

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**GÜNEŞ ENERJİLİ KOMBİ SİSTEMLER
İLE KONUT ISITMASININ
ARAŞTIRILMASI**

Hasan Cem KARAPİRE

Güneş Enerjisi Enstitüsü

Bilim Dalı Kodu: 625.05.01

Sunuş Tarihi: 13.08.2009

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Koray ÜLGEN

Bornova-İZMİR

III

Sayın **Hasan Cem KARAPİRE** tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak sunulan “**Güneş Enerjili Kombi Sistemler İle Konut Isıtmasının Araştırılması**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 4 Ağustos 2009 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Yrd.Doç.Dr. Koray ÜLGEN

Raportör Üye : Yrd.Doç.Dr.Özay AKDEMİR

Üye : Yrd.Doç.Dr. Tahsin BAŞARAN

ÖZET**GÜNEŞ ENERJİLİ KOMBİ SİSTEMLER İLE
KONUT ISITMASININ ARAŞTIRILMASI**

KARAPİRE, Hasan Cem

Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı
Tez Yöneticisi: Yrd.Doç.Dr. Koray ÜLGEN
Ağustos 2009, 124 sayfa

Bu tez kapsamında, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) bünyesinde güneş enerjili ısıtma ve soğutma programı dâhilinde geliştirdiği güneş enerjili kombi sistemler ile konut ısıtması araştırılmıştır. Bunun için Task 26 kapsamında oluşturulan referans bina ve özellikleri bu çalışma kapsamında da kabul edilerek öncelikle TS 825 'e göre bina ısı yükleri hesaplanmıştır. Daha sonra yine Task 26 kapsamında geliştirilen kombi sistemlerden en etkini kullanılarak İzmir için referans binanın Nomogram yöntemine göre performans analizi yapılmıştır. Analizler farklı toplayıcı alanlarına göre yapılarak referans bina için en uygun toplayıcı alanı ve sistem büyüklükleri tespit edilmiştir.

Bu çalışma içerisinde gerçekleştirilen analizler sonucu binaların ısı ihtiyacını karşılama konusunda güneş enerjisinin, ciddi avantajlar sağladığı görülmüştür. Özellikle, iyi yalıtılmış binaların düşük enerjili sistemlere şartlandırılması etkin ve ekonomik çözümler oluşturmaktadır. Ana enerji kaynağı olarak güneşi kullanan sistemler, düşük enerjili ısıtma açısından ideal çözümler oluşturabilir.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjili kombi sistemleri, ısıtım, nomogram, güneş enerjili alan ısıtma sistemleri

ABSTRACT

INVESTIGATION OF BUILDING HEATING WITH SOLAR COMBISYSTEMS

KARAPIRE, Hasan Cem

Ms.C in Solar Energy

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Koray ÜLGEN

August 2009, 124 pages

In this thesis, in order to analyze the efficient solar combi systems, the reference building heating loads are calculated first by the International Energy Agency (IEA) from 1998 to 2002 according to TS 825, within the framework of solar heating and cooling program. Reference building and its characteristics, which have been created in the framework of Task 26, are accepted in this study as well. Later, by using the most effective combisystem developed in Task 26, performance analysis of the reference building for Izmir has been studied according to the Nomogram method. The analysis has been made according to different concentrator areas and the most effective concentrator area and system sizes are determined for the reference building.

According to the results of the analysis made in this study, it is found out that solar energy provides serious advantages for providing the heating demands of buildings. Especially, the application of low energy systems to good isolated buildings brings efficient and economic solutions. Systems using sun as the main energy source are ideal solutions for low energy heating.

Key words: Solar combi systems, irradiation, nomogram, solar space heating systems.

IX

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu günlere gelmemde en büyük emeği olan ve hiçbir maddi, manevi desteği esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı gerçekleştirebilmem için sağladıkları her türlü imkân için başta Prof.Dr. Sıddık İÇLİ olmak üzere Güneş Enerjisi Enstitüsü öğretim üyelerine,

Tez çalışmamın başlangıcından itibaren yardım, öneri ve desteğini esirgmeden beni yönlendiren hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Koray ÜLGEN'e,

2001 yılında geçirdiğim kaza sonucu tekrar hayata dönmemi sağlayan ve o günden beri hiç desteğini esirgemeyen Ege Üniversitesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyonu Bölüm Başkanı Prof. Dr. Berrin DURMAZ ve ekibine, uyguladığı ve yön gösterdiği tedavime yönelik çalışma programlarıyla ve pozitif enerjisiyle yapabileceklerimin üstüne çıkmamı sağlayan Balçova Termal Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Şefi Fizyoterapist Burcu Aplaç ARIN'a ve Balçova Termal çalışanlarına,

Ayrıca çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Hasan Cem KARAPİRE

İzmir, 2009

X

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
TEŞEKKÜR	IX
İÇİNDEKİLER	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
ÇİZELGELER DİZİNİ	XVII
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	XIX
1 GİRİŞ	1
2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
2.1 Yeryüzüne Gelen Anlık ve günlük Işınımın Belirlenmesi	7
2.1.1 Parametrik modeller	8
2.1.2 Ayırıştırma modelleri	12
2.2 Güneş Enerjili Kombi Sistemler ile Konut Isıtması	19
3 MALZEME VE YÖNTEM	31
3.1 Eğik Düzleme Gelen Günlük Işınımın Belirlenmesi	31
3.1.1 Güneş açıları	31

İÇİNDEKİLER (DEVAMI)

	<u>Sayfa</u>
3.1.2 Güneş ışıınım türleri ve hesaplamaları	37
3.1.3 Optimum toplayıcı eğim açısı	48
3.2 Bina Isıtma İhtiyacının Belirlenmesi	55
3.2.1 TS 825'3 göre binanın yıllık ısıtma ihtiyacının hesaplanması	55
3.2.1.1 Isı kayıplarının hesabı	56
3.2.1.2 Isı kazançlarının hesabı	59
3.2.1.3 kazanç kullanım faktörünün hesabı	62
3.2.1.4 Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerleri	63
3.2.2 Sıcak su ihtiyacının hesaplanması	64
3.3 Güneş Enerjili Kombi Sistemler	65
3.3.1 Güneş enerjili kombi sistemlerin tanımı ve sınıflandırması	65
3.3.2 Avrupa'daki güneş enerjili kombi sistem örnekleri	70
3.3.3 Güneş enerjili kombi sistemlerin tasarımı	73
3.3.4 Güneş enerjili kombi sistemlerin teorik analize ve boyutlandırılması	81
3.3.4.1 Teorik analiz	81

