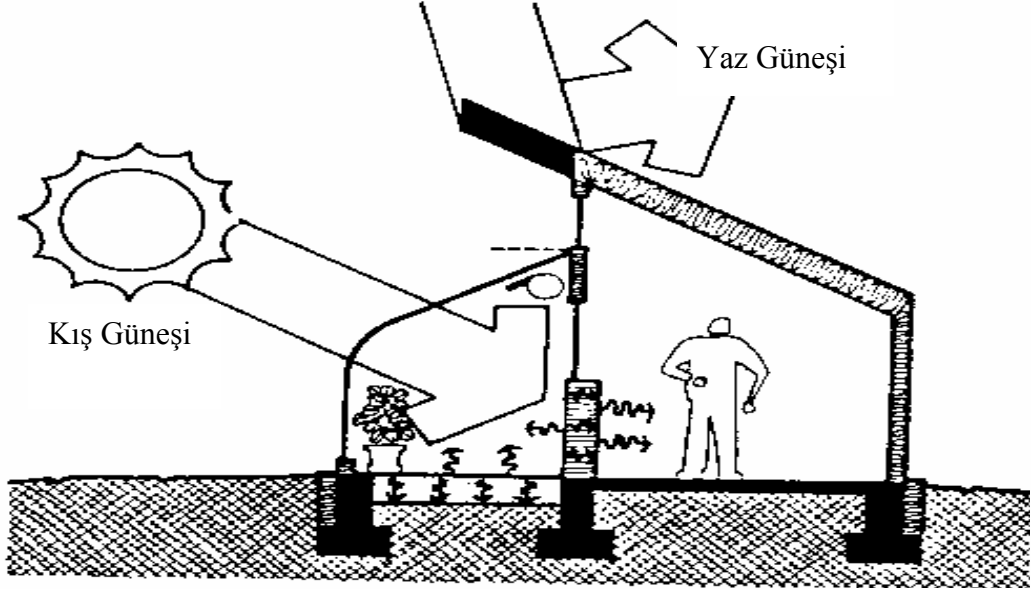
Diğer Faktörler

1. Gece ısı kayıplarını düşürmek için gece panjurları veya hareketli izolasyon kullanılmalıdır.
2. Seçici yüzey kaplamaları/örtüleri Trombe Duvarının dış yüzüne uygulanmalıdır. Bu kaplamalar cama duvar arkasından gelen ısı yayılımını azaltacaktır.
3. Yansıtıcılar termal kütleye çarpan güneş enerjisi miktarını artırmak için kullanılabilir.
4. Sarkıtlar veya cam yüzeyi gölgelikleri yaz ayları boyunca temin edilmelidir.
5. Kütle duvarı eğer havalandırmalara sahipse, camın iç yüzeyinin temizliğine ayrıca dikkat edilmelidir.

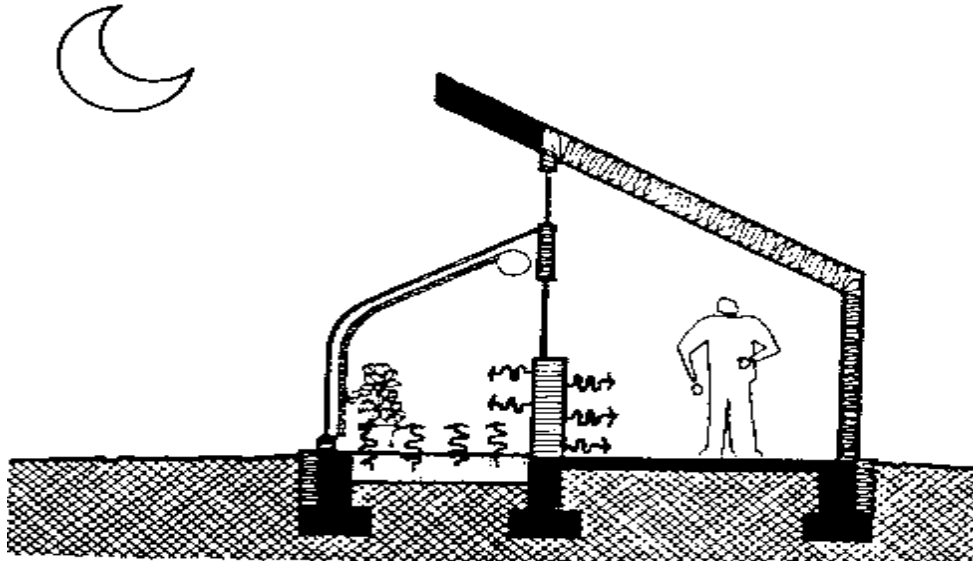
3.2.4 Güneş Odaları (Kış Bahçeleri)

Güneş odası, en popüler pasif güneş ısıtma tekniklerinden biridir. Kış güneşi, yaşam alanı ve güneş odası arasındaki ortak duvar üzerine seranın güney camından ışık saçar. Isı, bir Trombe duvarında olduğu gibi duvar etrafından geçer ve yaşam alanlarına yayılır. Havalandırmalar, açılabilir pencereler ve güneş odası ve yaşam alanı arasındaki ortak duvara yerleştirilen

kızaklı cam kapılar yaşam alanlarını doğrudan ısıtmak için bir imkan sağlar. Güneş odasındaki kütle, güneş odasında 24 saatlik bir periyot boyunca sıcaklık dalgalanmalarını düşürmeye yardımcı olur. İzolasyon perdelerinin kullanımı günışığı saatleri boyunca tutulan enerjiyi kaybetmemek için önerilir, özellikle eğer dondurucu sıcaklıklar gece boyunca güneş odasında istenilmezse. Çevre izolasyonu, kayıpları düşürmek için güneş odasının tabanları altına yerleştirilmelidir.



Şekil 3.9 Güneş odalarının gün boyunca çalışma sistemi (Chen vd., 1980)



Şekil 3.10 Güneş odalarının gece boyunca çalışma sistemi (Chen vd., 1980)

Bitişik Güneş Odaları Özellikleri

Avantajları

1. Güneş odası, dış çevre şartları ve iç yaşam alanları arasında bir tampon olarak hizmet edebilir.
2. Güneş seraları olarak dizayn edilen güneş odaları çiçek, bitki ve sebzeleri büyütmek için kullanılabilir.
3. Güneş odaları, yaşam alanlarının uzantıları olarak kullanıldığında estetik bir odak noktası olarak hizmet edebilir.
4. Mevcut binalar bitişik güneş odalarıyla uyarlanabilir.
5. Güneş odaları, siyaha boyanan sıralı bir tankın kullanımıyla ön ısıtılmış suyu sağlamak için yararlanılabilir.

Dezavantajları

1. Bir güneş serasının yapım maliyetleri diğer pasif güneş ısıtma metotlarıyla karşılaştırıldığında oldukça yüksek olabilir.
2. Isıl performansın, dizayndaki birçok çeşitlilik yüzünden tam olarak hesaplanması zor olabilir.
3. Nem (yoğunlaşma), CO₂ seviyeleri, böcek istilasası, kanalizasyon, su tedariki ve sıcaklık dalgalanması, güneş odası sera olarak kullanıldığında dikkate alınmalıdır.
4. Gece panjurları ve/veya hareketli izolasyona, bitkilerin yaşamını garanti altına almak için donma noktası üzerindeki gece sıcaklıklarını devam ettirmek için gerek duyulabilir. Ayrıca yardımcı ısıtma gerekebilir.

3.2.5 Çatı Havuzları

Bir çatı havuz sisteminde, su yapının çatısına yerleştirilen bir film kaplamasının içinde depolanır. Gün boyunca, panjurlar çatı boşluğuna güneş ışığının girmesine izin vermek için açılır ve suyu ısıtır. Geceleyin, panjurlar kapatılır ve çatı havuzundan eve ısı transfer edilir. Yaz boyunca, işlem tersine döner: panjurlar gün boyunca kapatılır ve su evden ısı emer; geceleyin, panjurlar ısının gökyüzüne yayılmasına izin vermek için açılır.

Avantajları

1. Çatı havuzları, yazın gece gökyüzüne yayılma yoluyla pasif soğutmayı sağlayabilir.

Dezavantajları

1. İlave yüklerin bina tarafından desteklenmesi gerektiğinden, bir yapı mühendisliği hizmeti alınması önerilir.

4. PASİF SİSTEMLERİN TEORİK ANALİZİ

Bu bölüm, bir pasif güneş evinin yıllık enerji performansını belirlemek için gerekli olan tasarım hesaplamalarını sağlayacaktır. Bu çalışmada pasif güneş enerjisi sistemlerinden sadece direkt kazanç ve trombe duvar sistemini analiz hesaplamaları yapılacaktır.

Bu hesaplamaların esas amacı bir evin ısı ihtiyacının ne olduğu, bu ihtiyacın ne kadarının güneş enerjisinden pasif yolla karşılanabileceği ve güneş tasarımı yapılmamış bir ev ile karşılaştırmadır.

Hesaplama yöntemi 3 ana bölümden oluşur:

- 1) Yıllık Isıtma İhtiyacı
- 2) Güneş Enerjisinden Yararlanma Oranı (SSF)
- 3) Evin Yıllık Net Yardımcı Isı Enerjisi İhtiyacı

Hesaplama süreci bir güneş evi dizaynı ile başlar. Bina dizaynında öncelikli konu ekonomikliklerdir. Sistem üzerine yapılacak her iyileştirme ek bir ekonomik yük getirecektir. Bu yüzden yukarıda anlatılanlar ışığında güneş performansını etkileyen birçok dizayn faktörü olsa da öncelikle yapının bulunduğu coğrafyaya bağlı olarak bina maksimum güneş alacak şekilde konumlanmalı, ekonomik faktörlere bağlı olarak optimum ısı izolasyonu yapılmalı ve termal kütlelerin yeri ısıнын toplanması ve dağıtılması mükemmel olacak şekilde tespit edilmelidir. Binanın performansı hesap edildiğinde beklenen düzeyde değilse yapılacak tek şey bina dizaynında yapılacak iyileştirme olacaktır.

Binaların güneş performansını belirleyen hesap metoduna geçmeden önce ısıtma periyodu boyunca binaya gelen ve binada absorbe edilen güneş enerjisinin belirlenmesi gerekmektedir.

4.1 Isı Kazancı Olarak Camdan Geçen Toplam Güneş Işınımının Hesaplanması

Yeryüzüne gelen güneş ışıını çok sayıda faktöre bağlıdır. Bu faktörler:

- a. Astronomik faktörler (Güneş sabiti, dünya-güneş mesafesi, deklinasyon açısı, saat açısı)
- b. Coğrafi faktörler (Enlem, boylam ve deniz seviyesinden yükseklik)
- c. Geometrik faktörler (Yüzeyin azimut açısı, yüzeyin eğimi, güneş yükseklik açısı ve güneş azimut açısı)
- d. Fiziksel faktörler (Hava moleküllerinin yayması, atmosferdeki su buharı miktarı, tozların yayması, ozon ve karbondioksitin yutması)
- e. Yerel faktörler (Bulutların tesiri, iklim özellikleri ve çevrenin yansıtması)

olarak sıralanabilir. Bu faktörlerin etkilerini teorik olarak hesaplamak oldukça güçtür. Bu nedenle hesaplamalarda genellikle ölçülen güneş ışıını verilerinden yararlanarak geliştirilen ampirik bağıntılar kullanılmaktadır (Yılmaz vd., 1996)

Literatürde camdan geçen güneş ışıını gösteren tablolar mevcuttur. Bu tablo değerleri bazı şartlar için hazırlanmıştır. Türkiye’de 40^0 enlem için hazırlanmış tablo değerleri tüm şehirler için kullanılmaktadır. Fakat Türkiye’deki şehirler $36-42^0$ kuzey enlemleri arasında kalmaktadırlar ve değişik iklimlere sahiptirler. Dolayısıyla camdan geçen güneş ışıını miktarının hassas olarak hesaplanması gerekir. Bu amaçla camdan geçen toplam güneş ışıını miktarının istenen yer ve zamanda hesaplanması için eşitlikler verilmiştir. Camdan geçen saatlik güneş ışıını miktarının hesaplanması için gerekli olan bu eşitlikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

4.1.1 Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işıını

Yıl boyunca istenen herhangi bir gün için yatay bir düzleme gelen toplam ışıını,

$$\overline{H} = \overline{H}_{ort} - FGI.Cos\left[\left(\frac{2\pi}{365}\right)(n + FKI)\right] \quad (\text{MJ/m}^2.\text{gün}) \quad (4.1)$$

eşitliği ile hesaplanır (Ünal vd., 1986). $\overline{H}_{ort}$ ($\text{MJ/m}^2.\text{gün}$) günlük toplam ışıının yıllık ortalaması, FGI ışıını fonksiyon genliği, FKI ışıını fonksiyon faz kayması ve n de 1 Ocaktan itibaren yılın günlerini göstermektedir. Çizelge 4.1’de Türkiye’deki bazı şehirler için bu parametrelerin değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1 Yatay düzleme gelen toplam güneş ışınlımı için fonksiyon parametreleri (A. Ünal vd., 1986)

Şehir	$\overline{H}_{ort}$ MJ/m ² .gün	FGI Mj/m ² .gün	FKI	Enlem
Adana	12,6	6,58	-1,52	36,59
Ankara	14,3	8,81	1,78	39,57
Bursa	11,0	6,95	1,12	40,11
Çanakkale	12,7	8,12	4,26	40,08
Diyarbakır	13,4	7,74	6,12	37,55
Elazığ	13,4	8,29	2,35	38,40
Erzincan	12,3	6,90	2,46	39,44
Gaziantep	14,3	7,79	2,13	37,05
Hakkari	15,8	7,52	6,95	37,50
İstanbul	12,0	7,84	5,67	40,58
İzmir	11,4	6,48	3,50	38,24
Kars	13,2	6,47	8,52	40,36
Kastamonu	11,2	7,01	5,37	41,22
Konya	13,1	7,36	4,72	37,52
Muğla	13,6	7,35	1,37	37,12
Samsun	10,3	6,73	5,94	41,17
Tokat	12,5	7,76	6,19	40,00
Trabzon	9,85	5,47	13,2	41,00
Şanlıurfa	18,5	9,00	4,00	37,08
Uşak	11,5	6,15	3,15	38,40
Van	16,4	7,98	5,48	38,28

4.1.2 Yatay Düzleme Gelen Günlük Yaygın Işınım

Yatay düzleme gelen günlük yaygın güneş ışınlımı $\overline{H}_d$ (MJ/m².gün), Liu ve Jordan (1960) modelinden bulunur:

$\omega_s \leq 81,4^0$ ve $0,3 \leq \overline{K}_T \leq 0,8$ için;

$$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 1,391 - 3,560\overline{K}_T + 4,189\overline{K}_T^2 - 2,137\overline{K}_T^3 \quad (4.2)$$

$\omega_s > 81,4^0$ ve $0,3 \leq \bar{K}_T \leq 0,8$ için;

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1,311 - 3,022\bar{K}_T + 3,427\bar{K}_T^2 - 1,821\bar{K}_T^3 \quad (4.3)$$

Burada, ω_s gün batımı saat açısı olup aşağıdaki bağıntı ile bulunur:

$$\omega_s = \arccos(-\tan d \cdot \tan e) \quad (4.4)$$

Bu denklemdeki “ e ” enlem açısı ve “ d ” deklinasyon açısı olup aşağıdaki bağıntı ile bulunur:

$$d = 23,45 \cdot \sin \left[\left(\frac{360}{365} \right) \cdot (n + 284) \right] \quad (4.5)$$

$\bar{K}_T$ ise günlük ortalama berraklık indeksi olup aşağıdaki denklem ile bulunur:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (4.6)$$

Burada $\bar{H}_0$ yatay düzleme gelen günlük atmosfer dışı güneş ışıınımı olup aşağıdaki bağıntı ile bulunur (Duffie ve Beckman, 1980):

$$\bar{H}_0 = \frac{24 \cdot I_s}{\pi} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360}{365} \cdot n \right) \right] \left(\cos d \cdot \cos e \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_s \cdot \sin d \cdot \sin e \right) (\text{MJ/m}^2 \cdot \text{gün}) \quad (4.7)$$

Bu eşitlikteki I_s güneş sabiti olup 1367 W/m^2 ’dir (Duffie ve Beckman, 1980).

4.1.3 Eğimli Yüzeye Gelen Günlük Yaygın Işıınım

Eğimli yüzeye gelen günlük toplam yaygın ışıınım Liu ve Jordan (1960) modelinden aşağıdaki gibi bulunur:

$$\bar{H}_{de} = \bar{H}_d \cdot \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (\text{MJ/m}^2 \cdot \text{gün}) \quad (4.8)$$

Burada β yüzey eğim açısıdır.

4.1.4 Eğimli Yüzeye Gelen Günlük Direkt Işınım

İzotropik model olarak Liu ve Jordan (1960) modelinde eğik düzleme gelen direkt ışınlam ;

$$\overline{H}_{be} = \overline{H}_b \cdot \overline{R}_b \quad (\text{MJ/m}^2 \cdot \text{gün}) \quad (4.9)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada $\overline{R}_b$ günlük direkt ışınlam dönüşüm katsayısı olup;

$$\overline{R}_b = \frac{\left[\sin d \cdot \sin e \cdot \cos \beta \cdot \frac{\pi}{180} \cdot (\omega_{s2} - \omega_{s1}) - \sin d \cdot \cos e \cdot \sin \beta \cdot \cos a \cdot \frac{\pi}{180} \cdot (\omega_{s2} - \omega_{s1}) + \right.}{2 \left[\cos d \cdot \cos e \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_s \cdot \sin d \cdot \sin e \right]} \cdot \left[\cos d \cdot \cos e \cdot \cos \beta \cdot (\sin \omega_{s2} - \sin \omega_{s1}) + \cos d \cdot \sin e \cdot \sin \beta \cdot \cos a \cdot (\sin \omega_{s2} - \sin \omega_{s1}) - \cos d \cdot \sin \beta \cdot \sin a \cdot (\cos \omega_{s2} - \cos \omega_{s1}) \right] \quad (4.10)$$

olarak elde edilir (Kılıç ve Öztürk, 1983). Burada, a düzlemin azimut açısı, β düzlemin eğim açısı ve ω_{s1} ve ω_{s2} güneş ışınlarının düzleme ilk ve son geliş açıları olup güneye dönük eğik yüzey için aşağıdaki gibi bulunur (Kılıç ve Öztürk, 1983):

Deklasyon açısı $d < 0$ için $\omega_{s1} = -\omega_s$ ve $\omega_{s2} = \omega_s$

Deklasyon açısı $d > 0$ için $\omega_{s1} = -\omega_s'$ ve $\omega_{s2} = \omega_s'$

$$\omega_s' = \arccos[-\tan d \cdot \tan(e - \beta)] \quad (4.11)$$

$\overline{H}_b$ ise yatay düzleme gelen günlük direkt güneş ışınlamı olup yatay düzleme gelen toplam ışınlam ile yaygın ışınlamın farkıdır:

$$\overline{H}_b = \overline{H} - \overline{H}_d \quad (\text{MJ/m}^2 \cdot \text{gün}) \quad (4.12)$$

4.1.5 Eğimli Yüzeye Gelen Günlük Yansıyan Işınım

Eğik düzleme gelen günlük yansıyan güneş ışınlamı ise;

$$\overline{H}_{re} = \rho_g \cdot \overline{H} \cdot \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \quad (\text{MJ/m}^2 \cdot \text{gün}) \quad (4.13)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır (Duffie ve Beckman, 1980). Burada ρ_g çevre yansıtma oranı olup genellikle 0,2 olarak kabul edilmektedir (Yılmaz vd., 1996).

4.1.6 Eğimli Yüzeye Gelen Günlük Toplam Işınım

Eğimli yüzeye gelen günlük toplam güneş ışınlamı direkt, yaygın ve yansıyan ışınlamaların toplamıyla hesaplanır:

$$\overline{H}_T = (\overline{H} - \overline{H}_d) \overline{R}_b + \overline{H}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \overline{H} \cdot \rho_g \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (\text{MJ/m}^2 \cdot \text{gün}) \quad (4.14)$$

4.1.7 Günlük Güneş Işınımı Verilerinden Saatlik Işınım Verilerinin Tahmini

Herhangi bir yerdeki meteorolojik istasyonlardan alınan aylık ortalama ışınlam verilerini kullanarak elde edilen günlük yatay düzlem üzerine gelen toplam güneş ışınlamının gün içindeki dağılımının istatistiksel çalışmaları sonucunda gün uzunluğu ve istenilen saatin fonksiyonu olarak saatlik toplam güneş ışınlamının günlük toplam güneş ışınlamına oranı r_t diyagramları geliştirilmiştir:

$$r_t = \frac{I}{H} \quad (4.15)$$

r_t , Collares-Pereira ve Rabl (1979) tarafından istenilen zamandaki derece cinsinden saat açısı ω ve gün batımı saat açısı ω_s 'ye bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile formülize edilmiştir:

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cdot \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (4.16)$$

Buradaki a ve b katsayıları aşağıdaki denklem ile bulunur:

$$a = 0,409 + 0,5016 \cdot \sin(\omega_s - 60) \quad (4.17)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \cdot \sin(\omega_s - 60) \quad (4.18)$$

Yaygın ışıının dönüşüm katsayısı, diğeri bir ifade ile saatlik yaygın ışıının günlük ortalama yaygın ışıına oranı r_d ise Liu ve Jordan (1960) tarafından aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir:

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} \quad (4.19)$$

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (4.20)$$

4.1.8 Camdan Geçen ve Bina Tarafından Absorbe Edilen Toplam Güneş Işını

Pasif güneş ısıtma sisteminde, camdan oda boşluğuna giren güneş ışıını zemin ve duvarlar tarafından yutulur ve yansılır. Bu yutma ve yansıtma oranı malzemeye ve güneş ışıının geliş açısına bağıdır. Camdan mahal içine giren ve duvarlar tarafından absorbe edilen günlük güneş ışıını aşağıdaki bağıntı ile bulunur (Duffie ve Beckman, 1980):

$$\bar{S} = \bar{H}_{be} \cdot (\overline{\tau\alpha})_b + \bar{H}_{de} \cdot (\overline{\tau\alpha})_d + \bar{H}_{re} \cdot (\overline{\tau\alpha})_r \quad (\text{MJ/m}^2 \cdot \text{gün}) \quad (4.21)$$

Burada $(\tau\alpha)_b$, $(\tau\alpha)_d$ ve $(\tau\alpha)_r$ sırasıyla camın direkt, yaygın ve yansıyan ışıındaki geçirgenlik katsayısı ile duvarların direkt, yaygın ve yansıyan ışıındaki yutma katsayısının çarpımıdır.