İÇİNDEKİLER (DEVAMI)

	<u>Sayfa</u>
3.3.4.2 Nomogram yöntemi ile boyutlandırılması	90
4 BULGULAR VE TARTIŞMA	96
4.1 Örnek Uygulama	96
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	112
KAYNAKLAR	116
ÖZGEÇMİŞ	123

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1	Yerli üretimin toplam tüketime oranı (%) 2
Şekil 1.2	Toplam tüketimin yerli üretimle karşılama oranının gelecek projeksiyonu..... 3
Şekil 1.3	Sektörel enerji tüketiminin dağılımı 4
Şekil 2.1	Angström denkleminin grafiksel gösterimi..... 13
Şekil 3.1	Deklinasyon açılarının yıllık değişimi..... 32
Şekil 3.2	Saat açısı 33
Şekil 3.3	Güneş yükseklik açısı ve azimut açısının şematik gösterimi 35
Şekil 3.4	Güneş yükseklik açısının şematik gösterimi..... 36
Şekil 3.5	Güneş enerjisinin atmosfer içerisinde uğradığı değişim..... 39
Şekil 3.6	Dalga boylarına göre güneş radyasyon şiddetleri .. 40
Şekil 3.7	İzmir için ölçülen ve hesaplanan aylık ortalama günlük toplam güneş ışıınımı değerleri 48
Şekil 3.8	Farklı eğim açılarına göre hesaplanan aylık ortalama günlük toplam güneş ışıınımı değerleri 52
Şekil 3. 9	Her ay için aylık, mevsimlik ve yıllık optimum eğim açıları 54
Şekil 3.10	Güneş enerjili kombi sistemin ana elemanları 66
Şekil 3.11	Isı depolama kategorisine göre tanımlama 68

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAMI)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.12	Ek ısı yönetim kategorisine göre tanımlama 69
Şekil 3.13	Güneş enerjili kombi sistem türleri. Sol: Danimarka pazarındaki. Sağ: Danimarka, İsviçre ve Avusturya pazarında 71
Şekil 3.14	Güneş enerjili kombi sistem türleri. Sol: İsviçre ve Finlandiya pazarında. Sağ: İsveç ve Finlandiya pazarında 72
Şekil 3.15	Almanya'daki güneş enerjili kombi sistem türleri 72
Şekil 3.16	Güneş enerjili kombi sistem türleri. Sol: Fransa pazarında. Sağ: Hollanda pazarında..... 73
Şekil 3.17	Güneş enerjili kombi sisteminin depolama tankının şematik gösterimi 74
Şekil 3.18	Evsel sıcak su boşaltım opsiyonları 75
Şekil 3.19	Yüksek akış hızı hacmine sahip bir güneş enerjili kolektör döngüsünden, ısı depolama tankına enerji aktarım yolları 77
Şekil 3.20	Güneş enerjisi döngüsünde kullanılabilecek katmanlaştırma tasarımları..... 78
Şekil 3.21	FSC Nomogram yönteminin şematik gösterimi 92
Şekil 4.1	TASK 26 kapsamında dikkate alınan yıllık enerji gereksinim aralığı..... 96

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAMI)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.2	Örnek binanın geometrik özelliklerinin şematik gösterimi 97
Şekil 4.3	İzmir için aylık bazda farklı ısı yüklerindeki binaların farklı alanlı toplayıcılarla karşılanma oranı 102
Şekil 4.4	Seçilen güneş enerjili kombi sistemin şematik gösterimi 103
Şekil 4.5	Referans binanın 10m ² toplayıcı alanına göre nomogram çözümü 105
Şekil 4.6	Referans binanın 15m ² toplayıcı alanına göre nomogram çözümü 106
Şekil 4.7	Referans binanın 20m ² toplayıcı alanına göre nomogram çözümü 107

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Önerilen a ve b katsayıları ve veri kaynakları.....	18
Çizelge 3.1 Her ay için deklinasyon açıları	32
Çizelge 3.2 Farklı iklim tipleri için düzeltme faktörleri.....	44
Çizelge 3.3 İzmir için aylık ortalama günlük toplam güneş ışıını değerleri	47
Çizelge 3.4 İzmir için aylık optimum eğim açıları ve bu açılardaki aylık ortalama günlük toplam güneş ışıını değerleri	53
Çizelge 3.5 İzmir için mevsimlik ve yıllık optimum eğim açıları ve bu açılardaki aylık ortalama günlük toplam güneş ışıını değerleri	54
Çizelge 3.6 Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü ($r_{i,ay}$).....	61
Çizelge 3.7 Laboratuar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü	61
Çizelge 3.8 Farklı derece-gün (DG) bölgeleri için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerleri.....	63
Çizelge 3.9 Standart boylerlerin referans verileri	84
Çizelge 3.10 Toplayıcı parametreleri (açıklık alanına bağlı veriler)	87
Çizelge 3.11 Günlük sıcak su ihtiyacına göre referans depolama kaybı	88

ÇİZELGELER DİZİNİ (DEVAMI)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.12 Nomogram'daki 4 diyagramın eksenlerinin listesi...	91
Çizelge 4.1 Örnek binanın özgül ısı kaybı hesabı.....	98
Çizelge 4.2 Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının belirlenmesi.....	99
Çizelge 4.3 Referans binanın aylık ve yıllık enerji gereksinim miktarları	100
Çizelge 4.4 İzmir için bina enerji talepleri ve güneşten üretilen enerjisi miktarları.....	101
Çizelge 4.5 Kombi sistem elemanlarının teknik özellikleri.....	103
Çizelge 4.6 10m ² toplayıcı alanına göre güneş enerjili kombi sistemin performansı.....	108
Çizelge 4.7 15m ² toplayıcı alanına göre güneş enerjili kombi sistemin performansı.....	109
Çizelge 4.8 20m ² toplayıcı alanına göre güneş enerjili kombi sistemin performansı.....	110
Çizelge 4.9 Referans binanın farklı toplayıcı alanlarına göre yıllık enerji tasarruf karşılama oranları	111