Direkt kazançlı pasif güneş ısıtma sisteminde odanın etkili geçirme-yutma katsayısı Duffie-Beckman (1980) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$(\tau_a\alpha)_{\text{eff}} = \tau_a \cdot \alpha_i / [\alpha_i + (1 - \alpha_i) \cdot \tau_d \cdot A_a / A_i] \quad (4.22)$$

Burada;

τ_a = Camın güneş ışıını geçirgenlik katsayısı

α_i = İç yüzeylerin yaygın ışıındaki yutma katsayısı

τ_d = Camın yaygın ışıındaki geçirgenlik katsayısı

A_a = Cam alanı

A_i = İç yüzeylerin alanı

Bu denklemden α_{eff} bulunarak oda içinde yutulan günlük güneş ışıınımlı aşağıdaki bağıntı ile bulunur:

$$\bar{S} = \bar{H}_{be} \cdot \bar{\tau}_b \cdot \alpha_{eff} + \bar{H}_{de} \cdot \bar{\tau}_d \cdot \alpha_{eff} + \bar{H}_{re} \cdot \bar{\tau}_r \cdot \alpha_{eff} \quad (\text{MJ/m}^2 \cdot \text{gün}) \quad (4.23)$$

Belirli bir güneş geliş açısında geçirgenlik katsayısı aşağıdaki denklemler takip edilerek bulunur (Duffie ve Beckman, 1980):

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1\right) \quad (4.24)$$

$$r_1 = \frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (4.25)$$

$$r_2 = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (4.26)$$

$$\tau_p = \frac{1}{2} \left[\frac{1 - r_2}{1 + (2N - 1)r_2} + \frac{1 - r_1}{1 + (2N - 1)r_1} \right] \quad (4.27)$$

$$\tau_a = \exp\left(-\frac{KL}{\cos \theta_2}\right) \quad (4.28)$$

$$\tau = \tau_p \tau_a \quad (4.29)$$

Burada;

θ_1 : Güneş geliş açısı olup yaygın ve yansıyan ışıınımlı için eğim açısına bağılı olarak aşağıdaki denklem ile bulunur (Brandemuehl ve Beckman, 1980):

$$\theta_d = 59,7 - 0,1388\beta + 0,001497\beta^2 \quad (4.30)$$

$$\theta_r = 90 - 0,5788\beta + 0,002693\beta^2 \quad (4.31)$$

Direkt ışınlımda ise aylara, enleme, yüzey eğim ve azimut açısına bağlı olarak geliş açısı Şekil 4.1'den bulunabilir.

θ_2 : Camda kırılarak yönü değişen güneş ışınlımının kırıldıktan sonra yüzey normali ile yaptığı açı,

n_1 ve n_2 : Atmosfer ve camın güneş spektrumundaki ortalama kırılma indisi, (Dış hava için 1 ve cam için 1,526 (Duffie ve Beckman, 1980) alınabilir.)

N : Cam sayısı,

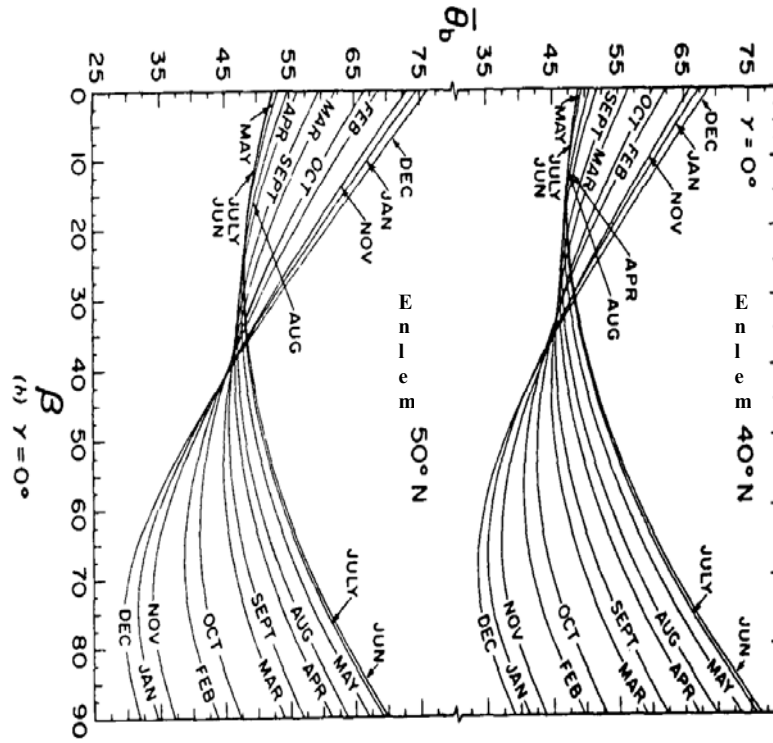
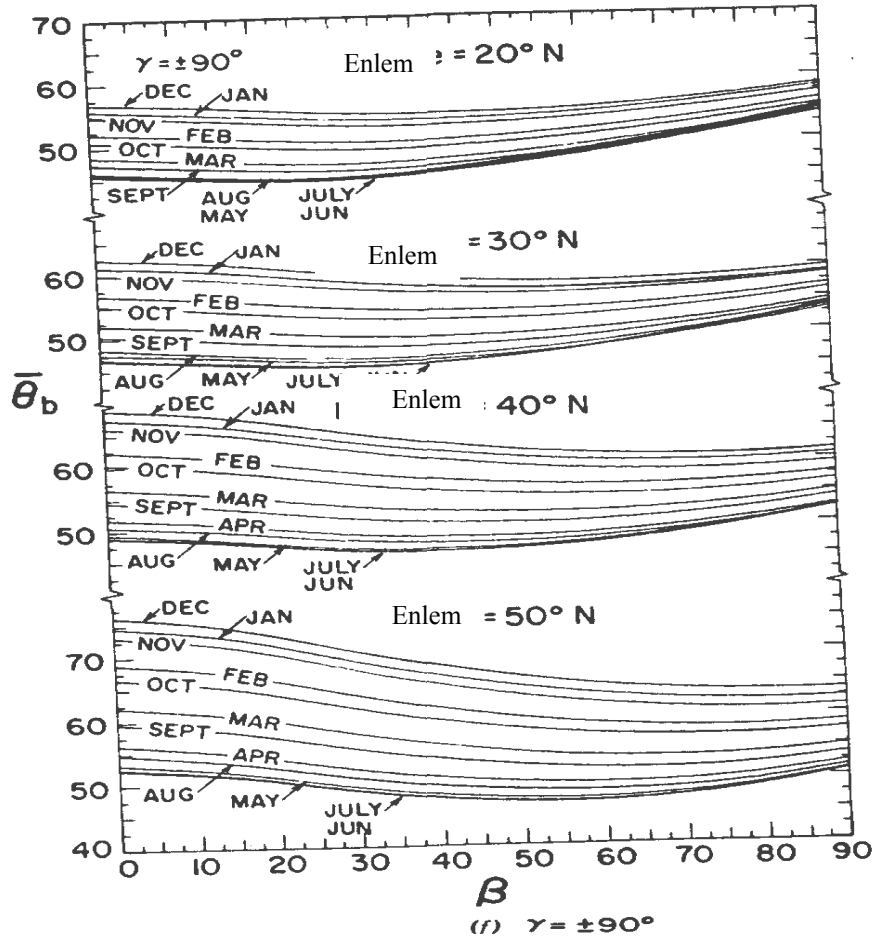
r_1 ve r_2 : Polarize olmamış ışınlımın dikey ve yatay bileşeni,

τ_p : Camın polarize olmamış ışınlımdaki geçirgenlik katsayısı,

K : Camın sönümleme katsayısı,

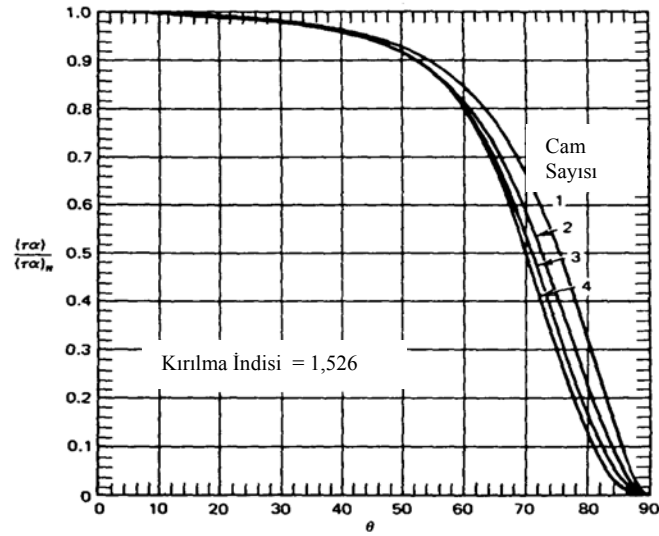
L : Cam kalınlığı (m),

τ_a : Camın güneş ışınlımı geçirgenlik katsayısıdır.



Şekil 4.1 Yüzey eğim açısı ve yöne bağlı olarak aylık ortalama direkt güneş ışınlamı geliş açısı (Klein, 1979)

Trombe duvarında cam ve duvarın direkt, yaygın ve yansıyan ışıınımdaki geçirme-yutma oranının bilinmesi gerekmektedir. Bu üç oranın bilinmesi için cam normalinin tam güney doğrultusundan sapma açısındaki geçirgenlik katsayısı (4.29) denkleminde bulunur ve duvarın yutma oranı ile çarpılarak $(\tau\alpha)_n$ elde edilir. Daha sonra camın eğim açısına bağlı olarak (4.30) ve (4.31) denklemlerinden camın yaygın ve yansıyan ışıınımdaki etkili güneş geliş açısı bulunur. Bu geliş açısında Şekil 4.2'ten $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ okunur ve bu değer $(\tau\alpha)_n$ ile çarpılarak $(\tau\alpha)_d = (\tau\alpha)_r$ bulunur. Direkt ışıınımda ise aylara, enleme, yüzey eğim ve azimut açısına bağlı olarak etkili geliş açısı Şekil 4.1'ten bulunur ve bu geliş açısına bağlı olarak $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ elde edilir. Bu değer $(\tau\alpha)_n$ ile çarpılarak $(\tau\alpha)_b$ bulunur.



Şekil 4.2 1, 2, 3 ve 4'lü cam tabakasının güneş ışıını geliş açısına göre $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ oranının değişimi (Klein, 1979)

4.2 Kullanılabilirlik Kavramı

Pasif güneş enerjili sistemlerde güneş kollektörü üzerine enerji dengesi uygulandığında, binaya aktarılan yani kullanılabilir enerji, sistemde depolanan güneş enerjisi ile kollektörden çevreye olan ısı kayıplarının farkıdır. Dolayısıyla sistem üzerine gelen güneş enerjisinden yararlanabilmek için gelen enerjinin değeri, çevreye transfer olan ile sistemde depolanandan daha fazla olmalıdır. Kritik radyasyon düzeyi, basit olarak sistem üzerine gelen güneş enerjisinin değeri, çevreye transfer olan ile sistemde depolanan enerji toplamına eşit olduğu andaki ışıını değeri.

Eğer eğimli kollektör yüzeyi üzerine gelen güneş ışıını I_T , kritik ışıınıma eşitse absorbe edilen enerjinin tümü kaybedilecektir. Eğer gelen ışıını kritik radyasyon seviyesini aşıyorsa, fazladan kullanılabilir enerji ortaya çıkacaktır. Eğer gelen ışıını kritik ışıınımdan az ise faydalı enerji söz konusu olmayacaktır. Dolayısıyla kritik ışıını seviyesi üzerindeki

ışınımdan yararlanabiliriz. Bu amaçla saatlik kullanılabilirlik kavramı (ϕ) geliştirilmiştir. Saatlik kullanılabilirlik, bir saat boyunca kritik ışıyım seviyesinin üzerinde gelen toplam enerjinin, eğimli yüzeye gelen toplam enerjiye oranıdır:

$$\phi_h = \frac{(I_T - I_{TC})^+}{I_T} \quad (4.32)$$

Tek bir saat için kullanılabilirlik yararlı değildir. M gün sayısına sahip bir ay için belirli bir saatteki kullanılabilirlik tüm ayda o saatin ortalama güneş ışıyımı değeri alınarak bulunur:

$$\phi = \frac{1}{M} \sum \frac{(I_T - I_{TC})^+}{\bar{I}_T} \quad (4.33)$$

Bir saat için aylık ortalama kullanılabilir enerji $\bar{I}_T \phi$ çarpımına eşittir. Aylık kullanılabilir enerji miktarını bulmak için ele alınan ayın her saati için kullanılabilir enerji hesaplanmalı ve sonuçlar toplanmalıdır.

İncelenen ay için saatlik ortalama güneş ışıyımı ve kritik radyasyon seviyesi belirlendikten sonra ϕ belirlenmelidir.

Günlük kullanılabilirlik ise ele alınan ay için günün bütün saatleri boyunca eğimli yüzey üzerine kritik radyasyon seviyesi üzerinde gelen güneş ışıyımı toplamının aylık toplam güneş ışıyımına bölümüdür:

$$\bar{\phi} = \frac{\sum_{gün} \sum_{saat} (I_T - I_{TC})^+}{\bar{H}_T M} \quad (4.34)$$

Aylık kullanılabilir enerji $\bar{H}_T M \bar{\phi}$ çarpımına eşittir.

Günlük toplam ışıyımın aylık dağılımı sadece aylık ortalama günlük berraklık indeksi $\bar{K}_T$ 'nin fonksiyonudur.

Klein (1978) ϕ 'yi $\bar{K}_T$, geometrik faktör $\bar{R}/R_n$ ve boyutsuz kritik radyasyon seviyesi $\bar{X}_c$ 'nin fonksiyonu olarak ifade eden bağıntılar geliştirmiştir. $\bar{R}$ sembolü, aylık eğimli yüzey üzerine gelen toplam güneş ışıyımının yatay düzlem üzerine gelen güneş ışıyımına oranıdır

$\left(\frac{\overline{H}_T}{\overline{H}}\right)$. R_n ise tam öğle saatinde ele alınan aydaki ortalama günlük eğimli yüzey üzerine gelen güneş ışınımının yatay düzlem üzerine gelen güneş ışınımına oranıdır:

$$R_n = \left(\frac{I_T}{I}\right)_n = \left(1 - \frac{r_{d,n} H_{d,n}}{r_{t,n} H}\right) R_{b,n} + \left(\frac{r_{d,n} H_d}{r_{t,n} H}\right) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad (4.35)$$

Aylık ortalama kritik ışınım seviyesi $\overline{X}_C$ kritik ışınım seviyesinin aylık ortalama tam öğle vaktindeki güneş ışınımına oranı olarak alınır:

$$\overline{X}_C = \frac{I_{TC}}{r_{1,n} R_n \overline{H}} \quad (4.36)$$

$\overline{K}_T$, $\overline{X}_C$ ve $\overline{R}/R_n$ oranı bulunduğundan sonra $\overline{\phi}$ aşağıdaki bağıntılar ile bulunur (Klein, 1978):

$$\overline{\phi} = \exp\left[\left(a + b(R_n / \overline{R})\right)\left[\overline{X}_C + c\overline{X}_C^2\right]\right] \quad (4.37)$$

$$a = 2,943 - 9,271\overline{K}_T + 4,031\overline{K}_T^2 \quad (4.38)$$

$$b = -4,345 + 8,853\overline{K}_T - 3,602\overline{K}_T^2 \quad (4.39)$$

$$c = -0,170 - 0,306\overline{K}_T + 2,936\overline{K}_T^2 \quad (4.40)$$

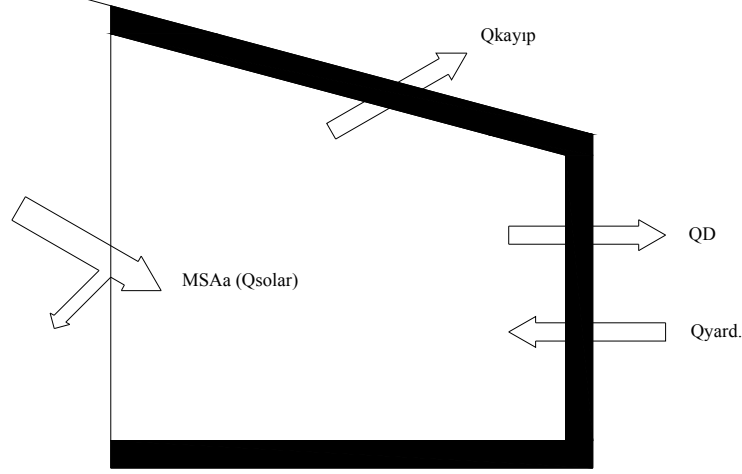
4.3 Kullanılmayan Enerji yöntemi

Kullanılmayan enerji yöntemi pasif sistem ile ısıtılan binanın sonsuz ısı kapasiteye sahip olduğu varsayımına dayandırılarak Monsen vd. (1981) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde binanın yardımcı enerji ihtiyacının belirlenmesinde iki limit durumu ele alınmıştır. İlk durum, sonsuz ısı kapasiteli yapının ihtiyaç fazlası bütün enerjiyi depolayabilmesidir. İkinci durum ise sıfır ısı depolama kapasitesine sahip binada enerji depolanamamasıdır. Bağıntılar, bu iki limit durumu arasında bulunan gerçek bir yapının yardımcı ısı ihtiyacının belirlenmesi için kullanılır.

Sonsuz ısı depolama kapasitesine sahip bir bina için aylık enerji dengesi aşağıdaki gibidir:

$$Q_{yard.} = Q_{kayıp} - Q_s \quad (MJ) \quad (4.41)$$

Bu durumda, bir ay boyunca konfor sıcaklığının sabit kalması için güneşten gelen ihtiyaç fazlası ısı enerji bina organlarında depo edilir. Depolanan bu enerji sıcaklığın düşmeye başladığı anlarda yardımcı enerji ihtiyacını karşılamak için ortama geri verilir.



Şekil 4.3 Direkt kazançlı pasif sisteme sahip bir binadaki aylık enerji akışı

Bir diğer limit durum olan ısıl sapolama kapasitesinin sıfır olduğu binalarda, güneş enerjisinin binanın ısı gereksiniminden fazla olduğu anlarda bu fazla enerji binadan uzaklaştırılmalıdır. Güneş enerjisinin binanın ısı gereksiniminden az olduğu anlarda ise yardımcı enerji kullanılarak bina konfor sıcaklığı istenilen düzeyde tutulmalıdır. Sıfır ısıl depolama kapasitesindeki binalar için anlık enerji dengesi aşağıdaki gibidir:

$$Q_{yard.} = Q_{kayıp} - Q_s + Q_D \quad (MJ) \quad (4.42)$$

Burada Q_D binadan uzaklaştırılması gereken fazla enerjidir ve aşağıdaki eşitlik ile bulunur:

$$Q_D = [I_T (\tau\alpha) A_a - (UA)_h (T_b - T_a)]^+ \quad (W) \quad (4.43)$$

Bu eşitlik (4.42) bağıntısında yardımcı ısı ihtiyacının sıfır olmasıyla bulunmuştur. Yani Q_D yardımcı enerji ihtiyacının olmadığı anlarda binada yutulan güneş enerjisinden bina ısı kaybının çıkarılmasıyla bulunur. Q_D yardımcı ısı ihtiyacının olmadığı anlarda ortaya çıktığı için, Q_D 'nin hesaplanmasında ısı kayıplarının güneş enerjisinden elde edilen kazanca eşit olduğu bir güneş ışınlama seviyesi kullanılmalıdır. Bu seviye ise kritik radyasyon düzeyi olarak tanımlanır ve (4.42) bağıntısında Q_D 'ye sıfır vererek bulunur:

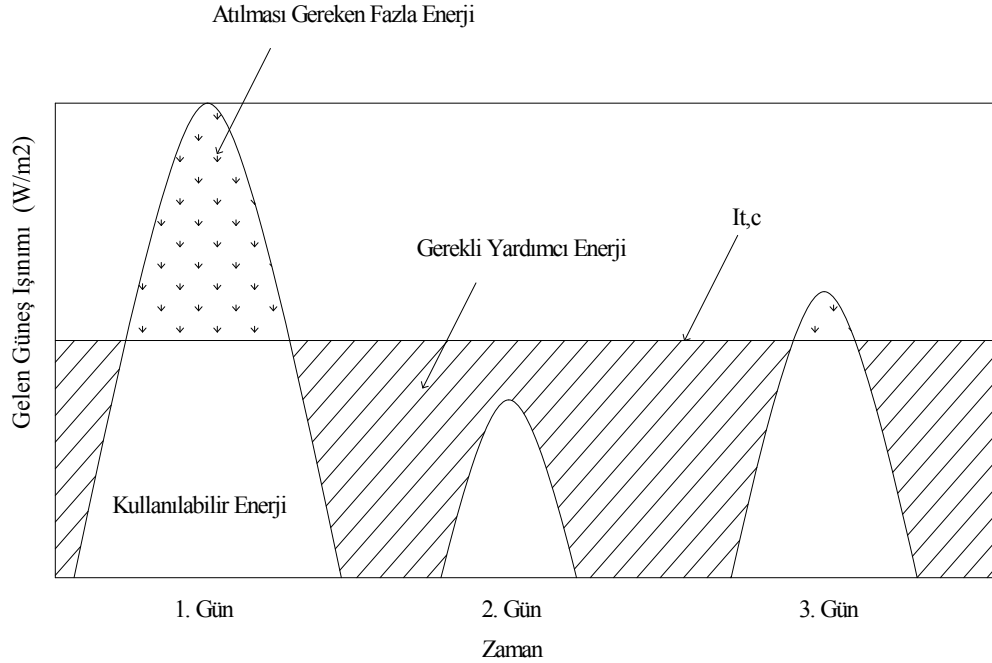
$$I_{TC} = \frac{(UA)_h (T_b - T_a)}{(\tau\alpha)A_a} \quad (\text{W/m}^2) \quad (4.44)$$

Sıfır ısı depolama kapasitesine sahip binalarda, kritik radyasyon düzeyinin üzerinde gelen güneş ışınımı kullanılamaz ve bina dışına atılır. Sistemden uzaklaştırılması gereken bu enerji, bir aylık zaman dilimi için aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$Q_D = A_r (\overline{\tau\alpha}) \int_{ay} (I_T - I_{TC})^+ dt \quad (\text{MJ}) \quad (4.45)$$

Şekil 4.4'te sıfır ısı depolama kapasitesine sahip binaların, birbirini izleyen günlerde enerji kullanımı bakımından davranışı görülmektedir. Kritik radyasyon düzeyinin aylık ortalama değerini bularak bir ay boyunca bu düzeyin sabit kaldığı kabul edilebilir. Aylık ortalama kritik radyasyon düzeyi aşağıdaki bağıntı ile bulunur:

$$I_{TC} = \frac{(UA)_h (T_b - \overline{T_a})}{(\tau\alpha)A_a} \quad (\text{W/m}^2) \quad (4.46)$$



Şekil 4.4 Direkt kazanç sistemlerinde sıfır ısı depolama kapasiteli durum için yardımcı, kullanılabilir ve atılması gereken fazla enerji (Monsen v.d., 1981)

(4.45) bağıntısı aylık ortalama kullanılabilirlik kavramı ile ifade edildiğinde sistemden uzaklaştırılması gereken enerji aşağıdaki gibi olur:

$$Q_D = M \bar{S} A_a \bar{\phi} \quad (\text{MJ}) \quad (4.47)$$

Burada (ϕ)

$$\bar{\phi} = \frac{1}{H_T M} \sum_{\text{gün}} \sum_{\text{saat}} (I_T - I_{TC})^+ \quad (4.48)$$

olarak tanımlanır.

Sıfır ısı depolama kapasitesinde olan binalar için gerekli aylık yardımcı enerji miktarı, kullanılabilirlik kavramı ile bina enerji dengesinin tekrar yazılması ile aşağıdaki gibi bulunur:

$$Q_{yard.,Z} = Q_{kayıa} - (1 - \bar{\phi}) \cdot M \bar{S} A_a \quad (\text{MJ}) \quad (4.49)$$

Denklem (4.41) sonsuz ısı depolama kapasiteli binalar için, denklem (4.49) ise sıfır ısı depolama kapasiteli binalar için yardımcı enerji ihtiyacını belirlemede kullanılır. Mevcut binalar ise bu iki sınır durum arasında yer alır. Binanın pasif sistem performansını belirlemede kullanılan güneş enerjisinden yararlanma oranı (SSF) ve güneş yükü oranı (SLR) ise sıfır ısı depolama kapasitesine sahip binalar için aşağıdaki gibi bulunur:

$$SLR = \frac{M \bar{S} A_a}{Q_{kayıa}} \quad (4.50)$$

$$SSF = 1 - \frac{Q_{yard}}{Q_{kayıa}} \quad (4.51)$$

Denklem (4.41) kullanılarak

$$SSF_z = (1 - \bar{\phi}) \cdot SLR \quad (4.52)$$

bulunur. Aynı şekilde sonsuz ısı depolama kapasitesine sahip binalar için güneş enerjisinden yararlanma oranı denklem (4.42) kullanılarak

$$SSF_i = SLR \quad (4.53)$$

olarak bulunur.

Sonlu ısı depolama kapasiteli sitemin modellenmesinde, binanın, tek bir bölgeden oluştuğu ve sıcaklığın maksimum ve minimum sıcaklık değerleri arasında değiştiği varsayılmıştır. Yardımcı enerji kullanımı ile sıcaklığın, minimum sıcaklık değerinde tutulması amaçlanmaktadır. Havalandırma ile fazla gelen enerjinin uzaklaştırılması ve sıcaklığın maksimum sıcaklık değerini aşmaması sağlanmaktadır.

Aylık güneş enerjisinden yararlanma oranını güneş yükü oranı ile ifade edebilmek için depolanan-atılan enerji oranı (Y) tanımlanmıştır. Bu oran aşağıdaki bağıntı ile bulunur (Monsen vd., 1981):

$$Y = \frac{C_b \Delta T_b}{H_T (\tau \alpha) A_a \phi} = \frac{C_b \Delta T_b}{S A_a \phi} = \frac{M C_b \Delta T_b}{Q_D} \quad (4.54)$$

Burada C_b (MJ/K), binanın etkili ısı kapasitesi, ΔT_b (K) ise izin verilen maksimum ve minimum sıcaklık arasındaki farktır. Y parametresi, binanın aylık maksimum ısı depolama kapasitesinin, bina ısı depolama kapasitesi sıfır kabul edildiğindeki binadan uzaklaştırılması gereken güneş enerjisine oranıdır ve birimsizdir. Sıfır ve sonsuz ısı depolama kapasitesine sahip binalarda Y değeri sıfır ve sonsuz olur.

SLR, Y ve ϕ değerlerini kullanarak aylık güneş enerjisinden yararlanma oranı aşağıdaki bağıntı ile bulunur (Monsen vd., 1981):

$$SSF = \min(M, 1) \quad (4.55)$$

Burada ;

$$M = P.SLR + (1 - P)(3,082 - 3,142\phi)[1 - \exp(-0,329.SLR)] \quad (4.56)$$

$$P = [1 - \exp(-0,294Y)]^{0,652} \quad (4.57)$$

olarak bulunur. Aylık gerekli yardımcı enerji miktarı ise aylık güneş enerjisinden yararlanma oranı kullanılarak aşağıdaki bağıntıdan elde edilir:

$$Q_{yard.} = Q_{kayn} (1 - SSF) \quad (MJ) \quad (4.58)$$

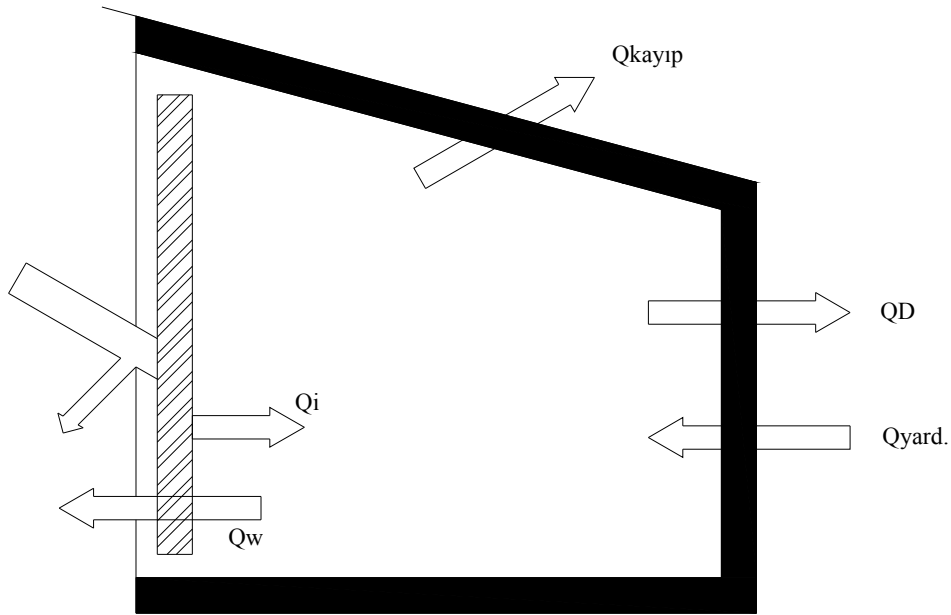
4.3.1 Trombe Duvarı İçin Kullanılmayan Enerji Yöntemi

Direkt kazanç sistemi için geliştirilen kullanılmayan enerji yöntemi Monsen vd., (1982) tarafından kollektör-depolama duvarı sistemlerine uygulanmıştır. Bu sistemde duvarın bulunması bina üzerine uygulanan enerji dengesi, kritik radyasyon seviyesi ve güneş yükü oranının belirlenmesi ve güneş enerjisi bağıntılarında önemli farklılıklar meydana getirir.

Trombe duvarına sahip bir binadaki enerji akışları şematik olarak Şekil 4.5'te verilmiştir. Burada bina ısı kaybı Trombe duvarının adyabatik kabul edilmesiyle bulunan ısı kaybı Q_{ad} ve camın güneş ışınımı geçirgenliği sıfır kabul edilerek sadece trombe duvarından olan ısı kaybı Q_w 'nin ayrı ayrı hesaplanması ile bulunacaktır:

$$Q_{ad} = (UA)_{ad} \cdot \Delta T \quad (W) \quad (4.59)$$

$$Q_w = U_w \cdot A_a \cdot \Delta T \quad (W) \quad (4.60)$$



Şekil 4.5 Trombe Duvarına Sahip Pasif Evdeki Enerji Akışı

Trombe duvarının ısı geçirgenliği aşağıdaki eşitlik ile bulunur:

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_L} + \frac{1}{U_i} + \frac{\delta}{k}} \quad (W/m^2K) \quad (4.61)$$

Burada U_i (W/m^2K) iç duvar yüzeyi ile oda havası arasındaki ısı taşınım katsayısı, δ (m) duvar kalınlığı ve k (W/mK) duvarın ısı iletim katsayısıdır. U_L (W/m^2K) ise cam yüzeyi ile dış hava arasındaki ısı taşınım katsayısıdır. Eğer gece izolasyonu kullanılıyorsa U_L aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\overline{U}_L = (1 - i)U_L + i \left(\frac{U_L}{1 + R_N U_L} \right) \quad (W/m^2K) \quad (4.62)$$

Burada R_N (m^2K/W) gece izolasyon malzemesinin ısı iletim katsayısı ve i 24 saat boyunca gece izolasyonun devrede olacağı zaman bölümüdür.

Q_{ad} ve Q_w ısı yükleri, izin verilen en düşük oda iç sıcaklığına göre hesap edilir. Genelde oda sıcaklığının bu sıcaklığın üzerinde olması istenir ve gerçekte bina ısı kaybı $Q_{ad} + Q_w$ toplamından daha büyüktür. Aradaki bu fark atılması gereken fazla enerji Q_D 'ye yansıtılır. Ayrıca izin verilen en yüksek oda sıcaklığının aşımaması için binadan atılması gereken ısı da Q_D 'ye katkıda bulunacaktır.

Trombe duvarından odaya aylık net ısı transferi Q_n (MJ) duvar parametreleri ve meteorolojik şartların karmaşık bir fonksiyonudur. Trombe duvarı direnç, kapasitör ve bir akım kaynağı olarak modellenenir. Bununla birlikte, duvar ve cam arasındaki boşluk ile oda arasında havalandırmanın olmamasına bağlı olarak hava sirkülasyonunun olmadığı ve bir ay boyunca duvarın ısı depolama kapasitesinin bir ay boyunca duvardan toplam enerji akışıyla karşılaştırıldığında ihmal edilebilir olduğunu varsaydığımızda, Şekil 4.6'daki aylık ortalama hesaplama ağı Şekil 4.7'deki direnç şekline basitleştirilebilir. Bir aylık Q_n bu şekilden hesap edilebilir.

Burada; $\bar{T}_w$, aylık ortalama duvar dış sıcaklığı, T_r izin verilen en düşük oda iç sıcaklığı, Δt bir gündeki zaman dilimi sayısı ve U_k dış duvar yüzeyinden oda içine olan ısı transfer katsayısıdır ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır :

$$U_k = \frac{1}{\frac{1}{U_i} + \frac{\delta}{k}} = \frac{U_i k}{k + U_i \delta} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (4.64)$$

Burada k (W/mK) duvarın ısı iletim katsayısı ve δ (m) trombe duvar kalınlığıdır. Ayrıca T_r sıcaklık değerinin üzerindeki ortalama oda sıcaklığının meydana getireceği duvar ısı kaybı miktarı Q_D için hesaplanacaktır.

(4.63) denkleminde aylık ortalama duvar dış yüzey sıcaklığı bulunabilir:

$$\bar{T}_w = \frac{\bar{S} + (U_k T_r + \bar{U}_L \bar{T}_a)}{(U_k + \bar{U}_L) \Delta t} \quad (\text{K}) \quad (4.65)$$

Trombe duvarından ısıtılan mekana aylık net ısı geçişi Q_n aylık ortalama duvar dış yüzey sıcaklık değeri kullanılarak hesap edilir:

$$Q_n = U_k A_a (\bar{T}_w - T_r) \Delta t M \quad (\text{MJ}) \quad (4.66)$$

Trombe duvarına sahip binanın performansını elde etmek için sıfır ve sonsuz ısı depolama kapasitesindeki limit durumlar incelenecektir. Kuramsal olarak sonsuz ısı depolama kapasitesine sahip binada net ısı kazancı Q_n tamamen kullanılır. Sonsuz ısı depolama kapasiteli bina için aylık enerji dengesi uygulandığında aşağıdaki denklem elde edilir:

$$Q_{\text{yard}, i} = Q_{\text{ad}} - Q_i \quad (\text{MJ}) \quad (4.67)$$

Trombe duvarı ve yapının diğer elemanlarının sıfır ısı depolama kapasitesine sahip olması durumunda binanın yardımcı enerji gereksinimi maksimum olacaktır. Sıfır ısı depolama kapasiteli bina için aylık enerji dengesi aşağıdaki gibidir:

$$Q_{\text{yard}, i} = Q_{\text{ad}} - Q_n + Q_D \quad (\text{MJ}) \quad (4.68)$$

Burada Q_D atılması gereken fazla enerji olup, yardımcı enerji ihtiyacını düşürmeye katkısı olmayan trombe duvarından bina giren aylık enerji miktarıdır. Aylık atılması gereken fazla

enerji Q_D , ortam sıcaklığının en düşük termostat ayar sıcaklığının üzerine çıkmasını engellemek için atılması gereken fazla enerji miktarı $\dot{Q}_D$ 'yi integre ederek bulunabilir.

$\dot{Q}_D$ Trombe duvarından binaya transfer edilen enerji miktarı ile binanın diğer bölümlerinden çevreye olan ısı kaybı miktarı arasındaki farktır:

$$\dot{Q}_D = [U_k A_a (T_w - T_r) - (UA)_{ad} (T_b - T_a)]^+ \quad (W) \quad (4.69)$$

Herhangi bir anda sıfır ısı depolama kapasiteli Trombe duvarının absorbe edici yüzeyine enerji dengesi uyguladığımızda aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$I_T (\tau\alpha) A_a = U_L A_a (T_w - T_a) + U_k A_a (T_w - T_r) \quad (4.70)$$

Bu denklemde duvar dış yüzey sıcaklığı elde edilebilir:

$$T_w = \frac{I_T (\tau\alpha) + U_L T_a + U_k T_r}{U_L + U_k} \quad (K) \quad (4.71)$$

Eşitlik 4.69 yeniden düzenlenirse aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$\dot{Q}_D = \left[U_k A_a \left(\frac{I_T (\tau\alpha) - U_L (T_r - T_a)}{U_L + U_k} \right) - (UA)_{ad} (T_b - T_a) \right]^+ \quad (W) \quad (4.72)$$

$(\tau\alpha)$ ve T_a değerlerinin aylık ortalama değerlerde sabitlendiğini varsaydığımızda, sıfır kapasiteli bina için aylık atılması gereken enerji Q_D eşitlik 4.72'yi integre ederek bulunabilir:

$$Q_D = \frac{U_k A_a (\overline{\tau\alpha})}{U_L + U_k} \sum (I_T - I_{TC})^+ \quad (4.73)$$

Anlık atılması gereken fazla enerji Q_D 'yi sıfır yapan kritik radyasyon seviyesi I_{TC} eşitlik 4.72'den aşağıdaki gibi bulunur:

$$I_{TC} = \frac{1}{(\overline{\tau\alpha}) A_a} \left[(UA)_{ad} \left(\frac{U_L}{U_k} + 1 \right) \frac{T_b - \overline{T_a}}{T_r - \overline{T_a}} + U_L A_a \right] (T_r - \overline{T_a}) \quad (W/m^2) \quad (4.74)$$

4.73 eşitliği günlük kullanılabilirlik $\bar{\phi}$ kullanılarak tekrar yazılırsa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$Q_D = \frac{U_k A_a \bar{S} M \bar{\phi}}{U_L + U_k} \quad (\text{MJ}) \quad (4.75)$$

Eşitlik (4.67) ve (4.68) Trombe duvarının performans limitlerinin tahmininde kullanılır. Bu limitlerdeki, yani Trombe duvarına sahip sonsuz ve sıfır ısı depolama kapasiteli bina için güneş enerjisinden yararlanma oranları aşağıdaki gibi bulunur:

$$SSF_i = 1 - \frac{Q_{yard.,i}}{Q_{ad} + Q_w} = \frac{Q_w + Q_i}{Q_w + Q_{ad}} \quad (4.76)$$

$$SSF_z = 1 - \frac{Q_{yard.,z}}{Q_{ad} + Q_w} = SSF_i - \frac{U_k}{U_k + U_L} \bar{\phi} . SLR \quad (4.77)$$

Buradaki güneş yükü oranı SLR aşağıdaki bağıntı ile bulunur:

$$SLR = \frac{\bar{S} M A_a}{Q_{ad} + Q_w} \quad (4.78)$$

Sonlu ısı depolama kapasiteli Trombe duvarı uygulanmış binalar ise bu iki sınır durum arasında yer alır. Gerçek bir sistemin güneş enerjisinden yararlanma oranının belirlenmesi için korelasyon yöntemleri kullanılır. Sistemin ısı depolama kapasitesini bulmak için binanın depolama kapasitesi S_b ve duvarın depolama kapasitesi S_w 'nin ayrı ayrı bulunması gereklidir. Bir aylık zaman dilimi için bina ısı depolama kapasitesi aşağıdaki denklem ile bulunur (Monsen vd., 1982):

$$S_b = C_b (\Delta T_b) M \quad (\text{MJ}) \quad (4.79)$$

Burada, C_b bina ısı depolama kapasitesi etkinliği ve ΔT_b izin verilen sıcaklık dalgalanması yani en yüksek ve en düşük termostat ayar sıcaklığı arasındaki farktır. Trombe duvarının bir aylık zaman dilimindeki ısı depolama kapasitesi de aşağıdaki bağıntı ile bulunur (Monsen vd., 1982):

$$S_w = C_p \delta A_a \rho (\Delta T_w) M \quad (\text{MJ}) \quad (4.80)$$

Burada, C_p (MJ/kgK), ρ (kg/m³), δ (m) ve A_r (m²) sırasıyla duvarın özgül ısısı, yoğunluğu, kalınlığı ve alanıdır. ΔT_w ise duvardaki aylık ortalama sıcaklık gradyanının lineer olduğu kabul edilerek duvarın aylık ortalama dış ve iç yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının yarısıdır. Duvardan ısıtılan ortama transfer edilen ısı Q_i , ΔT_w kullanılarak ifade edilirse aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$Q_i = \frac{2kA_a}{\delta} (\Delta T_w) \Delta t \cdot M \quad (\text{MJ}) \quad (4.81)$$

Böylece eşitlik (4.80) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$S_w = \frac{\rho C_p \delta^2}{2k \Delta t} Q_i \quad (\text{MJ}) \quad (4.82)$$

Güneşten yararlanma oranı SSF, sonsuz ısı depolama kapasiteli binanın güneşten yararlanma oranı SSF_i ve bina ve duvarın ısı depolama kapasitesinin sıfır depolama kapasitesine sahip bir bina tarafından atılması gereken enerjiye oranı olarak tanımlanan boyutsuz depolanan-atılan enerji oranı Y 'nin fonksiyonudur (Monsen vd., 1982):

$$Y = \frac{S_b + 0,047 S_w}{Q_D} \quad (4.83)$$

Güneş enerjisinden yararlanma oranı SSF, Monsen vd. (1982) tarafından verilen aşağıdaki bağıntı ile bulunur :

$$SSF = \min \{ P \cdot SSF_i + 0,88(1 - P) [1 - \exp(-1,26 \cdot SSF_i)] \} \quad (4.84)$$

$$P = [1 - \exp(-0,144Y)]^{0,53} \quad (4.85)$$

4.4 Trombe Duvar Kalınlığının Günlük Isıl Kapasite (DHC) Metodu İle Belirlenmesi

Bir malzemenin günlük ısı kapasitesi (dhc) birim yüzey alanında ve birim sıcaklık dalgalanmasında depolanan ve 24 saat boyunca oda havasına verilen günlük ısı miktarıdır. Pasif güneş evinin toplam günlük ısı kapasitesi günlük sıcaklık dalgalanmasının miktarını

verir. Bu miktar izin verilen sınırlar dahilinde olmalıdır. Bu sıcaklık dalgalanmasının miktarı Balcomb vd. (1980) tarafından aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir:

$$\Delta T_{sw} = 0,61 Q_s / DHC \quad (K) \quad (4.86)$$

Burada Q_s (J) yaşam alanında absorbe edilen günlük toplam güneş enerjisi miktarıdır. Homojen bir malzeme için birim alandaki günlük ısı kapasitesi aşağıdaki eşitlik ile bulunur (Balcomb vd., 1980):

$$dhc = F_1 s \quad (J/m^2 K) \quad (4.87)$$

Binanın günlük ısı kapasitesi ise her bir malzemenin günlük ısı kapasitelerinin toplamı olarak bulunur:

$$DHC = \sum_i dhc_i . A_i \quad (J/K) \quad (4.88)$$

Burada, s sonsuz kalınlıktaki duvarın günlük ısı kapasitesi ve F_1 ise sonlu kalınlığa sahip duvarın günlük ısı kapasitesinin genliği olup aşağıdaki denklemler ile hesaplanır (Balcomb vd., 1980):

$$s = \sqrt{hk\rho c / 2\pi} \quad (J/m^2 K) \quad (4.89)$$

$$F_1 = \sqrt{(\cosh 2x - \cos x) / (\cosh 2x + \cos 2x)} \quad (4.90)$$

Buradaki x boyutsuz kalınlıktır ve aşağıdaki bağıntı ile bulunur (Balcomb vd., 1980):

$$x = l \sqrt{\pi \rho c / hk} \quad (4.91)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan, k (W/mK) malzemenin ısı iletkenliği, ρ (kg/m³) yoğunluk, c (J/kgK) özgül ısı, h 24 saatlik zaman periyodu, l (m) ise malzeme kalınlığıdır.