XIX

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ρ_c	Bulutun yansıtabilirliği (boyutsuz)
Γ	Gün açısı (radyan)
ρ_g	Yüzeyin yansıtabilirliği (boyutsuz)
ρ_a	Bulutsuz havanın yansıtabilirliği (boyutsuz)
ω_s'	Eğimli yüzeylerde güneşin batış açısı (°)
α	Güneşin yükseklik açısı (°)
γ	Azimet açısı (°)
δ	Deklinasyon açısı (°)
ρ	Eğik düzlemin çevresinin toplam güneş ışıınımı için yansıtma katsayısıdır
β	Eğim açısı (°)
ϕ	Enlem açısı (°)
θ	Güneş geliş açısı (°)
ω	Saat açısı (°)
η_{boyler}	Yıllık ortalama boyler verimi
τ_d	Direkt güneş ışınları geçirgenlik katsayısı
θ_e	Aylık ortalama dış ortam sıcaklığı (°C veya K)
$\eta_{\text{el,heater}}$	Yıllık elektrik üretim verimi (%)
θ_i	Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı (sabit alınır) (°C veya K)
$\theta_{i,\text{ay}}$	Aylık ortalama iç kazançlar (W)
$\theta_{s,\text{ay}}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları (W)

XX

$(UA)_{\text{loss,ref}}$	Referans depolama tankının ısı geçirgenliği ile alanının çarpımı (W/K)
τ_y	Yayıllı güneş ışınlamının geçirgenlik faktörü
τ_a	Aerosollar saçma geçirme katsayısı (boyutsuz),
A	Atmosfer dışına gelen güneş ışınlamı (W/m ²), Gözlem yapılan noktanın deniz seviyesinde olan yüksekliği (km)
a	Enlem, yükseklik ve güneşlenme süresi yüzdesinin regresyon katsayısı
Ac	Seçilen toplayıcı alanı (m ²)
A _ç	Çatı alanı (m ²)
A _d	Dışa açık döşeme (m ²)
A _D	Duvar alanı (m ²)
A _{dsic}	Düşük sıcaklıktaki ortamları ayıran yapı elemanlarına ait toplam alan (m ²)
A _i	Pencere alanı (m ²)
A _n	bina kullanım alanı (m ²)
a _o , a ₁ , k	Sabit
A _p	Pencere alanı (m ²)
A _{top}	Yapının ısı kaybeden alanlarının toplamı (m ²)
A _z	Zemin alanı (m ²)
b	Enlem, yükseklik ve güneşlenme süresi yüzdesinin regresyon katsayısı
B	Toplam geniş bant değerlerindeki temel atmosfer için atmosferik zayıflatma katsayısı (boyutsuz)
C _n	Berraklık faktörü (boyutsuz)
C _p	Suyun öz ısı (4.186 kJ/kgK)
DG	Derece-gün

XXI

DHW	Eysel sıcak su
E	Zaman düzeltme faktörü
E_0	Dünya yörüngesinin eksen kaçıklığını düzeltme faktörü
E_{aux}	Güneş enerjili kombi sistemin yardımcı enerji ihtiyacı (kWh/m ² yıl)
E_{boyler}	Yardımcı boylerlerin toplam enerji ihtiyacı (kWh/m ² yıl)
$E_{el,heater}$	Elektrikli ısıtma elemanının toplam enerji ihtiyacı (kWh/m ² yıl)
E_{par}	Birincil parazitik elektrik enerji ihtiyacı (kWh/m ² yıl)
$E_{par.ref}$	Referans sistemin birincil parazitik elektrik enerji ihtiyacı (kWh/m ² yıl)
E_{ref}	Referans sistemin kazanının toplam enerji ihtiyacı (kWh/m ² yıl)
E_{sav}	Yıllık enerji tasarrufu (kWh/m ² yıl)
E_{total}	Güneş enerjili kombi sisteminin toplam enerji ihtiyacı (kWh/m ² yıl)
$E_{total,ref}$	Referans sistem için, birleştirilmiş toplam enerji ihtiyacı (kWh/m ² yıl)
$F_{sav,therm}$	Kesirli ısı enerjisi tasarrufu
FSC	Kesirli Güneş Tüketimi
F_w	Verim faktörü
τ_g	Gaz saçma geçirme katsayısı (boyutsuz)
G	Aylık ortalama günlük yatay yüzeye gelen ışınlam (MJ/m ²)
$g_{\perp}$	Laboratuar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ısın için güneş enerjisi geçirme faktörü.
G_c	Aylık ortalama günlük açık gün yatay yüzeye gelen ışınlam (MJ/m ²)

XXII

$G_{i,ay}$	Güneş enerjisi geçirme faktörü
G_o	Atmosfer dışındaki yatay düzleme gelen bir saatlik güneş ışıınımı (MJ/m^2)
G_{on}	Yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük atmosfer dışı güneş ışıınımı ($MJ/m^2gün$)
GS	Güneş saati
H	Binanın özgül ısı kaybı (W/K), Yatay düzlemde aylık ortalama günlük toplam güneş ışıınımı ($MJ/m^2gün$)
H_B	Eğimli yüzeye gelen direkt güneş ışıınımı ($MJ/m^2gün$)
H_D	Eğimli yüzeye gelen difuz (yayıllı) güneş ışıınımı ($MJ/m^2gün$)
H_o	Aylık ortalama günlük atmosfer dışı güneş ışıınımı ($MJ/m^2gün$)
H_R	Eğimli yüzeye gelen yerden yansıyan güneş ışıınımı ($MJ/m^2gün$)
H_t	Eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışıınımı ($MJ/m^2gün$)
H_T	İletim ve tasınım yoluyla meydana gelen ısı kaybı
H_v	Havalandırma yoluyla meydana gelen ısı kaybı
I_{cd}	Bir saatte yatay düzleme gelen açık hava direkt güneş ışıınımı (J/m^2)
I_{ct}	Yatay bir düzleme bir saatte gelen açık hava toplam güneş ışıınımı (J/m^2)
I_{cy}	Bir saatte yatay bir düzleme gelen açık hava yayıllı güneş ışıınımı (J/m^2)
I_d	Direkt güneş ışıınımı (J/m^2)
$I_{d\beta}$	Eğik bir düzleme bir saatte gelen direkt güneş ışıınımı miktarı (J/m^2)