4.5 Gölgelekler

Gölgelekler pasif ısıtma sistemlerinde binanın ısı ihtiyacı olmadığı zaman boyunca ısı kazançlarını düşürmek için kullanılır. Bu gölgeleme aygıtları ısının absorbe edilmesinin istenildiği periyotlar boyunca kısmen absorbe edici yüzeyi gölgeleyebildiği için, onların

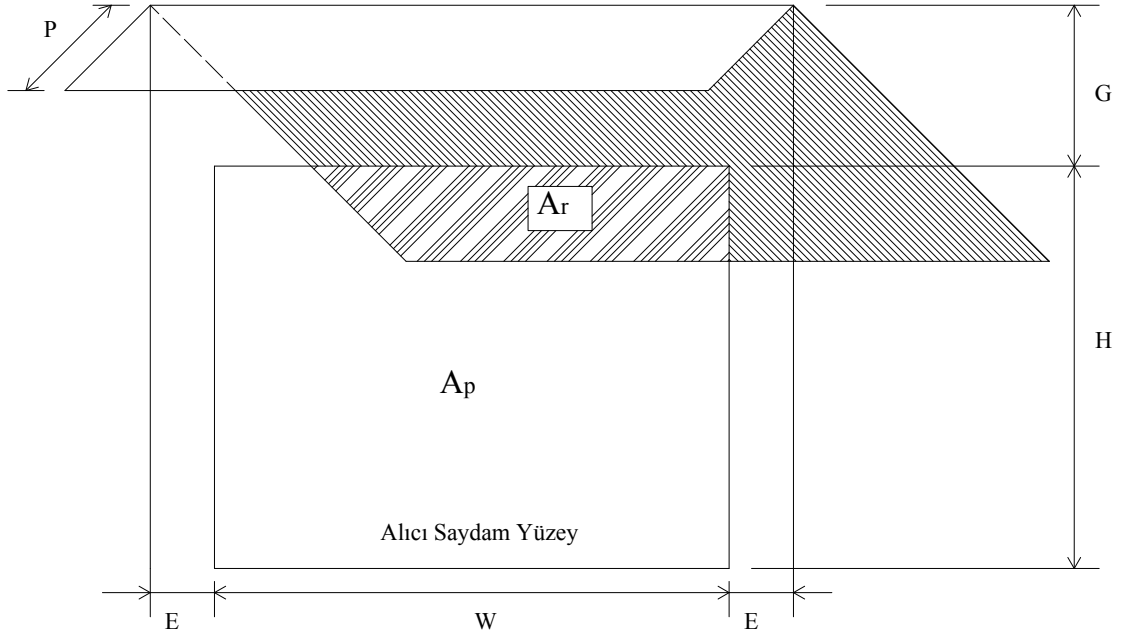
absorbe edilen ışıının üzerideki etkilerini tahmin etmek zorunludur. Bu bölümde gölgeliklerin aylık ve anlık olarak etkilerini nasıl formülize edileceği gösterilecektir. Bu tartışma sonlu uzunluktaki gölgelikleri ele alır ve Utzinger (1979) ve Utzinger ve Klein (1979) tarafından yapılan detaylı bir işlemin özetidir.

Yatay bir gölgelik çıkıntısı Şekil 4.8’de şematik olarak gösterilen duvara dik bir şekilde gösterilebilir. Şekildeki alıcı yani pencere yüksekliği H ’yi kullanarak, diğer ölçüler yüksekliğe oraları biçiminde ölçüsüz olarak ifade edilebilir. Bu ifade şekli ile oransal genişlik w , oransal çıkıntı p , oransal boşluk g ve oransal uzatma e olur.

Gölgelenmiş alıcılar tarafından alınan direkt ışıının gölgelenmemiş alıcılar tarafından alınan ışıına oranı f_i direkt ışıına maruz kalan alıcı oranı ile aynıdır:

$$f_i = \frac{A_p}{A_r} \quad (4.92)$$

f_i değeri, gölgelik ve alıcı boyutları ile direkt güneş ışıının duvar üzerine geliş açısına bağlıdır.



Şekil 4.8 Alıcı saydam yüzeye dik bir çıkıntının gölge diyagramı

Utzinger (1979) çeşitli enlem değerlerinde f_i ’nin e , g , w ve p ’ye bağlı fonksiyonun grafiğini göstermiştir (Ek 2). Bu grafiklerden yola çıkarak, pasif binanın ısı ihtiyacının olduğu aylarda güneş ışıının tamamının bina içine alınması için $f_i = 1$ seçilerek, bina tasarımına bağlı olarak seçilen e , g ve w değerleri için çıkıntı uzunluğu bulunabilir. Grafiklerden görüldüğü

üzere yaz aylarına doğru çıkıntı uzunluğu p, azalmaktadır. Burada dikkat edilecek en önemli husus pasif binanın ısı kaybettiği aylar boyunca güneş ışınlamı alan camların kesinlikle gölgelenmemesidir. Dolayısıyla pasif binanın gölgelik çıkıntı uzunluğu ısı kaybettiği aylardaki en düşük miktarı aşmamalıdır.

4.6 Pasif Sistem Ekonomisi

Güneş projeleri ekonomik açıdan yüksek yatırım maliyeti ve düşük işletme maliyeti ile tanımlanabilir. Çoğu güneş enerjisi projesinin yardımcı enerji kaynağına ihtiyacı vardır. Bundan dolayı sistem, hem güneş enerjisi hem de konvansiyonel ekipmandan oluşur ve yıllık yükler bu ikisinin bileşimiyle karşılanır. Güneş enerjisi ekipmanı gelecekteki yakıt faturasını azaltmak için satın alınır (Üçkardeşler, 1992)

Bir pasif güneş evi normal binalar ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir yatırım maliyeti ve daha düşük bir işletme maliyeti içerir. Bir güneş evinden beklenen ekonomik performans, işletme giderlerinden sağlanan kazancın başlangıçtaki ilave yatırımdan daha fazla olmasıdır. Ekonomik analizin amacı güneş enerjisi ve diğer alternatifler düşünülerek enerji ihtiyacını en az maliyet ile karşılayan metodun saptanması olarak düşünülebilir.

Bir pasif güneş evinin ekonomik performansı geri ödeme süresi, kullanım süresi maliyeti, net kazanç, kazançların yatırıma oranı gibi göstergeler ile değerlendirilebilir. Bu performans göstergelerinden en basiti geri ödeme süresidir. Geri ödeme süresi, güneş evi için yapılan ilave konstrüksiyon maliyetleri ve bu konstrüksiyon yoluyla elde edilen enerji kazancının fonksiyonudur.

4.6.1 Konstrüksiyon Maliyetleri

Pasif güneş sistemi ile ısıtılan binalar klasik binalardan daha büyük konstrüksiyon maliyetlerine sahiptir. Bu ilave konstrüksiyon maliyetleri termal pencereler, çıkıntılar, gece panjurları, daha kalın duvarlar, termal kütle, ekstra izolasyon gibi maddeleri içerir.

Yatırımcılar için, sistemin ekonomikliğini geri ödeme periyodu yansıtır. Bu yüzden geri ödeme periyodu pasif sistemin yapılabilirliğinin en net göstergesidir. Aşağıda belirli bir zaman periyodunda yatırımdan sağlanan kazanç SAV ve sistemin geri ödeme periyodu " n_g " ayrı ayrı değerlendirilerek hesap metodu anlatılmıştır.

4.6.2 Yatırım Kazancı (SAV)

Yatırım kazancı, pasif sistemlere yapılan ilave maliyetin belirli bir periyot boyunca sağladığı ekonomik kazancı ifade etmektedir. Bu zaman periyodu genelde 20 yıl olarak alınır. Yatırım kazancı aşağıdaki denklem ile bulunur (Shaochun, 1994):

$$SAV = PI(\delta Q_{yard.,g} \cdot CF - A \cdot DJ) - A \quad (TL) \quad (4.93)$$

Burada ;

PI = Geri ödeme katsayısı

$\delta Q_{yard.,g}$ = Isıtma periyodu boyunca pasif güneş evindeki güneşten gelen enerji kazancı (KJ)

CF = Yakıt fiyatı (TL/KJ)

A = Yatırım maliyetindeki toplam artış (TL)

DJ = İşletme giderlerinin toplam yatırım maliyetine oranıdır.

Geri ödeme katsayısı PI aşağıdaki gibi hesaplanır (Shaochun, 1994):

$$PI = \left(\frac{1}{d_f - e_a} \right) \times \left(1 - \left(\frac{1 + e_a}{1 + d_f} \right)^{N_e} \right) \quad (4.94)$$

d_f = Kredi faiz oranı

e_a = Bir yıldaki yakıt fiyatlarındaki artış oranı

N_e = Ekonomik analiz periyodu, genellikle 20 yıl alınır

Konvansiyonel yakıt maliyeti cihazın verimliliğini de dikkate alarak aşağıdaki gibi bulunur:

$$CF = CF' / (g \cdot eff) \quad (4.95)$$

CF' = Konvansiyonel yakıt fiyatı (TL/kg)

g = Yakıtın alt ısı değeri (KJ/kg)

Eff = Isıtıcı cihazın ısı verimliliği

4.6.3 Geri Ödeme Periyodu

Geri ödeme periyodu 4.93 denkleminde SAV=0 olduğundaki N_e değeridir ve SAV=0'daki PI bulunarak aşağıdaki gibi hesaplanır (Shaochun, 1994):

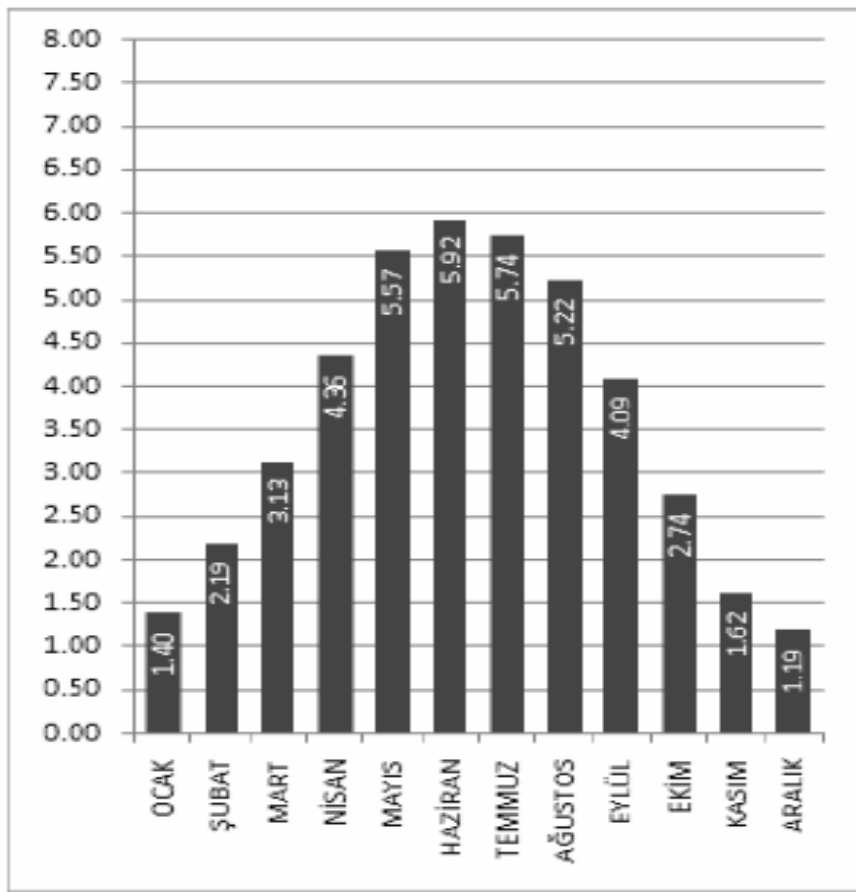
$$PI = \frac{A}{(\delta Q_{yard.,g}.CF - A.DJ)} \quad (4.96)$$

$$n_g = \frac{\ln[1 - PI.(d_f - e_a)]}{\ln\left[\frac{1 + e_a}{1 + d_f}\right]} \quad (Yıl) \quad (4.97)$$

5. MODEL ÇALIŞMASI

5.1 Çalışmada Seçilen İlin Coğrafi ve İklimsel Özellikleri

Pasif evin güneş performansını belirlemek için öncelikle seçilen bölgenin coğrafi özellikleri ve güneş ışıınımı verilerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada nüfusun ve binaların yoğun olması dolayısıyla İstanbul ili seçilmiştir. İstanbul $40,58^0$ enlem derecesindedir ve yıl boyunca yatay düzleme gelen ortalama günlük güneş ışıınımı $12,0 \text{ Mj/m}^2\text{gün}$ civarındadır. Şekil 5.1.' de güneş ışıınımının aylara göre dağılımı gözükmeektedir. Ayrıca İstanbul ilinin TS 825'e göre ortalama dış hava sıcaklıkları Çizelge 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 İstanbul ili için global radyasyon değerleri (Kwh/m²-gün) [1]

Çizelge 5.1 İstanbul İçin Ortalama Dış Hava Sıcaklığı (TS 825)

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
Dış Hava Sıcaklığı (°C)	2,9	4,4	7,3	12,8	18	22,5	24,9	24,3	19,9	14,1	8,5	3,8

5.2 Örnek Yapıya İlişkin Veriler

Örnek çalışmada ele alınan yapı direkt kazanç ve trombe duvarı sistemleri için ayrı ayrı tasarlanacak ve elde edilen performans verileri güneş enerjisi kazancı düşünülmeden tasarlanan bina ile karşılaştırılacaktır. Ele alınan 3 sistem için tasarlanan yapı Ek 1’de gösterilmiştir. Örnek yapı elemanlarına ilişkin veriler Çizelge 5.2’te özetlenmiştir.

Çizelge 5.2 Trombe duvarı, direkt kazanç ve konvansiyonel sistemin yapı özellikleri

Sistem	Yön	Malzeme	Kalınlık (m)	Alan (m ²)	İzolasyon	Cam Sayısı
Direkt Kazanç	Doğu	Yatay Delikli Tuğla	0,19	45,72	6 cm XPS	-
		Betonarme	0,30	2,35	6 cm XPS	-
		Betonarme	0,24	1,60	6 cm XPS	-
		Pencere	-	1,44	-	2
	Batı	Yatay Delikli Tuğla	0,19	43,64	6 cm XPS	-
		Betonarme	0,30	2,35	6 cm XPS	-
		Betonarme	0,24	1,6	6 cm XPS	-
		Pencere	-	1,44	-	2
		Kapı	-	2,08	-	2
	Kuzey	Yatay Delikli Tuğla	0,19	25,08	10 cm XPS	-
		Betonarme	0,50	3,42	10 cm XPS	-
		Betonarme	0,24	6	10 cm XPS	-
	Güney	Yatay Delikli Tuğla	0,19	4,86	5 cm XPS	-
		Betonarme	0,30	1,59	5 cm XPS	-
		Betonarme	0,24	4,5	5 cm XPS	-
		Betonarme	0,50	0,95	5 cm XPS	-
		Pencere	-	33	-	2
	Taban	Betonarme	0,2	120	-	-
		PVC Yer Döşemesi	0,01	120	-	-
		Şap	0,03	120	-	-
	Tavan	Betonarme	0,2	121,5	12 cm XPS	-
		Alçıpan	0,02	121,5	-	-
Trombe Duvarı	Doğu	Direkt Kazanç Sistemi ile Aynı				
	Batı	Direkt Kazanç Sistemi ile Aynı				
	Kuzey	Direkt Kazanç Sistemi ile Aynı				
	Güney	Direkt Kazanç Sistemi İle Aynı				

Sistem	Yön	Malzeme	Kalınlık (m)	Alan (m ²)	İzolasyon	Cam Sayısı
Trombe Duvarı	Güney	Trombe Duvarı (Betonarme)	0,13	33	Gece İzolasyonu	-
	Taban	Direkt Kazanç Sistemi İle Aynı				
	Tavan	Direkt Kazanç Sistemi İle Aynı				
Konv. Sistem	Doğu	Direkt Kazanç Sistemi ile Aynı				
	Batı	Direkt Kazanç Sistemi ile Aynı				
	Kuzey	Yatay Delikli Tuğla	0,19	21,08	10 cm XPS	-
		Betonarme	0,50	3,42	10 cm XPS	-
		Betonarme	0,24	6	10 cm XPS	-
		Pencere	-	4	-	2
	Güney	Yatay Delikli Tuğla	0,19	25,86	5 cm XPS	-
		Betonarme	0,30	1,59	5 cm XPS	-
		Betonarme	0,24	4,5	5 cm XPS	-
		Betonarme	0,50	0,95	5 cm XPS	-
		Pencere	-	12	-	2
	Taban	Direkt Kazanç Sistemi İle Aynı				
	Tavan	Direkt Kazanç Sistemi İle Aynı				

5.3 Bina Isı Kaybı

Türkiye’de binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamak ve dolayısıyla enerji tasarrufunu arttırmak amacıyla enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı” dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada ele alınan üç sistem içinde TS 825’e göre bina ısı kaybı hesaplanmış ve Çizelge 5.3’te sonuçlar özetlenmiştir.

Çizelge 5.3 Pasif ve Konvansiyonel Sistemlerin Isı Kaybı Sonuçları

Sistem	Isı Kaybı (Kj/yıl)		İzin Verilen	Güneş Enerjisi Kazancı Hariç Isı Kaybı
	Kj/Yıl	Kwh/m ²	Kwh/m ²	Kj/Yıl
Direkt Kazanç	32.213.701,46	80,42	97,9	52.174.975,49
Trombe Duvarı	30.209.523,77	75,42	97,9	50.239.096,18
Konvansiyonel Sistem	27.181.605,10	67,86	97,9	46.320.834,64

5.4 Kullanılmayan Enerji Yöntemi İle Güneş Enerjisi Kazancının Hesaplanması

Sistemlerin güneş kazancının hesaplanabilmesi için öncelikle binaya gelen direkt, yaygın ve yansıyan güneş ışıının hesaplanması gerekmektedir. Bölüm 4.1.1 ile 4.1.6 arasında anlatılan hesap metodolojisine göre İstanbul ili için yıl boyunca bulunarak aylık güneş ışıını verileri ısı ihtiyacının olduğu aylarda Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 İstanbul İli İçin Seçilen Binaya Gelen Aylık Direkt, Yaygın, Yansıyan ve Toplam Güneş Işını Değerleri

		Aylar							
Yön	Güneş Işını Bölümü (Mj/m ² .Ay)	O	Ş	M	N	M	E	K	A
Doğu-Batı	H _{be}	94,93	127,83	200,15	262,61	328,69	208,86	134,31	90,79
	H _{de}	90,33	111,91	179,15	222,29	264,90	142,19	95,77	81,26
	H _{re}	29,67	39,53	65,70	87,64	111,05	57,47	35,99	26,98
	H _T	214,92	279,26	444,99	572,54	704,64	408,52	266,07	199,04
Güney	H _{be}	136,60	140,63	143,34	106,12	75,32	202,70	180,74	141,93
	H _{de}	45,16	55,95	89,57	111,15	132,45	71,10	47,89	40,63
	H _{re}	14,83	19,76	32,85	43,82	55,52	28,74	18,00	13,49
	H _T	196,59	216,35	265,76	261,09	263,30	302,53	246,62	196,06
Kuzey	H _{be}	0	0	0	0	0	0	0	0
	H _{de}	45,16	55,95	89,57	111,15	132,45	71,10	1,38	1,45
	H _{re}	14,83	19,76	32,85	43,82	55,52	28,74	18,00	13,49
	H _T	60,00	75,72	122,42	154,97	187,97	99,83	19,37	14,94

5.4.1 Direkt Kazanç Uygulaması İçin Güneş Enerjisi Kazancının Hesaplanması

Direkt kazanç sisteminde kullanılacak yapı elemanlarının termofiziksel özellikleri Çizelge 5.5'te özetlenmiştir. Gelen güneş ışıının yapı içerisinde maksimum düzeyde absorbe edilebilmesi için tabanda yüzey yutma katsayıları $\alpha=0,91$, tavanda $\alpha=0,84$ ve duvarlarda $\alpha=0,88$ seçilmiştir. Kullanılacak pencere camları performans karşılaştırması için 2 cam tabakası olarak seçilmiş, ayrıca cam sayısının yapının güneş performansına etkisi Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Camın her tabakası için KL çarpımı $16*0,005=0,09$ olarak seçilmiştir.

Bu veriler ışığında direkt kazanç sisteminin güneş enerjisinden yararlanma oranı ve yıllık yardımcı enerji ihtiyacının tespit edilmesi için bulunan değerler Çizelge 5.6'da verilmiştir. Ayrıca ısıtma ihtiyacının olduğu aylara göre örnek binanın direkt kazanç tasarımındaki ısı

yükü, bina içine gelen güneş ışınlamı ve sistemden elde edilen güneş enerjisi kazancı Şekil 5.2’de özetlenmiştir.

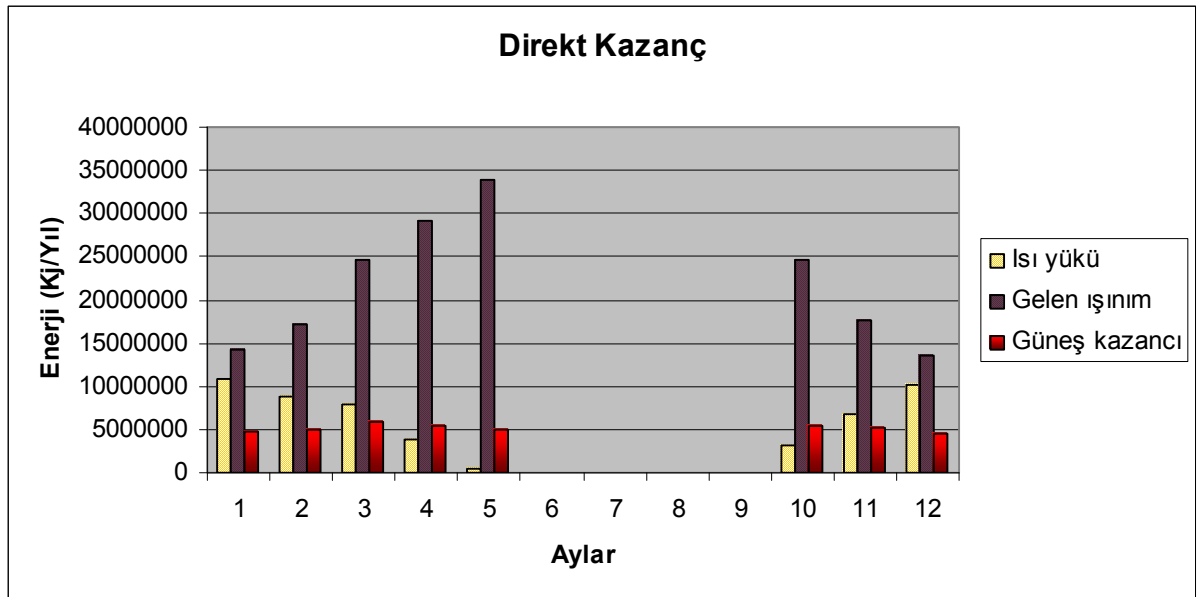
Çizelge 5.5 Yapı Elemanlarının Termofiziksel Özellikleri (TS 825)(Wilkinson, 2010)

Malzeme	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	C (J/kgK)
Betonarme (Donatılı)	2,5	2500	1000
Betonarme (Donatısız)	1,65	2200	1000
Tuğla	0,45	800	1700
Sıva	1	1300	1000
Alçıpan	0,7	950	840
XPS	0,028	30	1400
PVC	0,13	1300	900
Şap	1,4	1200	840
Gazbeton	0,13	500	1000

Çizelge 5.6 Direkt Kazanç Sisteminin Güneş Enerjisinden Yararlanma Oranı ve Yıllık Yardımcı Enerji Miktarı

		Aylar							
		O	Ş	M	N	M	E	K	A
Yön	$Q_{kayıp}$ (Mj)	10.826,66	8.855,29	7.827,07	3.946,04	532,59	3.191,33	6.782,90	10.213,11
Doğu-Batı	S_{ay} (Mj/m ²)	132,73	176,25	283,06	366,84	453,08	259,49	165,28	122,04
	SLR	0,035	0,057	0,104	0,268	2,45	0,234	0,07	0,034
	$(\tau\alpha)$	0,618	0,631	0,636	0,641	0,643	0,635	0,621	0,613
	I_{tc} (W/m ²)	2.272,65	2.013,82	1.595,17	825,01	107,38	651,33	1.462,69	2.159,34
	X_c	8,273	6,304	4,593	2,359	0,324	1,649	4,243	7,805
	ϕ	0,000001	0,000001	0,000006	0,002	0,463	0,035	0,0002	0,000002
	$\bar{S}_{gün}$ (Mj/m ²)	4,282	6,295	9,131	12,228	14,615	8,371	5,509	3,937
	Y	$7,54 \cdot 10^{13}$	$7,74 \cdot 10^{10}$	25813593	3307,1	19,298	1834,29	$3,1 \cdot 10^8$	$1,79 \cdot 10^{14}$
	P	1	1	1	1	0,9978	1	1	1
	SSF	0,035	0,057	0,104	0,268	1,000	0,234	0,070	0,034
Güney	S_{ay} (Mj/m ²)	132,23	141,84	166,18	153,87	149,32	196,34	165,57	132,7
	SLR	0,403	0,529	0,701	1,287	9,252	2,03	0,806	0,429
	$(\tau\alpha)$	0,673	0,656	0,625	0,589	0,567	0,649	0,671	0,677

Yön		O	Ş	M	N	M	E	K	A
Güney	I_{tc} (W/m ²)	182,12	169,19	141,62	78,28	10,63	55,63	118,12	170,71
	X_c	0,663	0,530	0,408	0,224	0,032	0,141	0,343	0,617
	ϕ	0,420	0,470	0,523	0,684	0,948	0,815	0,627	0,452
	$\bar{S}_{gün}$ (Mj/m ²)	4,265	5,066	5,361	5,129	4,817	6,334	5,519	4,281
	Y	8,517	6,411	5,447	4,354	3,344	2,958	4,414	7,894
	P	0,946	0,898	0,863	0,809	0,737	0,702	0,812	0,935
	SSF	0,393	0,501	0,645	1,000	1,000	1,000	0,703	0,415
	$Q_{yard.}$ (Mj)	6.188,80	3.912,53	1.959,94	0	0	0	1.538,96	5.622,22
	SSF_t	0,428	0,558	0,750	1,000	1,000	1,000	0,773	0,450
	SSF_{yıl}	0,632							
	Q_{yard., yıl} (Mj)	19.222,45							

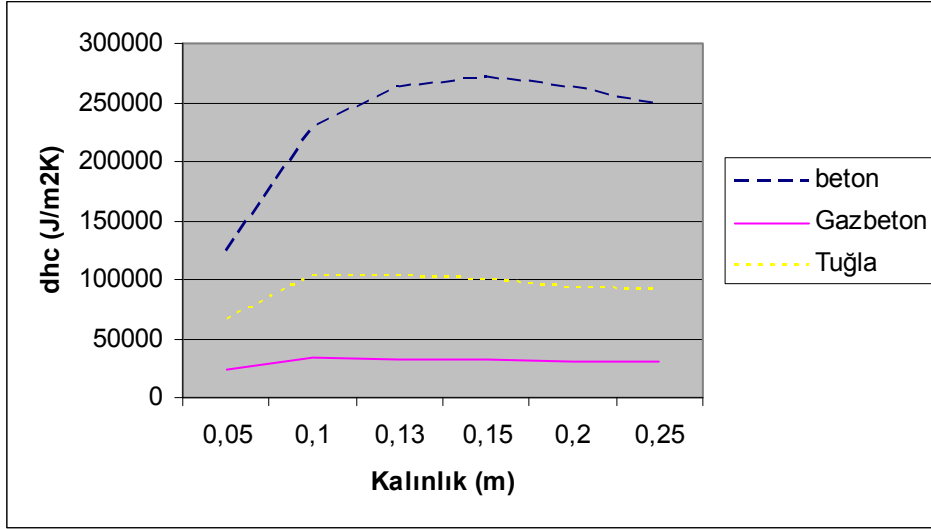


Şekil 5.2 Örnek binanın direkt kazanç tasarımıındaki ısıtma ihtiyacının olduğu aylara ait ısı yükü, bina içine giren güneş ışınlımı ve güneş enerjisi kazancı

5.4.2 Trombe Duvarı Uygulaması İçin Güneş Enerjisi Kazancının Hesaplanması

Bu uygulamada, direkt kazanç sistemi için tasarlanan binanın güney cam bölümlerinin hemen önüne betonarme bloklar ilave edilerek Trombe duvar sistemi oluşturulmuştur. Trombe duvarının pencere ve iç tarafı güneş enerjisinin maksimum seviyede depolanması için yutma katsayısı $\alpha=0,98$ olan boya ile boyanmıştır. Trombe duvar kalınlığının tespit edilmesinde günlük ısı kapasite metodu kullanılarak Şekil 5.3 oluşturulmuş ve duvardan iç mekana

maksimum ısı geçişinin sağlanacağı kalınlık $L=0,13$ m seçilmiştir. Trombe duvarından gece ısı kayıplarını önlemek amacıyla ısı iletim katsayısı $R=2$ W/mK olan gece izolasyonu kullanılmıştır. Minimum oda sıcaklığı 19°C ve izin verilen sıcaklık artışı 5°C olarak belirlenmiştir. Bu sistem için bulunan güneş performansı değerleri Çizelge 5.7’de özetlenmiştir. Ayrıca ısıtma ihtiyacının olduğu aylara göre örnek binanın Trombe duvarı tasarımındaki ısı yükü, bina içine gelen güneş ışınlamı ve sistemden elde edilen güneş enerjisi kazancı Şekil 5.4’te özetlenmiştir.

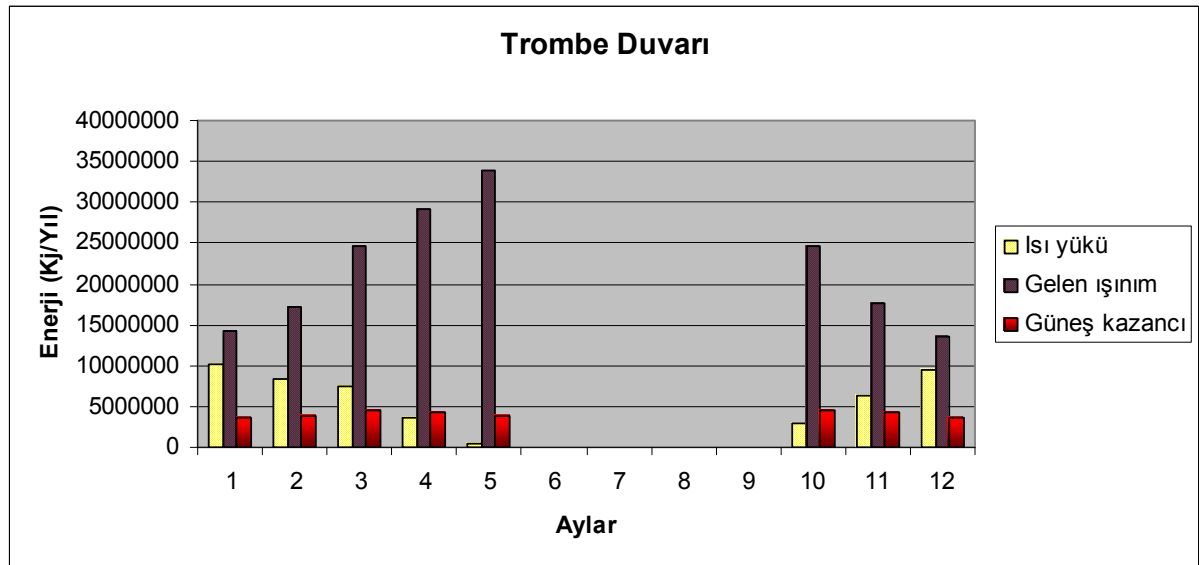


Şekil 5.3 Günlük Isıl Kapasitenin Trombe Duvar Kalınlığı İle Değişimi

Çizelge 5.7 Trombe Duvarı Sisteminin Güneş Enerjisinden Yararlanma Oranı ve Yıllık Yardımcı Enerji Miktarı

		Aylar							
		O	Ş	M	N	M	E	K	A
Trombe Duvarı	S_{ay} (Mj/m^2)	129,71	137,81	158,14	143,18	138,85	188,74	162,3	130,91
	$Q_{kayıp}$ (Mj)	10.175,78	8.322,17	7.354,06	3.703,47	492,17	2.993,23	6.372,10	9.598,61
	Q_{bina} (Mj)	7.838,29	6.407,59	5.655,39	2.832,36	346,98	2.281,82	4.896,83	7.391,79
	Q_{trombe} (Mj)	2.337,49	1.914,58	1.698,67	871,11	145,19	711,41	1.475,27	2.206,82
	U_k ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79
	T_w ($^{\circ}\text{C}$)	21,29	22,99	24,16	25,24	26,30	27,86	25,04	21,62
	Q_n (Mj)	969,43	1524,81	2183,32	2557,14	3088,33	3750,82	2474,10	1110,80
	I_{tc} (W/m^2)	194,34	182,54	156,6	90,04	15,1	62,55	127,07	181,3
	X_c	0,707	0,571	0,451	0,257	0,046	0,158	0,369	0,655
	ϕ	0,396	0,442	0,486	0,644	0,926	0,794	0,604	0,429
	Q_d (Mj)	1189,04	1408,85	1778,99	2133,35	2977,71	3467,51	2268,93	1301,68

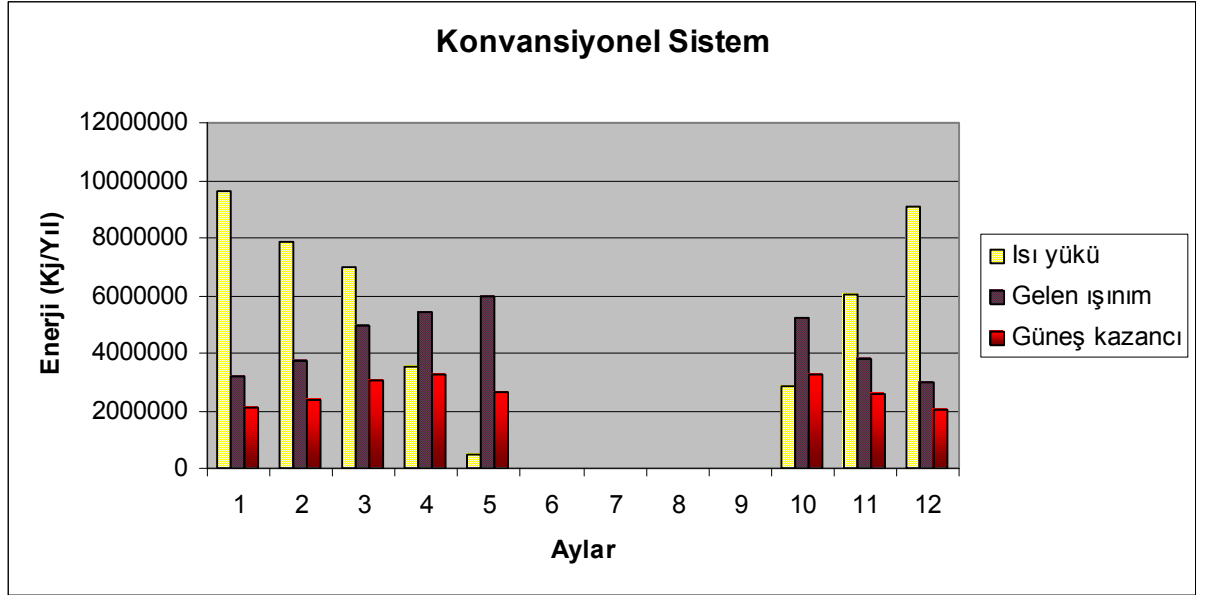
		O	Ş	M	N	M	E	K	A
Trombe Duvarı	SSF _i	0,325	0,413	0,528	0,926	6,570	1,491	0,620	0,346
	S _b (Mj)	15.616	14.105	15.616	15.113	15.616	15.616	15.113	15.616
	S _w (Mj)	126,41	198,84	284,71	333,45	402,72	489,11	322,63	144,85
	Y	13,14	10,02	8,79	7,09	5,25	4,51	6,67	12,00
	P	0,917	0,867	0,839	0,789	0,715	0,676	0,774	0,902
	SSF	0,323	0,406	0,512	0,858	1,000	1,000	0,588	0,342
Doğu-Batı	S _{ay} (Mj/m ²)	133,74	177,59	285,21	369,63	456,52	261,46	166,54	122,97
	SLR	0,038	0,061	0,112	0,287	2,671	0,252	0,075	0,037
	($\tau\alpha$)	0,622	0,636	0,641	0,646	0,648	0,640	0,626	0,618
	I _{tc} (W/m ²)	2.119,90	1.878,30	1.487,46	768,45	98,48	606,29	1.363,74	2.014,11
	X _c	7,72	5,88	4,28	2,20	0,30	1,54	3,96	7,28
	ϕ	5,3*10 ⁻¹²	2,5*10 ⁻⁹	2,8*10 ⁻⁶	0,0071	0,647	0,017	4,4*10 ⁻⁷	3*10 ⁻¹²
	$\bar{S}_{gün}$ (Mj/m ²)	4,314	6,343	9,200	12,321	14,726	8,434	5,551	3,967
	Y	8,3*10 ¹²	1,2*10 ¹⁰	7408540	2175,31	19,9337	1344,68	7,8*10 ⁷	2*10 ¹³
	P	1	1	1	1	0,99814	1	1	1
	SSF	0,038	0,061	0,112	0,287	1,000	0,252	0,075	0,037
Q _{yard.} (Mj)		6.508,42	4.433,45	2.769,63	0	0	0	2148,48	5.959,85
SSF _{yıl}		0,555							
Q _{yard., yıl} (Mj)		21.819,83							



Şekil 5.4 Örnek binanın Trombe duvarı tasarımındaki ısıtma ihtiyacının olduğu aylara ait ısı yükü, bina içine giren güneş ışıını ve güneş enerjisi kazancı

5.4.3 Konvansiyonel Sistem İçin Güneş Enerjisi Kazancının Hesaplanması

		O	Ş	M	N	M	E	K	A
Kuzey	S_{ay} (Mj/m^2)	36,85	46,51	75,21	95,21	115,49	61,33	40,47	33,25
	SLR	0,046	0,071	0,13	0,327	3,027	0,261	0,081	0,044
	$(\overline{\tau\alpha})$	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	2,089	2,225
	I_{tc}								
	(W/m^2)	1.462,14	1.323,71	1.056,25	549,03	69,55	429,15	278,07	380,8
	X_c	5,32	4,14	3,04	1,57	0,21	1,09	0,81	1,38
	ϕ	$1,4 \cdot 10^{-14}$	$4 \cdot 10^{-11}$	$5,7 \cdot 10^{-7}$	0,00431	0,6187	0,00569	0,01154	0,00035
	$\overline{S}_{gün}$ (Mj/m^2)	1,19	1,66	2,43	3,17	3,73	1,98	1,35	1,07
	Y	$7,7 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^{12}$	$9,4 \cdot 10^7$	9414,25	55,8798	11436,7	8270,04	342672
	P	1	1	1	1	1	1	1	1
	SSF	0,015	0,024	0,043	0,109	1,000	0,087	0,027	0,015
	$Q_{yard.}$ (Mj)	7.532,36	5.502,87	3.879,54	253,17	0	0	3.431,41	7.025,32
SSF _{yıl}		0,404							
$Q_{yard., yıl}$ (Mj)		27.624,67							

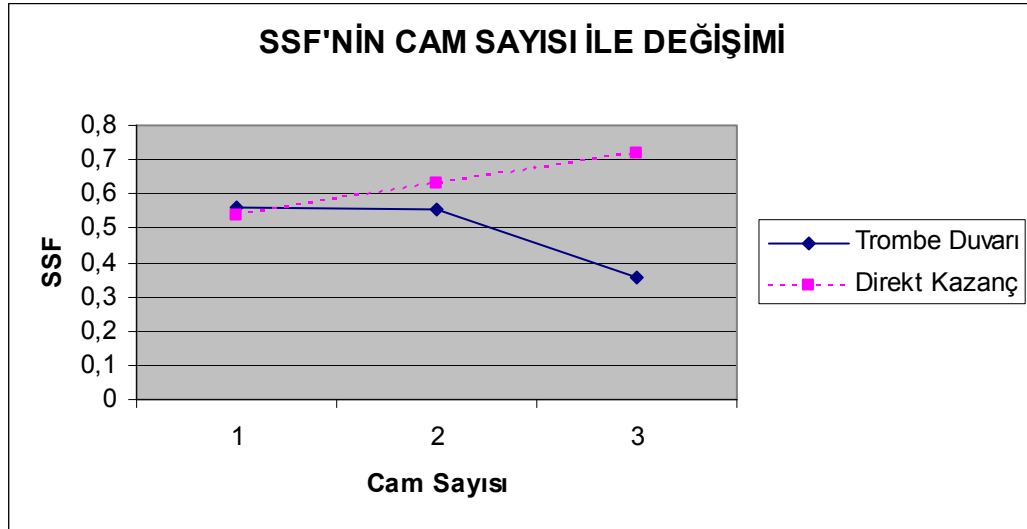


Şekil 5.5 Örnek konvansiyonel binanın ısıtma ihtiyacının olduğu aylara ait ısı yükü, bina içine giren güneş ışıınımı ve güneş enerjisi kazancı

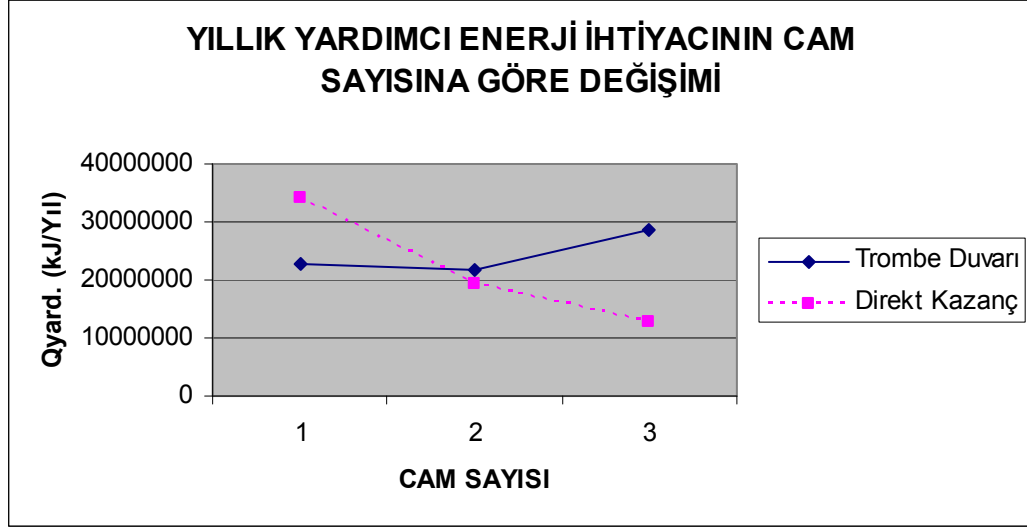
5.5 Örnek Modele Uygulanan Direkt Kazanç ve Trombe Duvarı Sisteminin Sayısal Analizi

Örnek çalışma için bulunan güneş performansı değerleri optimize edilmemiş değerlerdir. Oysa pasif sistem elemanlarında yapılacak malzeme ve tasarım değişiklikleri sistem performansında ciddi değişiklikler meydana getirebilir. Bu bölümde pasif sistem elemanlarının sistem performansına etkileri incelenecektir.