XXIII

I_{dz}	Yatay bir düzleme bir saatte gelen direkt güneş ışıını (J/m ²)
I_n	Düzleme dik gelen güneş ışıını (W/m ²)
I_{on}	Bir saatte yatay düzleme dik gelen açık hava direkt güneş ışıını (J/m ²)
I_{sc}	Güneş sabiti, (1367 W/m ²)
I_t	Toplam güneş ışıını (J/m ²)
I_{tz}	Yatay bir düzleme bir saatte gelen toplam güneş ışıını (J/m ²)
I_y	Yayıllı güneş ışıını (J/m ²)
$I_{y\beta}$	Eğik bir düzleme bir saatte gelen difüz güneş ışıını değeri (J/m ²)
I_{yy}	Yerden yansıyan yayıllı güneş ışıını (J/m ²)
$I_{yy\beta}$	Yüzeyinden difüz olarak yansıyan güneş ışıını miktarı (J/m ²)
I_{yz}	Yatay bir düzlemden bir saatte yansıyan güneş ışıını (J/m ²)
KKO_{ay}	Kazanç/Kayıp oranı
K_T	Aylık ortalama açıklık indeksi
I	Isı köprüsünün uzunluğu (m)
$I_{i,ay}$	Dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışıını şiddeti (w/m ²)
L_{loc}	Bulunduğu boylam
L_{st}	Standart boylam
L_w	Kullanım sıcak suyu ısıtılması için gerekli ısıtma yükü (J)
m_a	Güncel basınçtaki hava kütlesi
N	Ay içerisinde ki gün sayısı, Kişi sayısı

XXIV

n	Yıl içersindeki gün sayısı
n_h	Havalandırma sayısı
τ_o	Ozon saçma geçirme katsayısı (boyutsuz),
P	Yerel hava basıncı
P_0	Standart hava basıncı (1013,25 mbar)
$P_{nom, yanma}$	Nominal yanma gücü (kW)
Q_{ay}	Binanın aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (J)
Q_{boyler}	Yardımcı boylerin termal enerji yükü (kWh/m ² yıl)
$Q_{boyler, ref}$	Referans boylerin ısı enerji ihtiyacı (kWh/m ² yıl)
Q_{DHW}	Evsel sıcak su için gerekli enerji ihtiyacı (kWh/m ² yıl)
$Q_{el, heater}$	Elektrikli ısıtma elemanının ısı enerji yükü (kWh/m ² yıl)
$Q_{loss, ref}$	Referans tanktaki depolama kaybı (kWh/yıl)
Q_{SH}	Alan ısıtması için gerekli enerji ihtiyacı (kWh/m ² yıl)
$Q_{yıl}$	Binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (J)
τ_r	Rayleigh saçma geçirme katsayısı (boyutsuz),
R_b	Her ay için eğimli yüzeydeki ortalama direkt güneş ışınımının yatay düzlemdekine oranını
$r_{i, ay}$	Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü
r_o, r_1, r_k	Farklı iklim tipleri için düzeltme faktörü
S	Aylık ortalama günlük aydınlanma süresi
S_0	En fazla aylık ortalama günlük aydınlanma süresi
S_f	Aylık ortalama günlük olası aydınlanma faktörü, aydınlanma faktörü olarak bilinir (boyutsuz)
SH	Alan ısıtması
S_{om}	85°'den daha büyük Zenit açısı için düzeltilmiş ortalama günlük ışınım süresi (saat)
t	Güneşlenme süresi (saat) zaman (sn)

XXV

T_m	Hesap yapılan aydaki ortalama şebeke suyu sıcaklığı (°C)
T_{store}	Referans depolama tankındaki sıcak su sıcaklığı (°C)
$T_{store,amb}$	Çevre sıcaklığı (°C)
T_w	Sıcak su için kabul edilebilir en düşük sıcaklık (°C)
U_1	Basınç düzeltmesine bağlı çöktürülebilir suyun optik yol uzunluğu (cm)
U_3	Normal sıcaklık ve yüzey basıncı altındaki Ozon bağlı optik yol uzunluğu (cm)
U_{ϕ}	Çatı için ısı geçirgenliği (W/m²K)
U_d	Dışa açık döşeme için ısı geçirgenliği (W/m²K)
U_D	Duvar için ısı geçirgenliği (W/m²K)
U_{dsic}	Düşük sıcaklıktaki ortamları ayıran yapı elemanlarına ait ısı geçirgenliği (W/m²K)
U_l	Isı köprüsünün doğrusal ısı geçirgenliği (W/m²K)
U_p	Pencere için ısı geçirgenliği (W/m²K)
U_z	Zemin için ısı geçirgenliği (W/m²K)
$V_{brüt}$	Brüt hacim (m³)
V_d	Günlük sıcak su ihtiyacı (litre/gün)
V_h	Havalandırılan hacim (m³)
$V_{store,ref}$	Referans depolama tankının hacmi (m³)
τ_w	Su saçma geçirme katsayısı (Boyutsuz),
W_{boyler}	Boylerin cihazlarının elektrik ihtiyacı (kWh)
$W_{kontroller}$	Kontrolörlerin elektrik ihtiyacı (kWh)
W_{par}	Parazitik elektrik enerjisi ihtiyacı (kWh)
$W_{par,ref}$	Referans ısıtıcı sistemin parazitik elektrik enerjisi ihtiyacı (kWh)
W_{pompa}	Pompaların elektrik ihtiyacı (kWh)

XXVI

W_{valf}	Vanaların elektrik ihtiyacı (kWh)
YS	Yerel saat
Z	Zenit açısı ($^{\circ}$)
η_{ay}	Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü
ρ	Suyun yoğunluğu (1 kg/lit)
$\Phi_{i,ay}$	Aylık ortalama iç kazançlar (sabit alınır) (W)
$\Phi_{s,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W)

1. GİRİŞ

Güneş sonsuz enerji kaynağıdır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisi, dünyanın ihtiyaç duyduğu yıllık enerjiden 8500 kat daha fazla olmasına rağmen günümüzde ancak bu enerjinin %0,04'ünden yararlanabilmekteyiz. Güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olmasına karşın güneş enerjili ısıtma sistemlerine olan ilgi oldukça sınırlıdır. Bunun başlıca nedenleri fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin maliyetinin, güneş enerjili ısıtma sistemleri ile elde edilenden düşük olmasıdır. Fakat son yıllarda petrol fiyatlarındaki artış ve rezervlerin azalışı güneş enerjili ısıtma sistemlerin maliyetlerini karşılaştırılabilir düzeye getirmiştir.