Öncelikle direkt kazanç ve trombe duvar sisteminde cam sayısının güneşten yararlanma oranı ve yıllık yardımcı ihtiyacına etkisi analiz edilmiştir. Her iki sistemde de sadece güneye bakan cam sayısı 1 ile 3 arasında değiştirilerek güneşten yararlanma oranı ve yıllık yardımcı enerji ihtiyacı hesaplanmıştır. Doğu ve batı yönündeki cam sayısında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Bu hesaplamalar sonucunda çıkan sonuçlar Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her iki sistemin de cam sayısı ile performansı ciddi değişiklikler göstermektedir. Direkt kazanç sisteminde cam sayısı arttıkça güneşten yararlanma oranı artmakta ve yıllık yardımcı enerji azalmaktadır. Trombe duvarında ise cam sayısı ile sistem verimliliği ters orantılı bir şekilde değişmektedir. Şekillerden çıkarılacak diğer bir sonuç ise güneye bakan pencerelerin tek camlı olması durumunda direkt kazanç sisteminin güneşten yararlanma oranı trombe duvar sisteminden yüksek olmasına rağmen yıllık yardımcı enerji ihtiyacının daha fazla olmasıdır. Bunun nedeni tek camlı direkt kazanç sisteminde ısı kayıplarının ciddi oranda artmasıdır.

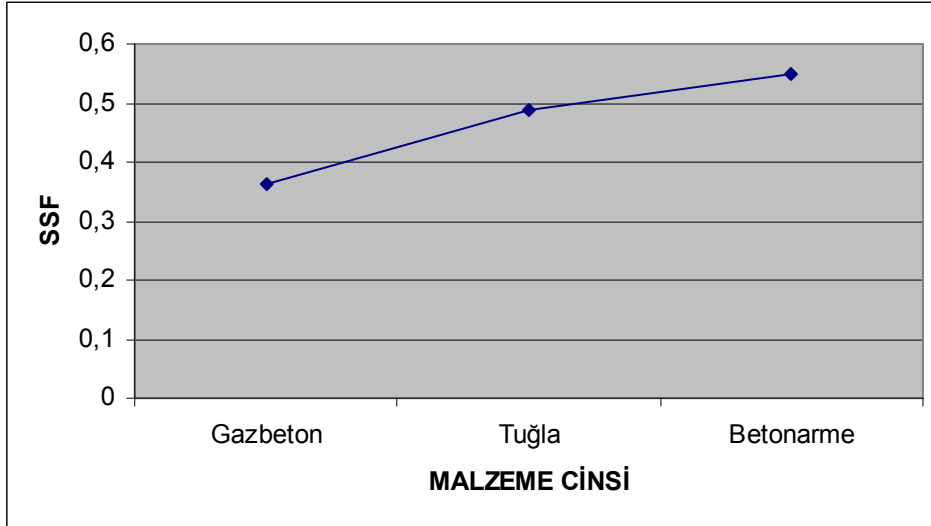


Şekil 5.6 Direkt Kazanç ve Trombe Duvarı Sisteminde Güneşten Yararlanma Oranının Cam Sayısı İle Değişimi

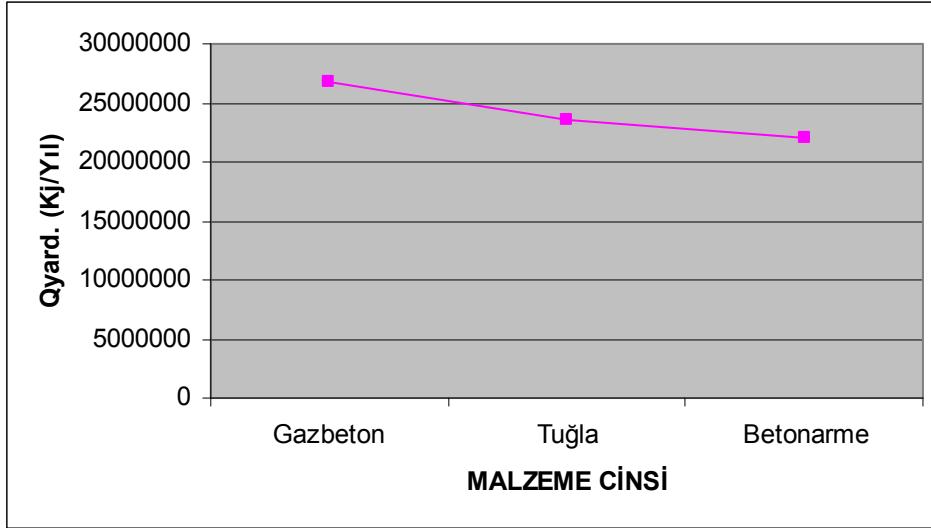


Şekil 5.7 Direkt Kazanç ve Trombe Duvarı Sisteminde Yıllık Yardımcı Enerji İhtiyacının Cam Sayısı İle Değişimi

Özellikle trombe duvar sisteminde sistem performansını etkileyen diğer önemli parametrelerden biri de kullanılan malzeme cinsidir. Bu noktada trombe duvar sisteminde trombe duvar malzemesi tuğla, betonarme ve gazbeton olacak şekilde sistem performansı tekrar hesaplanarak bulunan değerler Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Karşılaştırma için malzeme kalınlığı üç malzeme için de 13 cm alınmıştır.

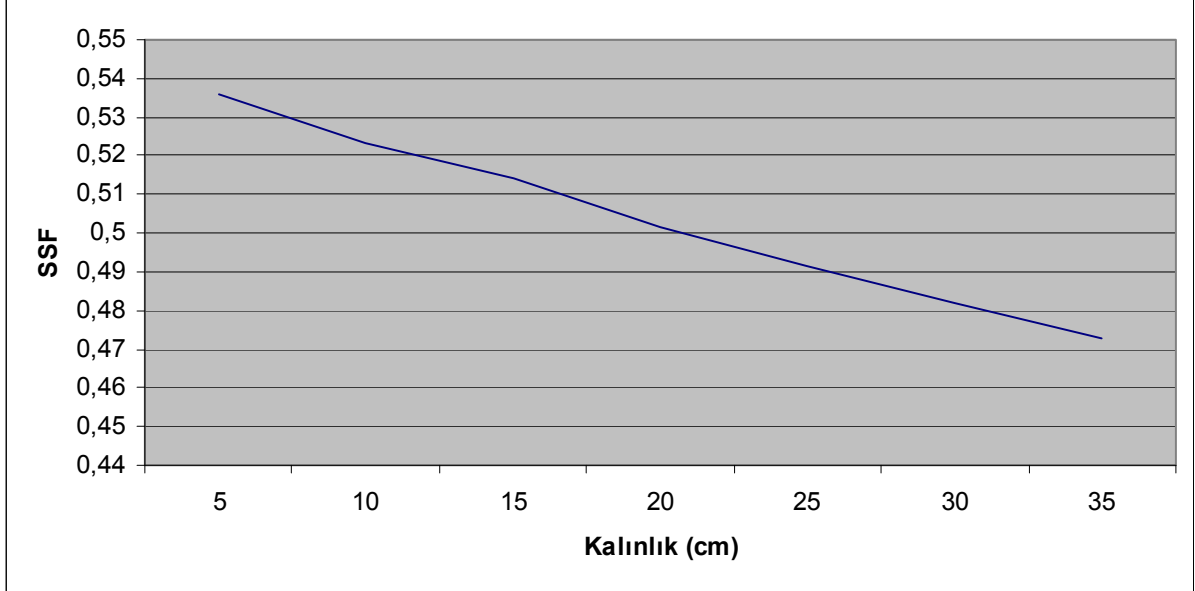


Şekil 5.8 Trombe Duvarı Sisteminde Güneşten Yararlanma Oranının Malzeme Cinsi İle Değişimi

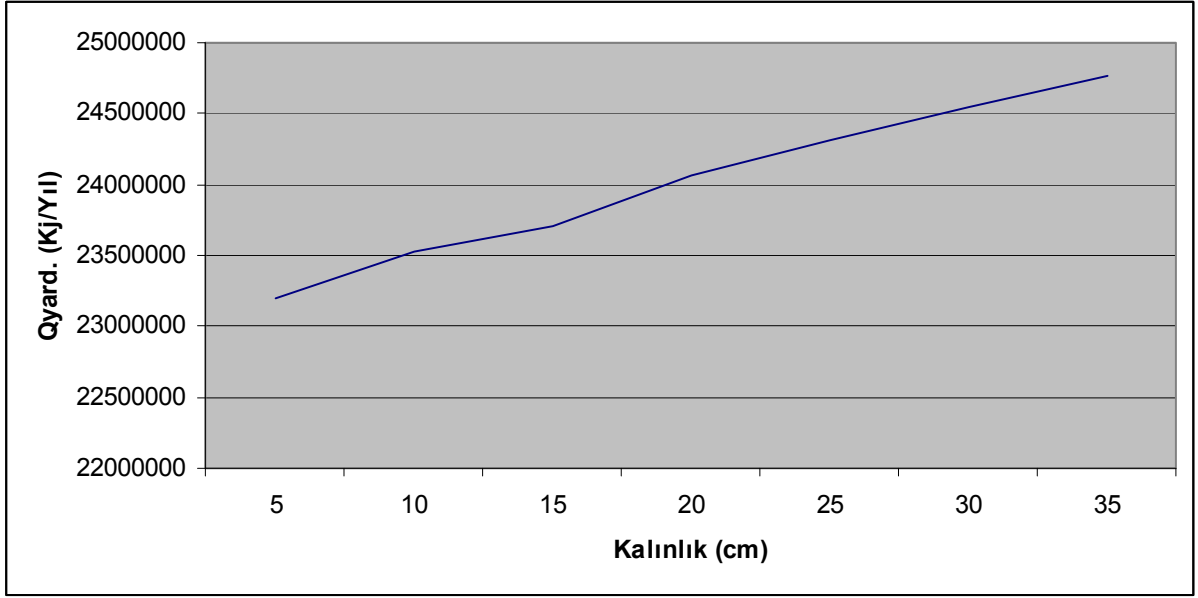


Şekil 5.9 Trombe duvarı sisteminde yıllık yardımcı enerji ihtiyacının malzeme cinsi ile değişimi

Trombe duvar sisteminde incelenmesi gereken bir diğer parametre de duvar kalınlığıdır. Duvar kalınlığının günlük ısı kapasiteye etkisi 5.4.2 bölümünde incelemiştik. Bu bölümde de örnek yapıda trombe duvar kalınlığı değiştirilerek güneşten yararlanma oranı ve yıllık yardımcı enerji ihtiyacının değişimi ele alınmıştır. (Şekil 5.10 ve Şekil 5.11)

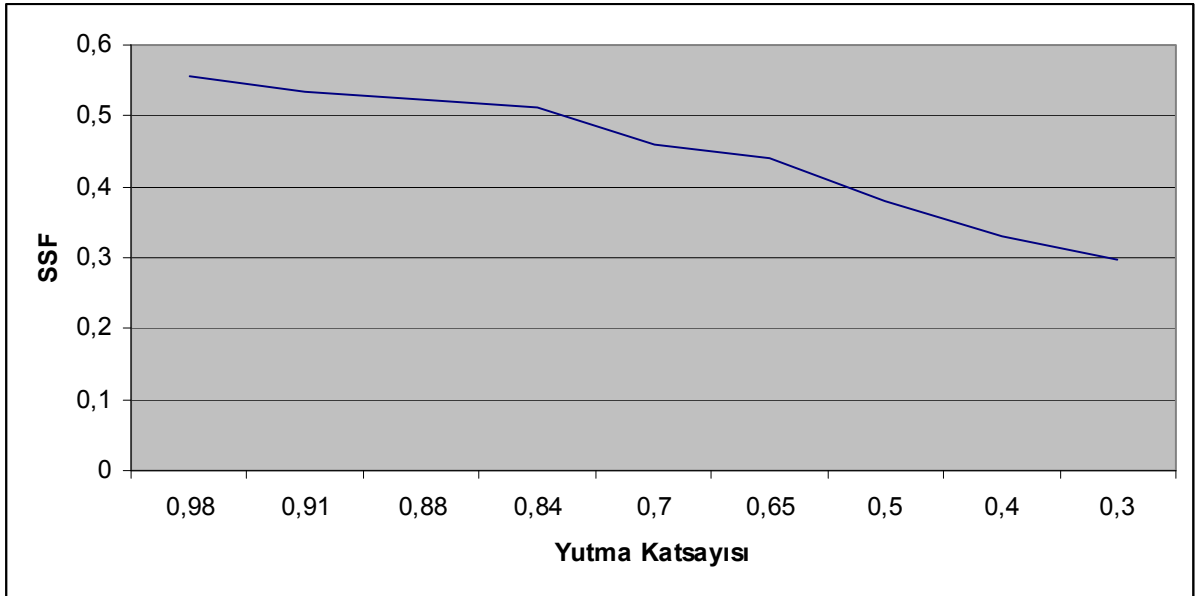


Şekil 5.10 Trombe duvar kalınlığına göre güneş enerjisinden yararlanma oranının değişimi



Şekil 5.11 Trombe duvar kalınlığına göre yıllık yardımcı enerji ihtiyacının değişimi

Trombe duvarı sisteminde sistem verimliliğini etkileyen önemli parametrelerden biri de duvarın güneş ışımasını yutma katsayısıdır ve sistem verimliliğine etkisi incelenmelidir. Örnek bina için trombe duvar yüzeyini oluşturan boyanın yutma katsayısı 0,98-0,30 arasında değiştirilerek binanın yıllık güneşten yararlanma oranı her bir değer için hesaplanarak çıkan sonuçlar Şekil 5.12’de özetlenmiştir.



Şekil 5.12 Yıllık güneşten yararlanma oranının Trombe duvar yüzeyini oluşturan malzeme yutma katsayısına göre değişimi

5.6 Örnek Bina İçin Gölge Tasarımı

Direkt kazanç ve Trombe duvarı sistemlerinde yaz soğutma yükünü düşürmek için örnek binaya ısıtma dönemi boyunca gelen ışıınımı engellemeyecek şekilde gölgelik tasarımı yapılması gerekecektir. Gölgelik sadece güney duvar üzerine yapılacaktır. Buna göre örnek binanın gölgelik tasarımı için gerekli veriler aşağıdaki gibidir:

$$G = 100 \text{ cm} \quad W = 418 \text{ cm} \quad H = 250 \text{ cm} \quad E = 36 \text{ cm}$$

$$g = 0,4 \quad w = 1,672 \quad e = 0,144$$

Bu verilerden yola çıkarak Utzinger ve Klein (1979) tarafından oluşturulan grafiklerden $40,58^0$ enlem derecesinde $f_i = 1$ seçilerek, grafikler 35^0 ve 45^0 enlem derecesi için hazırlandığından lineer enterpolasyonla çıkıntı uzunluğu P her ay için bulunmuştur. Bulunan değerlerde kış aylarından yaza doğru gittikçe çıkıntı uzunluğu azalmaktadır. Buna göre yaza en yakın ısıtma ihtiyacının olduğu ay olan Mayıs ayı için gölgelik uzunluğu seçilmiş ve $P = 23,25 \text{ cm}$ olarak bulunmuştur.

5.7 Örnek Çalışmanın Ekonomik Analizi

Ekonomik analiz için öncelikle her 3 sistem için de yatırım maliyetinin çıkarılması gerekmektedir. Yatırım maliyeti ısıtma tesisatı maliyeti ve konstrüksiyon maliyeti olmak üzere 2 ana başlıkta ele alınacaktır. Yatırım maliyetlerine referans oluşturacak malzeme fiyatları üretici ve aracı firmaların web sayfalarından bulunarak Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.9 Malzeme fiyatları [3], [4], [5], [6], [7]

Malzeme	Özellik	Birim Fiyat
Kombi	20.600 kcal/h ısıtma kapasiteli	1.319 TL/Adet
Radyatör	22PKKP-500 mm	98,99 TL/mtül
Radyatör vanası	$\frac{3}{4}$ "	11,93 TL/Adet
Boru	PPRC	2,85 TL/m
Tuğla	Yatay Delikli 29*23,5*19 cm	1,1497 TL/Adet
Beton	C25	75 TL/m ³
Pencere profili	PVC profil	7,60 TL/mtül
Pencere camı	2 cam tabakalı ısıcam	37,60 TL/m ²
İzolasyon	XPS Polistren (5 cm)	13,50 TL/m ²
İzolasyon	XPS Polistren (6 cm)	16,20 TL/m ²
İzolasyon	XPS Polistren (10 cm)	29,30 TL/m ²
İzolasyon	XPS Polistren (12 cm)	33,36 TL/m ²
Sundurma	PMMA beyaz renk	164 TL/m ²
Gece izolasyonu	Polyester pamuk stor perde	23 TL/m ²

Bölüm 5.4’te bulunan yıllık yardımcı enerji ihtiyacına uygun olarak ısıtma tesisatı tasarlanmıştır. Isı üretici olarak ülkemizde yoğun olarak kullanılan doğalgaz yakıtlı klasik

kombi seçilmiştir. Kombinın ısııl gücü ise mahalin ısıı ihtiyacından fazla olmasına rağmen üretici firmaların en düşük ısııl güce sahip cihazın ısııl gücü olan 20.600 kcal/h seçilmiştir. Isıı kaybına göre radyatörler seçilerek borulama tesisatı şekillendirilmiştir. Radyatör olarak 22 pkkp tip radyatör seçilmiştir. Bu verilere göre bulunan ısııtma tesisatı maliyeti Çizelge 5.10'da özetlenmiştir.

Çizelge 5.10 Pasif ve konvansiyonel sistemin ısııtma tesisatı maliyeti karşılaştırması

Sistem	Yardımcı Enerji İhtiyacı (Kj/Yıl)	Isıtma Tesisatı Kurulum Maliyeti (TL)
Trombe Duvarı	21.819.830,79	2.067,301
Direkt Kazanç	19.222.451,09	2.055,62
Konvansiyonel Sistem	27.624.672,25	2.087,29

Konstrüksiyon maliyetlerinde ise tüm konstrüksiyon maliyetlerini çıkarmak yerine tasarlanan sistemlerde fark oluşturan bölümlerinin maliyetleri hesaplanmıştır. Bunlar pencere, pencerenin yer almayacağı sistemde o bölüme yerleştirilecek duvar, pasif sistemde kullanılacak gece izolasyonu, sundurma ve trombe duvar maliyetlerinden oluşmaktadır. Her üç sistem için de farklılık oluşturan konstrüksiyon maliyetleri Çizelge 5.11'de özetlenmiştir. Her üç sistem içinde konstrüksiyon ve ısııtma tesisatı maliyetlerinden oluşan toplam yatırım maliyetleri Çizelge 5.12'de gösterilmiştir. Bu veriler buunduktan sonra sistemin geri ödeme periyodu ve yatırım kazancı bulunabilir.

Çizelge 5.11 Pasif ve konvansiyonel sistemin konstrüksiyon maliyeti karşılaştırması

	Trombe Duvarı	Direkt Kazanç	Konvansiyonel Sistem
Pencere maliyeti	3.148,63 TL	3.148,63 TL	2.176,12 TL
Pencere yerine ilave duvar maliyeti (izolasyonlu)	363,11 TL	363,11 TL	1.319,05 TL
Gece izolasyonu maliyeti	1.155,00 TL	1.155,00 TL	-
Sundurma maliyeti	571,95 TL	571,95 TL	-
Trombe Duvar Maliyeti	984,56 TL	-	-
TOPLAM	6.223,25 TL	5.238,61 TL	3.495,17 TL

Çizelge 5.12 Pasif ve konvansiyonel sistemin toplam yatırım maliyeti karşılaştırması

	Trombe Duvarı	Direkt Kazanç	Konvansiyonel Sistem
Isıtma tesisatı maliyeti	2.067,30 TL	2.055,62 TL	2.087,29 TL
Konstrüksiyon Maliyeti	6.223,25 TL	5.238,61 TL	3.495,17 TL
Toplam yatırım maliyeti	8.290,55 TL	7.294,23 TL	5.582,46 TL

5.7.1 Örnek Çalışmadaki Pasif Sistemlerin Yatırım Kazancı

Yatırım kazancı bulunurken konvansiyonel sistem baz alınacaktır. Yani yatırım maliyetindeki artış miktarını bulurken pasif sistemin yatırım maliyetinden konvansiyonel sistemin yatırım maliyetini ve pasif sistemden olan enerji kazancı bulunurken konvansiyonel sistemin yıllık yardımcı enerji ihtiyacından pasif sistemin yıllık yardımcı enerji ihtiyacı çıkarılacaktır:

Trombe duvar sisteminden elde edilen enerji kazancı : $\delta Q_{yard,g} = 5.804.841,46 \text{ Kj/yıl}$

Direkt kazanç sisteminden elde edilen enerji kazancı : $\delta Q_{yard,g} = 8.402.221,16 \text{ Kj/yıl}$

Trombe duvar sistemindeki yatırım maliyeti artışı : $A = 2.708,09 \text{ TL}$

Direkt Kazanç sistemindeki yatırım maliyeti artışı : $A = 1.711,77 \text{ TL}$

Her iki sistemde de işletme maliyetleri yatırım maliyetinin %4'ü alınacaktır. Ayrıca yıllık kredi faiz oranı %13,20, yakıt fiyatlarındaki artış %20 ve ekonomik analiz periyodu 20 yıl olarak alınacaktır. Yakıt fiyatı olarak İstanbul ili için Aralık 2010 tarihindeki İGDAŞ faturalandırmasından KDV dahil $0,7766 \text{ TL/Nm}^3$ ve yakıtın alt ısı değeri 8.250 kcal/Nm^3 alınmıştır. Bu verilerden yola çıkarak her iki sistemin yatırım kazancı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$PI = 32,52$$

$$CF' = 0,7766 \text{ TL/Nm}^3$$

$$eff = 0,92$$

$$CF = 2,445 \cdot 10^{-5} \text{ TL/Kj}$$

$$SAV_{trombe} = -1.615,26 \text{ TL}$$

$$SAV_{direkt} = 2.682,28 \text{ TL}$$

5.7.2 Örnek Çalışmadaki Pasif Sistemlerin Geri Ödeme Periyodu

Bir önceki bölümde görüldüğü gibi trombe duvar sisteminin yatırım kazancı negatif çıktığı için kendi maliyetini 20 yılda karşılayamayacaktır. Direkt kazanç sistemi ise 20 yıldan daha kısa bir zamanda kendi maliyetini karşılayacaktır. Her iki sisteminde ek maliyet yükünü kaç yıl sonra karşılayacağı aşağıdaki gibi bulunur:

$$PI_{\text{trombe}} = 80,59$$

$$PI_{\text{direkt}} = 12,50$$

$$n_{\text{trombe}} = 32,22 \text{ yıl}$$

$$n_{\text{direkt}} = 10,61 \text{ yıl}$$

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bina ısıtmasında pasif güneş enerji sistemlerinden yararlanmanın sayısal ve ekonomik açıdan analiz edildiği bu çalışmada İstanbul ilindeki örnek binaya uygulanan trombe duvarı ve direkt kazanç sistemi ile elde edilen yıllık ısıtma ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanma oranı sırasıyla %63,2 ve %55,48, sistem performansı için referans alınması gereken konvansiyonel yani güneş enerjisinden yararlanmanın göz ardı edilerek tasarlanan binada ise %40,4 olarak bulunmuştur. Buradan görüldüğü üzere İstanbul ili için güneş enerjisinden yararlanma oranı direkt kazanç sisteminde trombe duvar sisteminden %8, konvansiyonel sistemden ise % 23 daha fazladır. Örnek binada direkt kazanç sistemi ile trombe duvar sistemindeki tek fark güney yönündeki camın hemen önüne yerleştirilen duvar sistemidir. Dolayısıyla trombe duvar sistemi hem duvar için ilave bir yatırım gerektireceği ve hem de güneş performansı daha düşük olacağı için direkt kazanç sistemine göre ekonomik olmayacaktır. Pasif sistemlerde sistem verimliliğini etkileyen en büyük parametre cam özelliğidir. Bu yüzden örnek bina için cam sayısının sistem verimliliğine etkisi hesaplanmıştır. Direkt kazanç ve trombe duvar sisteminde güneşe bakan pencerelerin cam sayısı 1, 2 ve 3 tabaka alınarak yapılan hesaplama sonucunda güneş enerjisinden yararlanma oranı direkt kazanç sisteminde sırasıyla %53,63, 63,2 ve %71,64, trombe duvar sisteminde ise sırasıyla %56,15, %55,48 ve %35,64 olarak bulunmuştur. Bu oranlara göre yıllık yardımcı ısıtma enerjisi ihtiyacı direkt kazanç sistemi için sırasıyla 34.307.733 KJ/Yıl, 19.222.451 KJ/Yıl ve 12.877.158 KJ/Yıl, trombe duvar sistemi için sırasıyla 22.840.092 KJ/Yıl, 21.819.831 KJ/Yıl ve 28.648.099 KJ/yıl olarak bulunur. Görüldüğü gibi direkt kazanç sisteminde cam sayısı arttıkça güneş enerjisinden yararlanma oranı artmakta ve yıllık yardımcı ısıtma enerji ihtiyacı azalmakta, trombe duvar sisteminde ise tam tersine bir durum söz konusudur. Sadece tek camlı trombe duvar sisteminin güneşten yararlanma oranı 2 camlı sisteme göre daha büyük olmasına rağmen yardımcı ısıtma enerji ihtiyacı de daha büyüktür. Bu durumu etkileyen en büyük neden camdan geçirilen güneş ışınımı ve binanın ısı kaybı arasındaki orandır. Yani cam sayısı attıkça binanın ısı kaybı azalacak fakat aynı zamanda camdan geçirilen güneş ışınımı da azalacaktır. Yani trombe duvar sisteminde camdan geçirilen güneş ışınımı miktarı ısı kaybı miktarına göre sistem verimliliğini daha çok etkilemektedir. Direkt kazanç sisteminde ise tam tersidir. Analiz edilen bir diğer parametre ise trombe duvar malzemesidir. Trombe duvar malzemesi gazbeton, tuğla ve beton olarak ayrı ayrı yapılan hesaplamalar sonucunda güneş enerjisinden yararlanma oranı sırasıyla, %36,37, %48,72 ve %54,78 olarak bulunmuştur. Bu sonucu etkileyen parametre ise ısı iletim katsayısıdır. Yani kullanılan malzemenin ısı iletim katsayısı arttıkça sistem verimliliği de artacak ve ısıtılan ortama daha fazla ısı verilecektir.

Yine trombe duvar sisteminde ısı geçişini etkileyen duvar kalınlığının sistem verimliliğine etkisi de incelenerek, betonarme malzemenin kullanıldığı duvarda kalınlık 5-35 cm arasında değiştirilerek güneşten yararlanma oranı tekrar hesaplanmıştır. Beklenildiği gibi kalınlık arttıkça ısı geçişi azalacağı için güneşten yararlanma oranı da lineer bir şekilde azalmıştır. Fakat bu trombe duvar kalınlığının mümkün olduğu kadar küçük seçilmesi gerektiği anlamını taşımaz. Çünkü duvar kalınlığı azaldıkça trombe duvarının iç ve dış yüzey sıcaklığı ile oda sıcaklığı daha hızlı bir değişim gözürecektir ve izin verilen sınırlar içinde kalsa bile oda içerisinde kısa süreli sıcaklık dalgalanmaları yaşanacaktır. Bu nedenle konfor sıcaklığı düşünülerek duvar kalınlığının 0,2-0,3 m aralığında seçilmesi tavsiye edilebilir. Trombe duvar sisteminde incelenmesi gereken diğer önemli faktör de duvar yüzeyinin yutma katsayısıdır. Yüzey yutma katsayısı 0,98 ile 0,3 arasında değiştirilerek güneş enerjisinden yararlanma oranı hesap edildiğinde yaklaşık %25 oranında bir değişim gözlenmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi trombe duvarında mutlaka yutma katsayısı en büyük olan boya kullanılmalıdır. Pasif sistem tasarımı yaparken mutlaka göz önünde bulundurulması gereken bir diğer konu da, binaların ısıtma ihtiyacını etkilemeyen ancak yazın soğutma yükünü azaltan gölgeliklerdir. Ele alınan bina için gölgelik tasarımı yapılarak çıkıntı uzunluğu 23,25 cm bulunmuştur. Yapılan bu sayısal analizlerden sonra pasif sistemlerin ekonomikliği üzerinde durulmuştur. Öncelikle pasif sistemlerin konvansiyonel sisteme göre yatırım maliyeti farkı hesaplanmış ve yıllık yardımcı enerji tasarrufu dikkate alınarak bu yatırım maliyet artışının 20 yılda sağladığı ekonomik kazanç bulunmuştur. Sonuçta direkt kazanç sistemi 2.682,28 TL ekonomik getiri sağlarken, trombe duvar sisteminin getirisi -1.615,26 TL olarak bulunduğundan kendi yatırım maliyetini 20 yıllık sürede karşılayamayacaktır. Her iki sistemin de yatırım maliyetinin karşılanma süresi hesap edildiğinde ise direkt kazanç sistemi 10,61 yılda kendini amorti ederken, trombe duvar sistemi 32,22 yılda yatırım maliyetini karşılayacaktır. Bu sonuçtan görüldüğü üzere direkt kazanç sistemi ele alınan bina için trombe duvar sisteminden daha ekonomiktir. Bu süreler çoğu inşaat yatırımcısı için uzun gelebilir. Ancak ülkemizin enerjide dışa bağımlı bir ülke olduğu ve fosil yakıtların hızla tükenmekte olduğu günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden maksimum fayda sağlamak bütün insanlığın görevidir. Bu yatırım kararı sadece inşaat yatırımcılarına bırakılmayıp insanların konut alırken göz önünde bulunduracağı en önemli parametrelerden biri haline gelmelidir.

KAYNAKLAR

- Altıntop, N., (2007), “Enerji Verimliliği Kanunu Yururluğ e Girdi”, Enerji ve Çevre Teknoloji Sistemleri Dergisi, 51.
- Aksoy, U. T., (2002), “İklimsel Konfor Açısından Bina Yönlendirilmesi ve Bina Biçimlendirilmesinin Isıtma Maliyetine Etkisi”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Bamcomb, J. D., Hedstrom, J. C. ve McFarland, R. D., (1977), “Simulation Analysis of Passive Solar Heated Buildings-Preliminary Results”, Solar Energy, 19:277.
- Balcomb, J. D. ve McFarland, R. D., (1978), “A simple empirical method for estimating the performance of a passive solar heated building of the thermal storage wall type”, Proc. 2d National Passive Solar Conference, 16-18 Mart 1978, Philadelphia.
- Balcomb, J. D., Barley, D., McFarland, R. D., Perry, J., Wray, W. O. ve Noll, S., (1980), Passive Solar Design Handbook Vol:2 Passive Solar Design Analysis, Washington DC.
- Balcomb, J. D., Jones, R. W., McFarland, R. D. ve Wray, W. O., (1984), Passive Solar Heating Analysis: A Design Manual, Atlanta.
- Balcomb, J. D. ve Wray, W.O., (1988), Passive Solar Heating Analysis. Supplement One: Thermal Mass Effects and Additional SLR Correlations, GA:ASHRAE, Atlanta.
- Balcomb, J. D., (1992), Passive Solar Buildings, Massachusetts Institute Technology.
- Brandemuehl, M. J. ve Beckman, W. A., (1980), “Transmission of diffuse radiation through CPC and flat-plate collector glazings”, Solar Energy, 24:511-513
- Bulut, H., (2009), “Bina Enerji Analizi ve Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Eğimli Yüzeyle Gelen Toplam Güneş Işınım Şiddeti Değerlerinin Hesaplanması”, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Teskon 2009, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 435-448, İzmir.
- Chen, B., Hollingsworth, E., Pedersen, K., Maloney, J., Stangl, D., Thorp, J. ve Rives, J., (1982), Path To Passive Nebraska’s Passive Solar Primer, by Solar Energy Associates Ltd., Omaha Nebraska.
- Chen, B., Chen., H.J., Meng, S.R., Chen., X., Sun, P. ve Ding, Y.H., (2006), “The Effect of Trombe Wall on Indoor Humid Climate in Dalian, China”, Renewable Energy, 333-343.
- Demirbilek, F., Yalçiner, U.G., Ecevit, A., Sahmalı, E. ve İnancıcı M., (2003), “Analysis of the thermal performance of a building design located at 2465 m: Antalya-Saklıkent National Observatory guesthouse”, Building and Environment, 38:177-184.
- Duffie, J. A. ve Beckman, W. A., (1980), Solar Engineering Of Thermal Processes, John Wiley and Sons, New York.

- Erbs, D. G., Beckman, W.A. ve Klein, S. A., (1981), "Degree-days for variable base temperatures", Proc. 6th National Passive Solar Conference, 8-12 Eylül 1981, Portland.
- Göksal, T. ve Özbaltı, N., (2001), "Enerji Etkin Tasarımda Dış Duvarların Isıl Davranışları", 4. Türk Alman Enerji Sempozyumu, 21-24 Haziran 2001, İzmir.
- Günerhan, G. G., (1995), "Güneş Enerjisinin Aktif Sistemlerde Isıtma Amaçlı Kullanımı", Tesisat Mühendisliği Dergisi, TMMOB Mak. Müh. Odası, 22, Ekim 1995
- Güngör, A., (1993), "Binaların Doğal Isıtma ve Soğutulması İçin Güneş Enerjili Pasif Sistemlerin Kullanımı", Tesisat Mühendisliği Dergisi, TMMOB Mak. Müh. Odası, 1:3, Temmuz 1993.
- Kartal, S., Umaroğulları, F. ve Mıhlayanlar, E., (2005), "Gazbeton Ve Tuğlanın Isıl Atalet Davranışları İle İlgili Bir Araştırma", IV. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 1154-1158, Konya.
- Kartal, S., (2009), Güneş Mimarisi Elemanlarının Isıl Verimlerinin Türkiye İklim Şartları ve Yapı Konstrüksiyonları İçin Hesaplanması, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kılıç, A. ve Öztürk, A., (1983), Güneş Enerjisi, İstanbul.
- Klein, S. A., (1976), "Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces, Sharing the Sun", Joint Conf. ISES and SES, 1:376-389.
- Klein, S. A., (1978), "Calculations of Flat-Plate Collector Utilizability", Solar Energy, 21:393.
- Klein, S. A., (1979), "Calculation of the monthly-average transmittance-absorptance product", Solar Energy, 23:547-552.
- Liu, B. Y. H. ve Jordan, R. C., (1960), "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation", Solar Energy, 4:1-9.
- Majjad, M. Z., (1990), "Güneş Yük Oranı Metodunun Türkiye'ye Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- Monsen, W. A., Klein, S. A. ve Beckman, W. A., (1981), "Prediction of Direct Gain Solar Heating System Performance", Solar Energy, 27:143.
- Monsen, W. A., Klein, S. A. ve Beckman, W. A., (1982), "The Unutilizability Design Method For Collector-Storage Walls", Solar Energy, 29:421.
- Narin, M. ve Akdemir, S., (2006). "Enerji Verimliliği ve Türkiye", UEK-TEK 2006 Uluslararası Ekonomi Konferansı, Türkiye Ekonomi Kurumu 11-13 Eylül 2006, 2, Ankara.
- Onaygil, S., Meylani, E. A. ve Erkin, E., (2008), "Bina Sektöründe Enerji Verimliliği ile İlgili Yasal Düzenlemeler Ve Uygulamalar" Yalıtım Dergisi, 70.

Onbasioğlu, H., (1998), “Trombe Duvarlı Bir Pasif Güneş Sisteminde Türbülanslı Doğal Taşınımın Deneysel İncelenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Shaochun, M., Tieliang, W., Zhenbang, S., Guohong, T. ve Hongtao, H., (1994), “Solar House”, Integrated Energy Systems in China: The Cold Northeastern Region Experience 179-209, Research and Technology Development Div. , FAO, Rome.

Thom, H. C. S., (1954), “The Rational Relationship Between Heating Degree Days And Temperature”, Monthly Weather Review, Şubat 1954, 82:1-6.

Treberspur, M., (1994), “Neues Bauen mit der Sonne”, Springer Verlag, Wien New York, , 1.

Türk Standartları Enstitüsü, (2008), Binalarda Isı Yalıtım Kuralları TS 825, Mayıs 2008.

Utzinger, D. M. Ve Klein, S. A., (1979), “A Method of Estimating Monthly Average Solar Radiation On Shaded Recievers”, Solar Energy, 23:369.

Utzinger, D. M., (1979), “Analysis of Building Components Related to Direct Solar Heating of Buildings”, M. S. Thesis, Mechanical Engineering, University of Wisconsin-Madison.

Üçkardeş, S. E., (1992), “Pasif Sistemlerin Ekonomik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ünal, A., Tanes, Y. ve Onur, H. Ş., (1986), “Günlük Ortalama Güneş Işınımı ve Sıcaklık Değerlerinin Yıllık Değişiminin Sürekli Fonksiyonlarla İfadesi, Fonksiyon Parametrelerinin Türkiye’deki Dağılımı”, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 8(4):37-45, Ankara.

Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T., (2006), “Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma”, 1. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 21-23 Haziran 2006, Eskişehir.

Yılmaz, T., Bulut, H. ve Özgören, M., (1996), “Isı Kazancı Olarak Camdan Geçen Toplam Güneş Radyasyonunun Hesaplanması”. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11(2):133-146, Adana.

Yılmaz, Z. ve Kundakçı, B., (2008), “An Approach for Energy Concious Renovation of Residential Buildings In Istanbul by Trombe Wall System”, Building and Environment , 43:508-517.

Wilkinson, M. A., (2010), Building Environment Course Notes, University of Bath Resmi Web Sayfası.