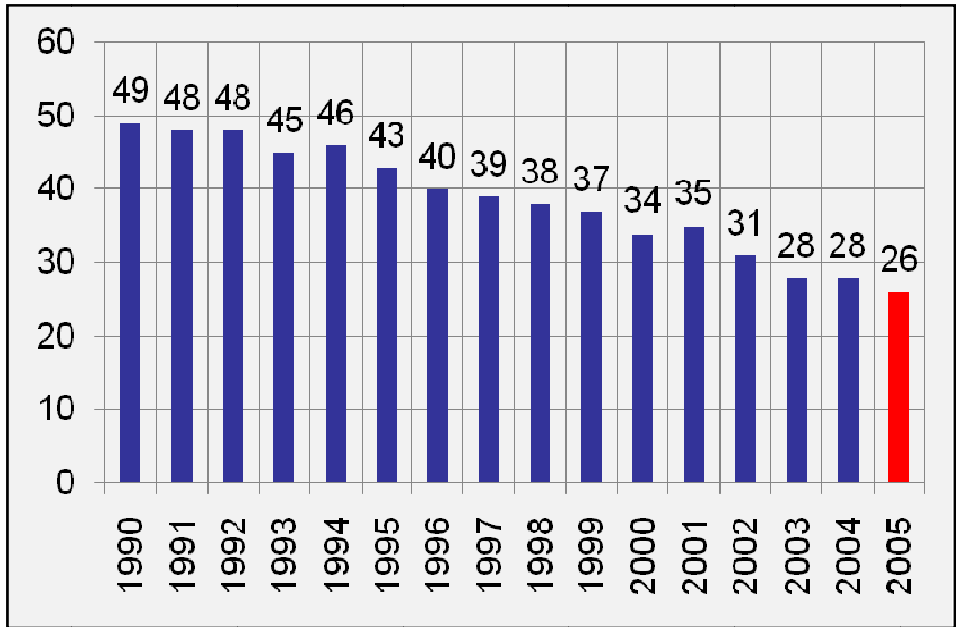
Güneş enerjili ısıtma sistemlerinin tercih edilmesindeki sebeplerden bir tanesi de fosil yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan CO₂ ve diğer sera gazlarının küresel ısınmaya ve iklim değişikliklerine sebep oluşudur. Fosil yakıtların yakılması sonucunda oluşan kirlilik ve sera gazları insan sağlığını, hayvanları ve diğer canlıları kötü bir biçimde etkilenmektedir. Sırf bu sebepten bile temiz yenilenebilir enerji bütün ülkeler tarafından desteklenmelidir.

Güneş enerjisi ve yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgilenilmesinin birçok nedeni vardır. Bunların başlıcaları;

- Fosil yakıtların bir limitinin olması

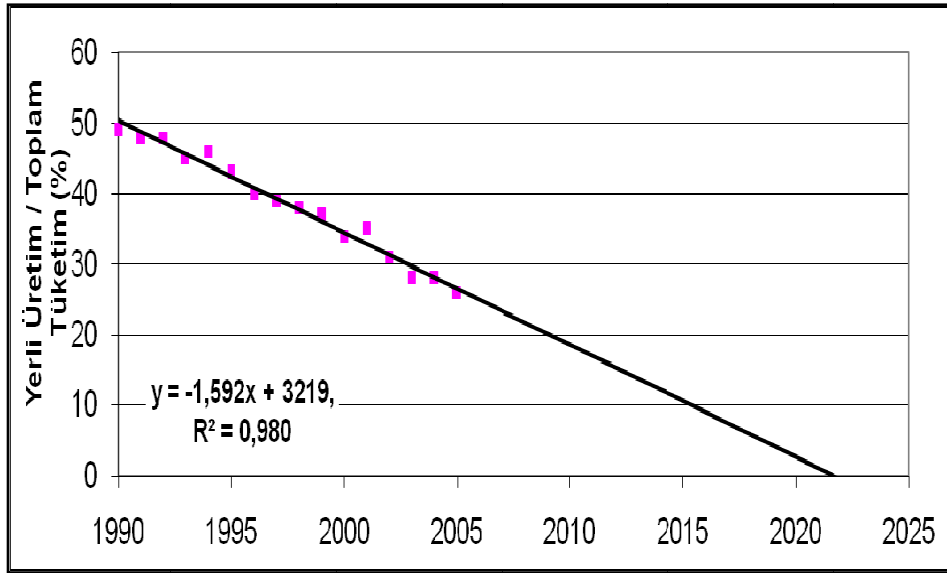
- Enerji kaynaklarındaki dengenin korunması
- Hava kirliliği ve iklim değışikliğı
- Yerel sanayinin refahının ve ihracatının büyümesi

Güneş enerjili ısıtma sistemlerinin tercih edilmesinin diğeri bir sebebi ise, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin fosil yakıt rezervlerinin az olmasına rağmen enerji ihtiyaçlarının devamlı artması sonucunda dışardan enerji satın almak zorunda kalarak bir nevi dışa bağımlı bir hale gelmesidir.



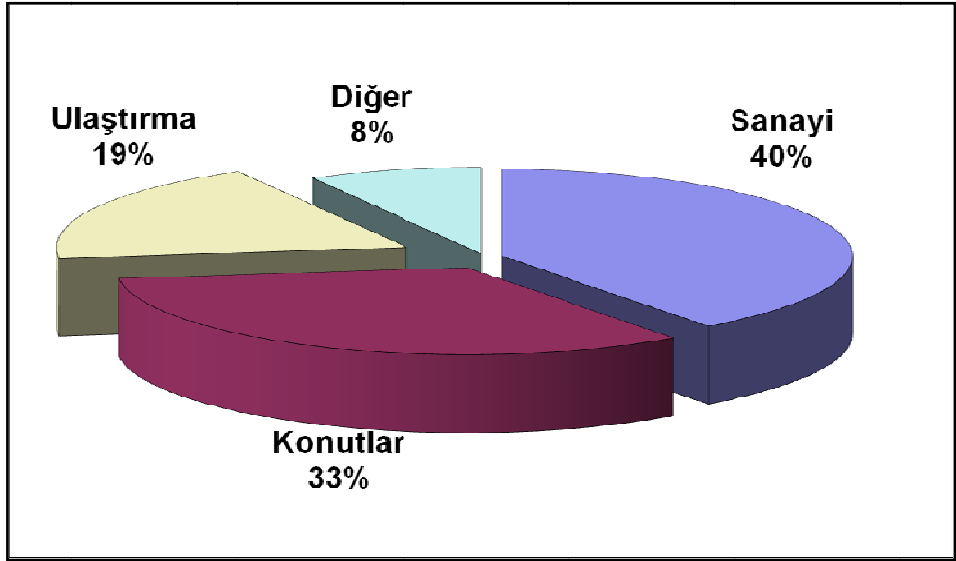
Şekil 1.1 Yerli üretimin toplam tüketime oranı (%).

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi Türkiye 1990 yılında ihtiyaç duyduğu enerjinin %50 ye yakın bir kısmını kendi üretebilirken bu oran 2005 yılında %26 ya kadar düşmüştür. Şekil 1.2’de ise böyle devam ederse 2025 yılına gelmeden tamamen dışa bağımlı bir hale geleceği görülmektedir.



Şekil 1.2 Toplam tüketimin yerli üretimle karşılama oranının gelecek projeksiyonu.

Türkiye’de 2005 yılı itibariyle tüketilen toplam enerjinin 90308 BTEP olduğu bilinmektedir. Bu oran 2006 yılında yaklaşık % 2,8lik bir artışla 93 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Tüketilen 93 MTEP enerjinin sektörlere göre dağılımı ise aşağıdaki Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Sektörel enerji tüketiminin dağılımı.

Şekil 1.3’de görüldüğü gibi toplam tüketilen enerjinin %33’ü konutlarda tüketilmektedir. Bu da yaklaşık 23013 BTEP gibi bir değere karşılık gelmektedir. Konutlarda tüketilen enerjinin %80’i ise ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Isıtma amaçlı tüketilen enerjinin ise % 24,9’u fuel-oilden, %39’u kömürden, %35,8’i doğalgaz gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır.

Bütün bu veriler ve yukarıda anlatılan sebeplerden yola çıkarak konutlarda ısıtma amaçlı kullanılan enerjinin bir kısmını, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjili ısıtma sistemleri ile karşılanmasının yolları aranmalıdır.

Günümüzde güneş enerjili ısıtma sistemleri olarak tanımladığımız sistemlerin gelişimi, 18. yy sonlarında pencere camının ısıyı hapsettiğinin ve cam yüzeyle kaplı alandaki sıcaklığın, suyun kaynama noktasındaki sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar çıktığının bulunmasıyla başlamıştır.

Güneş enerjili ısıtma sistemlerinden bir tanesi de güneş enerjili kombi sistemleridir. Düşünceleri ve temelleri 1975-1985 döneminde atılan güneş enerjili kombi sistemlerinin standart dışı ve karmaşık ilk örnekleri 1990'lı yılların başında görülmüştür. Günümüzde ise bu sistemlerin hem basit hem de ucuz örnekleri Avrupa ve Amerika da sıkça görülmektedir. Ülkemizde ise yok denecek kadar azdır.

Güneş enerjili kombi sistemleri geliştirmek amacıyla Uluslar arası Enerji Ajansı (IEA) 1998- 2002 tarihleri arasında Güneş Enerjili Isıtma ve Soğutma programı kapsamında Avrupa'dan birçok ülkenin ve Amerika'nın katıldığı Task 26 Solar Combisystems (Güneş Enerjili Kombi Sistemleri) adında bir proje geliştirmiş ve yayınlamıştır.

TASK 26 kapsamında geliştirilen bu projenin amacı, bir binanın ihtiyacı olan sıcak su ve mekân ısıtma talebinin güneş enerjili kombi sistemlerle karşılanmasıdır. Bu proje kapsamında gerçekleştirilen araştırmaya Almanya, Amerika, Avusturya, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Hollanda, İspanya, İsveç, İsviçre,

İtalya ülkeleri katılmıştır. Araştırmanın gerçekçi bir yaklaşımla yapılabilmesi için adı geçen ülkelerdeki binaların enerji tüketim düzeyleri sınıflandırılarak sistem tasarımları oluşturulmuştur. Proje kapmasında dikkate alınan bina yükleri 30, 60 ve 100 kWh/m²yıl olarak üç farklı tüketim yükü seçilmiş güneş enerjili kombi sistemlerinin projelendirilmesinde bu yükler kullanılmıştır.

TASK 26 kapsamında gerçekleştirilen projede, güneş enerjisi ana kaynak olarak belirlenmiş, güneş enerjisinin yetersiz kaldığı dönemlerde ihtiyacı karşılamak için, sıvı ve katı yakıt ile doğalgaz ve elektrik gibi ek kaynaklar kullanılmıştır.

Etkin bir analiz yapabilmek için TASK 26 kapsamında oluşturulan referans bina ve özellikleri bu çalışma kapsamında da kabul edilerek, Öncelikle, TS 825'e göre bina ısı yükleri hesaplanmıştır. Daha sonra yine TASK 26 kapsamında geliştirilen kombi sistemlerden en etkin kullanılarak, referans binanın Nomogram yöntemine göre performans analizi yapılmıştır. Analizler farklı toplayıcı alanlarına göre yapılarak referans bina için en uygun toplayıcı alanı ve sistem büyüklükleri tespit edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Yeryüzüne Gelen Anlık ve Günlük Güneş Işınımının Belirlenmesi

Bir bölgedeki anlık ve günlük güneş ışıınının bilinmesi binaların enerji ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli sistemlerin ve güneş enerjili ısıtma sistemlerin en uygun şekilde tasarlanmasında oldukça büyük önem kazanmaktadır.

Herhangi bir bölgede gerek duyulan güneş ışıınıını değęlerini bilmenin en iyi yolu uzun süreli ölçümlere dayalı veritabanlarını kullanmaktır, fakat ölçüm istasyonlarının her yerleşim bölgesinde olmaması güneş ışıınıını belirleyecek güneş ışıınıını modellerinin geliştirilmesine neden olmuştur.

Anlık direkt güneş ışıınıının önemli olduğu yüksek yoğunluklu güneş hücreleri ve yüksek sıcaklıkta çalışan ısı motorları gibi sistemlerle birlikte güneş ışıınıını modellerinde direkt ışıınının belirlenmesi önemli olmuştur (Wong and Chow, 2001).

Güneş ışıınıını modelleri 2 ana gruba ayrılır;

- Parametrik modeller
- Ayırıştırma modelleri

Parametrik modeller hesabın yapılacağı ana ait detaylı atmosferik bilgiler istemektedir, bu bilgilerden sıkça kullanılanları; bulutların tip, miktar ve dağılımı, güneşlenme oranı, atmosferdeki bulanıklık değeri, atmosferdeki su buharı miktarıdır. Bu anlık değerlere ulaşp hesaplamalarda kullanmak pratik olmayacaktır. Daha basit bir yöntem ASHRAE tarafından geliştirilmiş, mühendislik ve mimarlık çevrelerinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur.

Direkt yada diğer güneş ışıınımı değerlerini, ölçölmüş güneş ışıınımı değerlerinde yola çıkarak belirleyen korelasyon modelleri geliştirmekte mümkündür, bu modeller genellikle tüm güneş ışıınımı kullanarak yeryüzündeki anlık ve günlük ışıınımı belirlenmektedir.

2.1.1 Parametrik modeller

Iqbal Model C:

Düzleme dik gelen direkt güneş ışıınımı Iqbal, (1983) tarafından geliştirilmiş olup, Iqbal Model C 'de,

$$I_n = 0,9751E_0 I_{sc} \tau_r \tau_o \tau_g \tau_w \tau_a \quad (2.1)$$

şeklinde verilmiştir. Bu modelde güneş spektrumu 0,3-3 µm aralığında alındığı için 0,9751 sabiti kullanılmaktadır. I_{sc} güneş

sabitidir ve 1367 W/m^2 alınmıştır. E_0 boyutsuz sayısı ise dünya yörüngesinin eksen kaçıklığını düzeltme faktörüdür.

$$E_0 = 1.00011 + 0.034221 \cos \Gamma + 0.000128 \sin \Gamma + 0.000719 \cos 2\Gamma + 0.000077 \sin 2\Gamma \quad (2.2)$$

Burada Γ , radyan cinsinden gün açısını ifade etmekte ve denklem (2.3)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\Gamma = 2\pi \left(\frac{N-1}{365} \right) \quad (2.3)$$

Denklem (2.3)'de verilen N, yıl içerisindeki gün sayısını ifade etmektedir. 1 ocak 1.günü, 31 aralık ise 365.günü gösterir.

τ_r , τ_o , τ_g , τ_w , τ_a boyutsuz sayıları sırasıyla atmosfer özelliklerine bağlı rayleigh, ozon, gaz, su ve aerosolların saçma-geçirme katsayılarıdır ve sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanırlar (Munner *et al.*, 2005).

$$\tau_r = e^{-0.0903 m_a^{0.84} (1+m_a-m_a^{1.01})} \quad (2.4)$$

$$\tau_o = 1 - \left[\frac{0.1611 U_3 (1 + 139.48 U_3)^{-0.3035}}{-0.002715 U_3 (1 + 0.044 U_3 + 0.0003 U_3^2)} \right]^{-1} \quad (2.5)$$

$$\tau_g = e^{-0.0127m_a^{0.26}} \quad (2.6)$$

$$\tau_w = 1 - 2.4959U_1 \left[(1 + 79.034U_1)^{0.6828} + 6.385U_1 \right] \quad (2.7)$$

$$\tau_a = e^{-I_{ao}^{0.873} (1 + I_{ao} - I_{ao}^{0.7808}) m_a^{0.9108}} \quad (2.8)$$

ASHRAE modeli:

ASHRAE modeli mühendislik ve mimarlık çevresinde geniş kullanım alanı bulan, Persons, (1999) tarafından geliştirilmiş bir modeldir. Düzleme dik gelen direkt güneş ışıınımı I_n (W/m^2),

$$I_n = C_n A e^{\frac{B}{\sec Z}} \quad (2.9)$$

olarak verilmiştir. A (W/m^2) atmosfer dışına gelen güneş ışıınımıdır ve dünya-güneş mesafesine göre değişmektedir.

$$A = I_{sc} E_0 \text{ sabit} \quad (2.10)$$

Güneş sabiti olan I_{sc} bu modelde 1322 W/m^2 olarak alınmıştır. E_0 boyutsuz sayısı ise dünya yörüngesinin eksen kaçıklığını düzeltme faktörüdür. Çarpım sabitinin değeri ise 0,9 değerine yakındır. B boyutsuz sayısı atmosferik zayıflatma

katsayısıdır ve değeri yıl içinde değişiklik göstermektedir. C_n boyutsuz sayısı ise berraklık faktörüdür.

Denklem (2.9) deniz seviyesindeki şartlara göre verilmiştir. P hesabın yapıldığı yerdeki hava basıncı ve P_0 standart atmosfer basıncı olmak üzere deniz seviyesinden farklı yüksekliklerde denklem (2.11)'deki gibi bulunabilir.

$$I_n = C_n A e^{-\frac{B}{\sec Z} \left(\frac{P}{P_0} \right)} \quad (2.11)$$

A ve B sayıları adı geçen yayında tablolar halinde verilmiştir, fakat ASHRAE'nin yaptığı bir çalışma olduğu için tablolar Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan şehirlere uygun hazırlanmıştır. Başka ülkelerde bu tabloların kullanılması hatalı sonuçlar vermektedir. Güneş sabitinin 1322 W/m^2 alınması ve atmosfer dışı ışıyım çalışması, zamanın gerisinde kalmıştır.

B değerleri 2 ABD şehrinde yapılan yerel ölçümlerin değerlendirilmesiyle deneysel olarak bulunmuştur ve deneylerde kullanılan ölçüm cihazlar eski modellerdir, ayrıca ölçülen değerler yerleşim yerindeki şartlar etkilediği için, dünyadaki her yerleşim yerinde kullanılması uygun değildir.

Bu modelde, yerin yansıtma oranı kullanılmamıştır, bu nedenle çevreden olan yansımaların ışınlama katkısı olmayacaktır. Aerosol kaynaklı yayılı ışınlamanın katkısı da ihmal edilmektedir, her ne kadar yayılı ışınlamanın direkt ışınlama katkısı az olsa da aerosol kaynaklı yayılı ışınlamanın toplam yayılı ışınlama katkısı büyüktür.

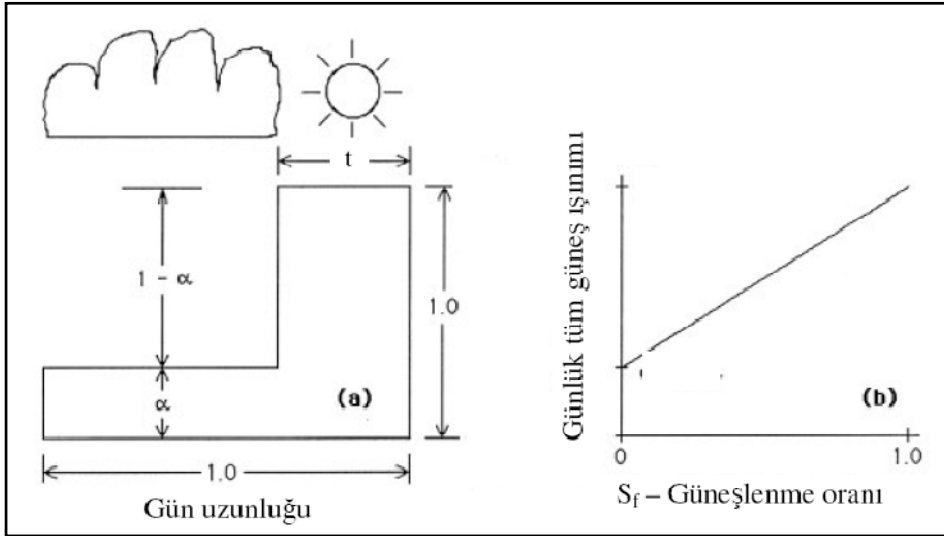
2.1.2. Ayırıştırma modelleri

Güneş ışınlamının teorik olarak belirlenmesi için bulutların tipi, optik özellikleri, miktarı, kalınlığı, pozisyonu ve katman sayısı gibi bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler nadiren toplanmaktadır ama güneşlenme süreleri ve toplam bulutlanma (gökyüzünün bulutlarla kaplanma oranı) bilgileri birçok yer için toplanmıştır ve kolaylıkla ulaşılabilir. Yatay düzleme gelen tüm güneş ışınlamının aylık ortalaması, güneşlenme süresinden yola çıkarak belirlenebilir.

Kimball, (1919) yılında güneşlenme oranının günlük tüm güneş ışınlamıyla bağıntılı olabileceğini ileri sürmüştür, Angström ilk modeli geliştirmiş günlük tüm güneş ışınlamının aylık ortalamasının açık havadaki günlük tüm güneş ışınlamının aylık ortalamasına oranının, güneşlenme oranına bağlı olduğunu önermiştir.

a sabiti Stockholm/İsveç için 0,25 olarak elde edilmiştir. Angström denkleminin grafiksel gösterimi Şekil 2.1'deki gibidir

gösterilmiştir. Eşitlik (2.12) anlamak için Şekil 2.1a incelenirse, yatay eksen gün uzunluğu dikey eksen ise günlük tüm güneş ışıdır. Gün uzunluğu 1 kabul edilirse, güneşlenme süresi t , havanın kapalı olduğu süre ise $(1-t)$ olacaktır. Benzer yaklaşımla açık havadaki tüm güneş ışıdır 1, havanın kapalı olduğu süredeki tüm güneş ışıdır α olacaktır, açık ve bulutlu zaman dilimlerindeki tüm güneş ışıdır zamanlar ile çarpılırsa eşitlik (2.12) elde edilmiş olur. Şekil 2.1b ise güneşlenme oranı ile günlük tüm güneş ışıdır arasındaki ilişki görülmektedir (Suehrcke, 1999).



Şekil 2.1 Angström denkleminin grafiksel gösterimi (Suehrcke, 1999).

$$\frac{G}{G_c} = a + (1-a)S_f = a + bS_f \quad (2.12)$$

$$S_f = \frac{S}{S_0} \quad (2.13)$$

Angström modelinde havanın açık olduğu günlerde S_f değerinin $a+b=1$ değerini sağlaması gerekir fakat güneşlenme süresini ölçen cihazlardan kaynaklanan problemlerden dolayı eşitlik asla sağlanamamaktadır bu da ışınımın düşük belirlenmesine neden olmaktadır.

Angström denkleminin değiştirilmiş hali olan Angström-Prescott denklemi, Prescott, (1940) tarafından teklif edilmiştir.

$$\frac{G}{G_c} = a + bS_f \quad (2.14)$$

Bu denklem için katsayılar $a= 0,22$, $b=0,54$ olarak verilmiştir. Her iki denklemde de ((2.12) ve (2.14)) a ve b değerleri havanın kapalı olduğu bir gündeki yayılı ışıma bağılıyken $a+b$ toplamı açık havadaki tüm güneş ışımasına bağlıdır. Her iki denklemde de Q değerinin hesap yapılan aydaki idealize edilmiş bir güne uyduğu kabul edilmektedir. Bu değer hesap yapılan aydaki iki limit gün (gökyüzünün bulutlarla tam kapalı yada tamamen açık olduğu) boyunca toplanan tüm güneş ışıınının ağırlıklı toplamından elde edilmektedir. G_c değerinin kesin olarak hesaplanmasında da problemler yaşanmaktadır.

Bu denklem atmosfer dışına gelen ışıını es as alacak şekilde Prescott tarafından tekrar değiştirilmiş, Gueymard, (1993a, b) tarafından gözden geçirilmiştir. a ve b farklı yerler için sabit değerler almaktadır. Denklem (2.15) ile belirtilen değiştirilmiş Angström-Prescott denkleminin olumsuz yönü denklem (2.11) de G_c ile değerlendirilmiş olan atmosferin güneş ışıınıını geçirme etkisinin yerel olarak olmayışıdır.

$$\frac{G}{G_0} = a + bS_f \quad (2.15)$$

Atmosfer dışındaki yatay düzleme gelen bir saatlik güneş ışıınıı G_0 (MJ/m²) denklem (2.16) ile bulunabilir.

$$G_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs} E_0 \cos \phi \cos \gamma \left[\sin \omega_s - \left(\frac{\pi}{180} \right) \omega_s \cos \omega_s \right] \quad (2.16)$$

Burada, $I_{gs} = 1367 * 3,6 \text{ kJ / m}^2\text{h}$ olarak hesaplanır.

Ångström-Prescott denklemi mühendislik ve bilimde çok geniş kullanım alanı bulmuş ve yerel olarak a ve b katsayılarını inceleyen ve denklemde yerel olarak değişiklikler öneren birçok çalışma yapılmıştır (Kaplanis, 2006).

Rietveld, (1978), a ve b sabitleri ile ilgili bir çok yayını incelediğinde yıllık güneşlenme oranına göre a'nın doğrusal b'nin ise hiperbolik değişim gösterdiğini görmüştür.

$\left\langle \frac{S}{S_0} \right\rangle$ yıllık güneşlenme oranı olmak üzere,

$$a = 0.10 + 0.24 \left\langle \frac{S}{S_0} \right\rangle \quad (2.17)$$

$$b = 0.38 + 0.084 \left\langle \frac{S_0}{S} \right\rangle \quad (2.18)$$

Eğer $\left\langle \frac{S}{S_0} \right\rangle = \frac{