İnternet Kaynakları

[1]. www.eie.gov.tr

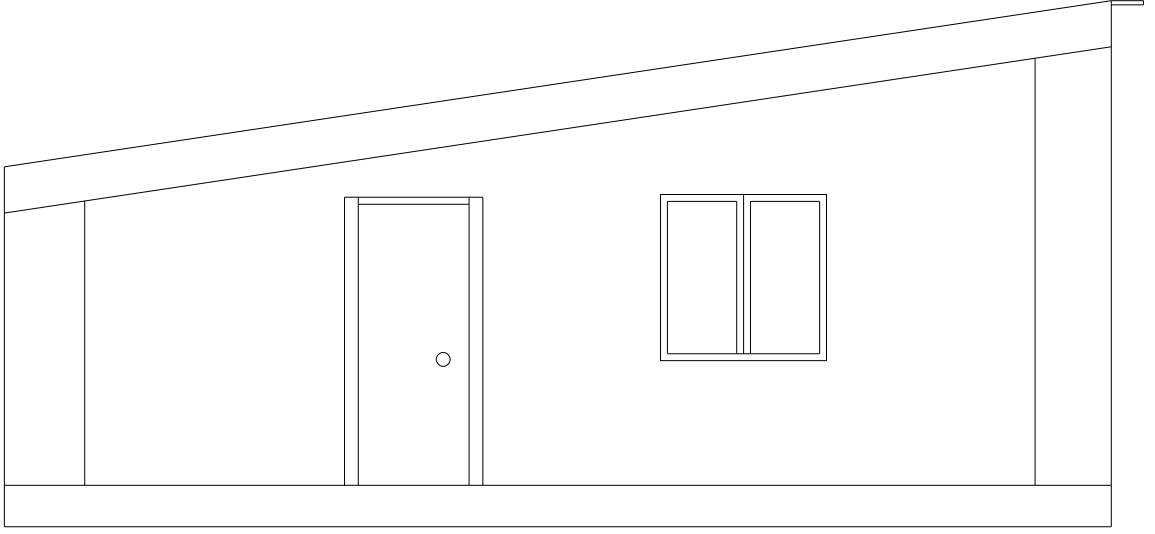
[2]. www.iea.org

[3]. www.insaathaberleri.net

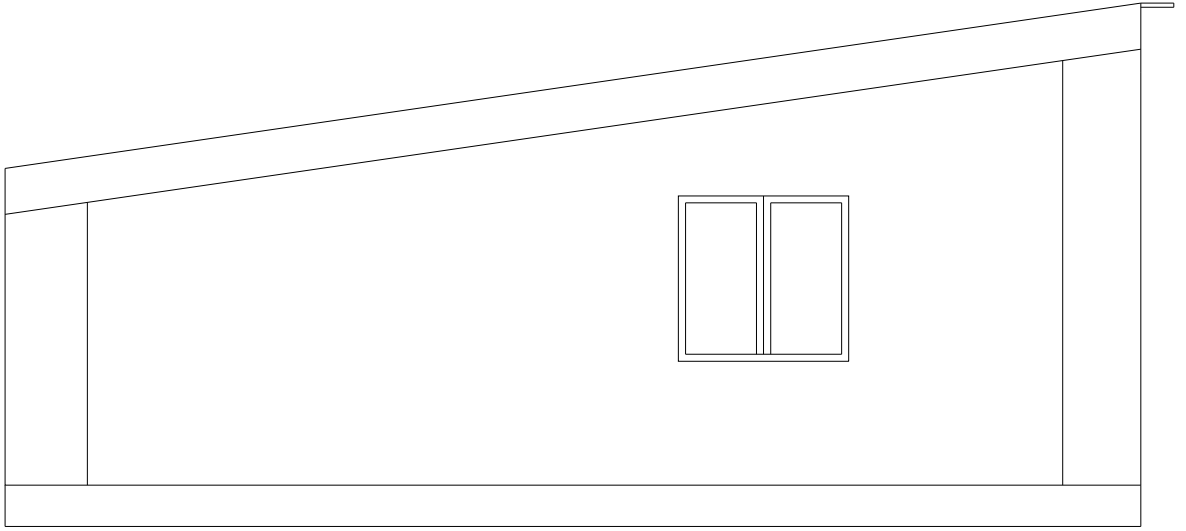
- [4]. www.kilsan.com
- [5]. www.ode.com.tr
- [6]. www.orplast.com.tr
- [7]. www.sundurmaci.com

EKLER

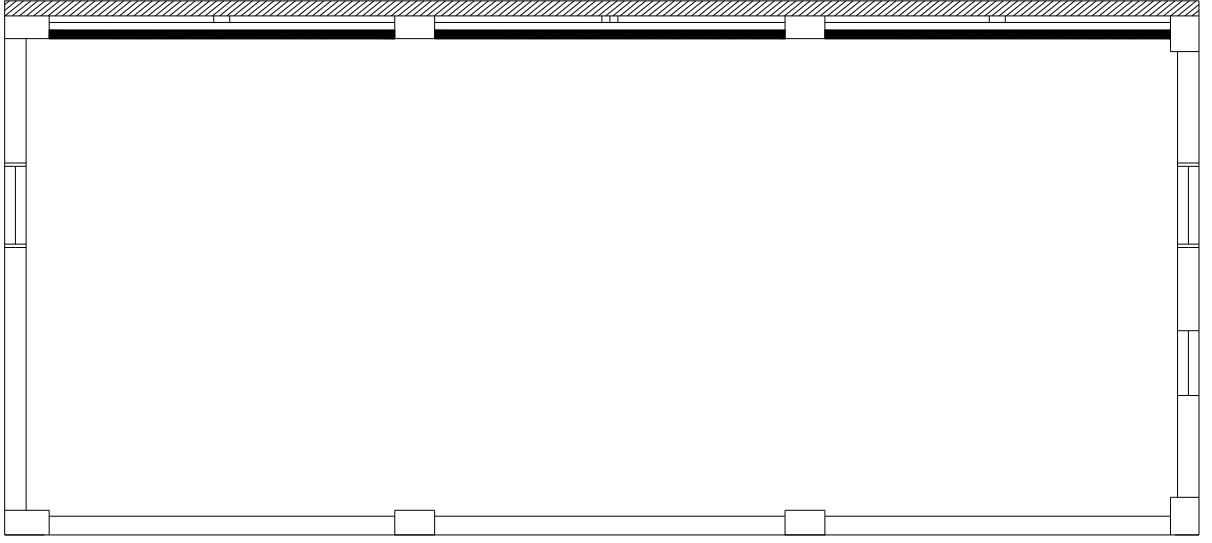
Ek 1	Tasarlanan Direkt Kazanç, Trombe Duvarı ve Konvansiyonel Sistem Mimarisi	82
Ek 2	Sundurmalar İçin Ortalama Gölgeleme Faktörleri	86

Ek 1. Tasarlanan Direkt Kazanç, Trombe Duvarı ve Konvansiyonel Sistem Mimarisi

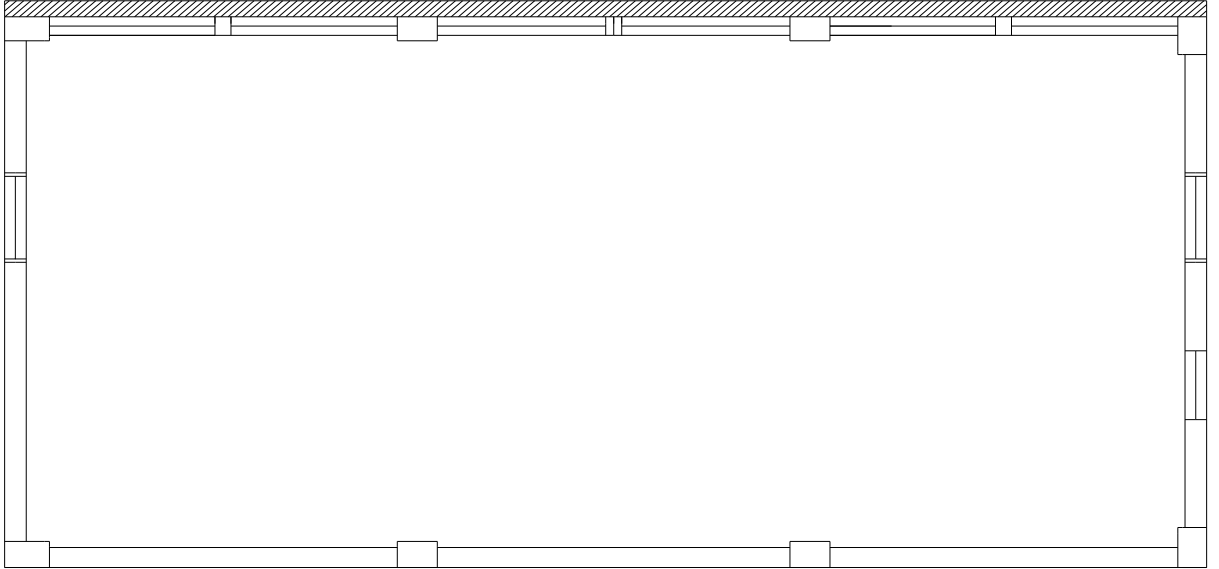
Binanın Batı yönünden görünüşü (Her üç sistem için aynı)



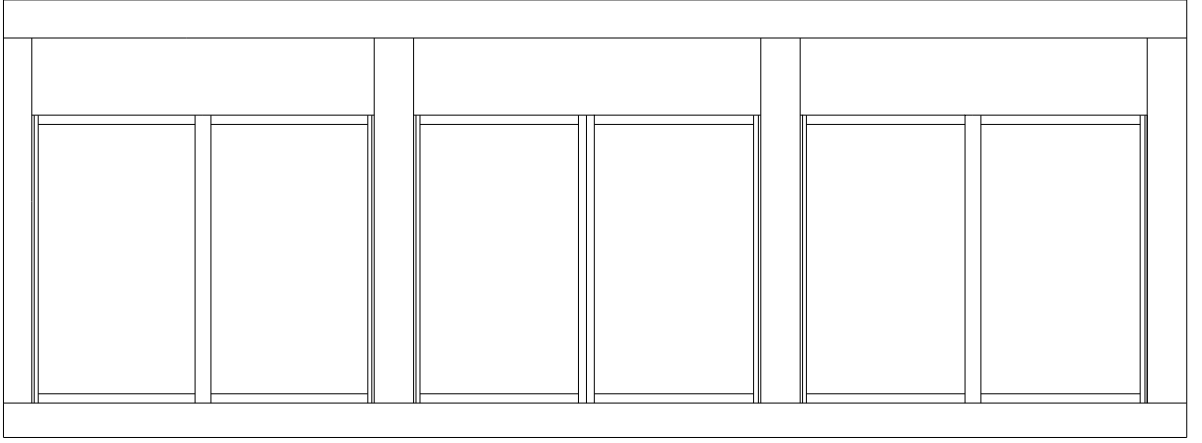
Binanın Doğu yönünden görünüşü (Her üç sistem için aynı)



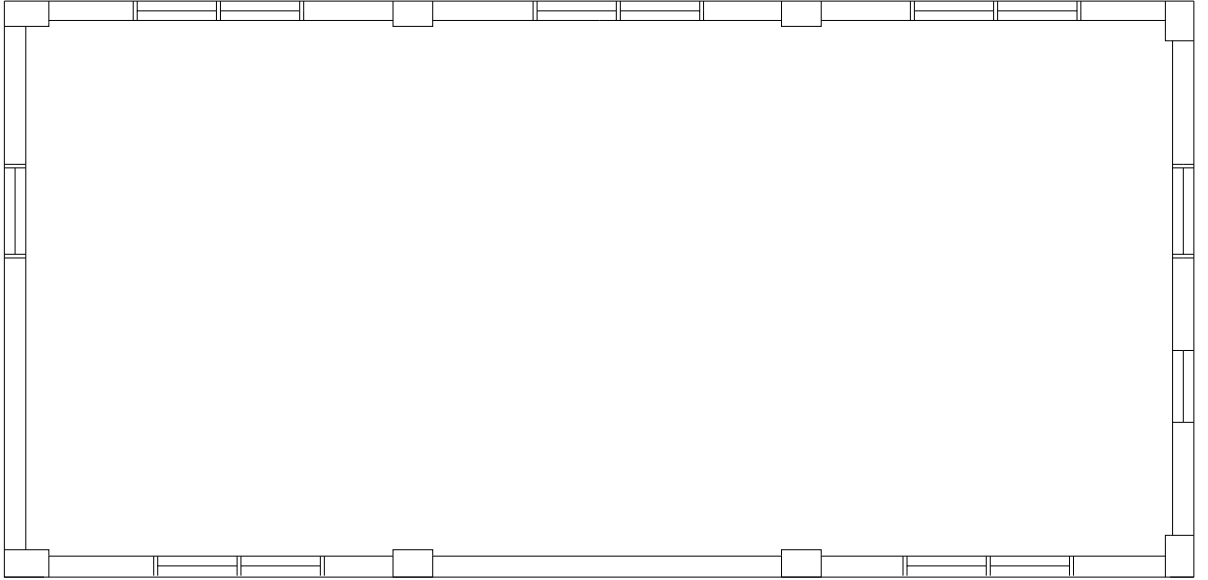
Trombe duvar sisteminin üst görünüşü



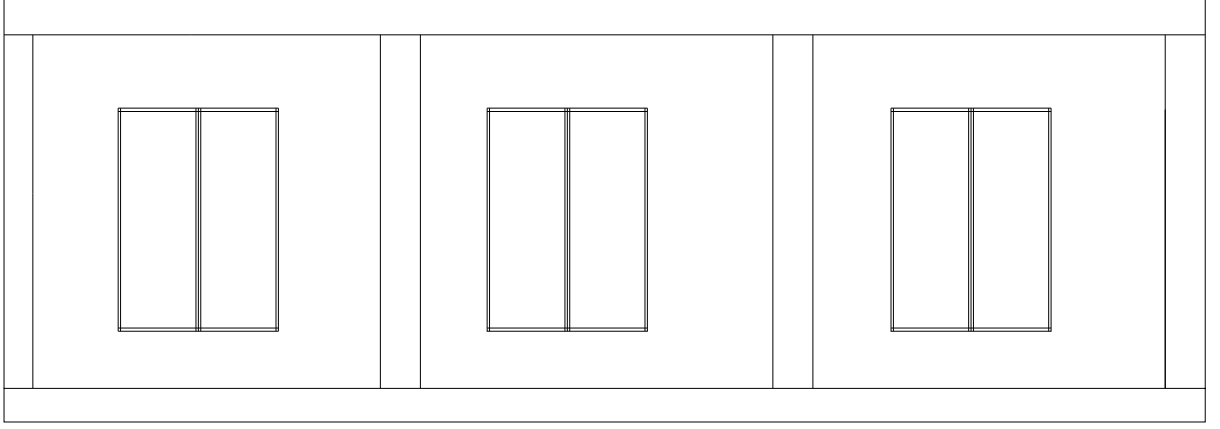
Direkt kazanç sisteminin üstten görünüşü



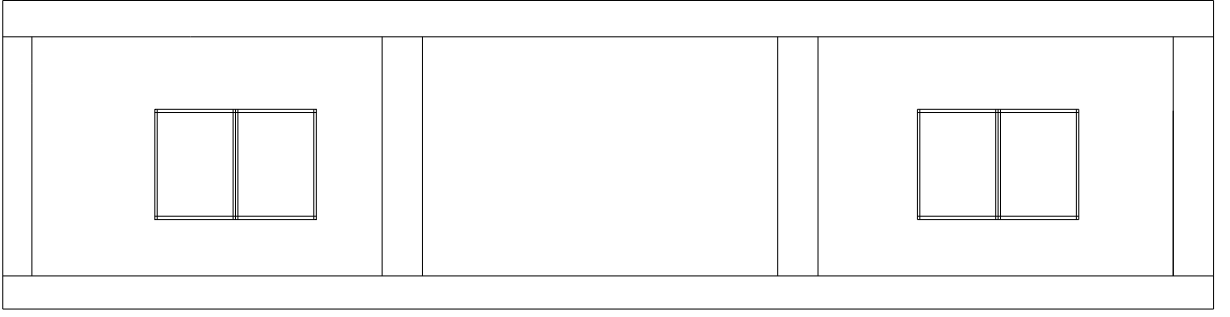
Trombe ve direkt kazanç sisteminin Güney yönünden görünüşü



Konvansiyonel sistemin üstten görünüşü

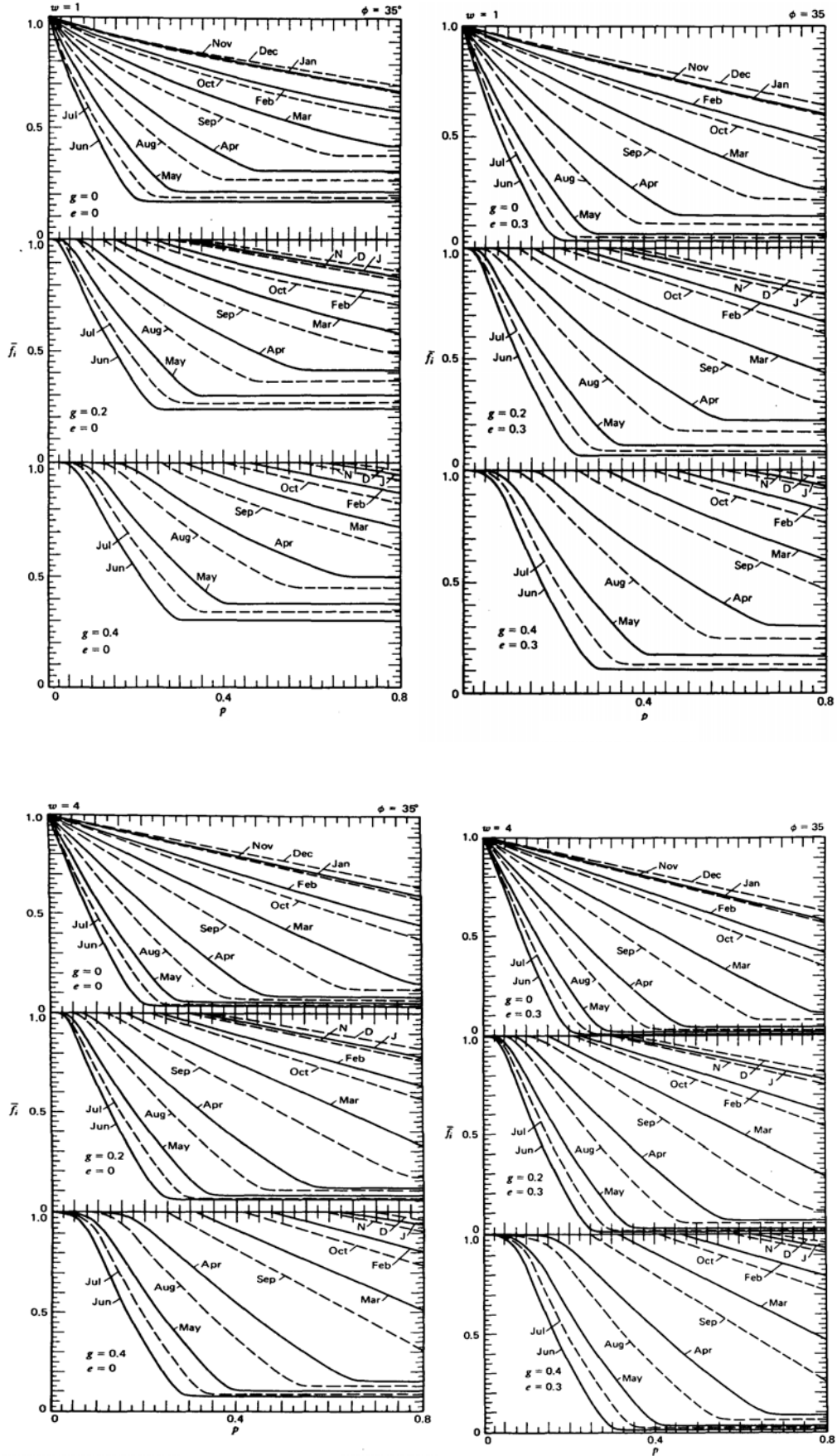


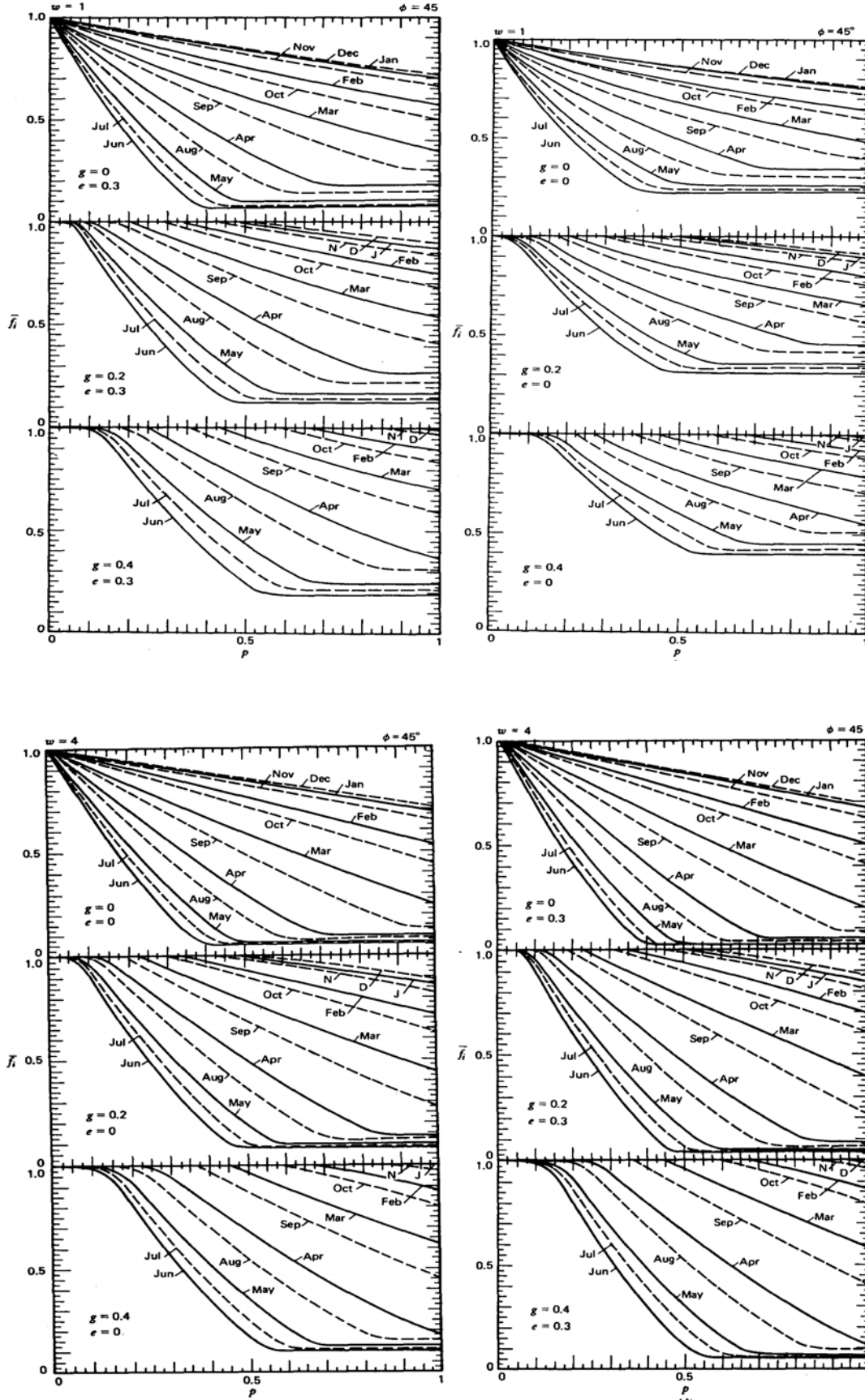
Konvansiyonel sistemin Güney yönden görünüşü



Konvansiyonel sistemin kuzey yönden görünüşü

Ek 2. Sundurmalar İçin Ortalama Gölge Faktörleri (Utzing, 1979)





35° ve 45° enlem dereceleri için gölgelik boyutlarının fonksiyonu olarak aylık ortalama $\bar{f}_i$ 'nin değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 29.05.1983

Doğum yeri Kastamonu

Lise 1997-2001 Esenler İbrahim Turhan Lisesi

Lisans 2001-2005 Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek lisans 2005-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı kurumlar

2005-2007 Mert Mühendislik Ltd. Şti.

2007-2009 Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü
Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü

2009-Devam ediyor Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve
Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB)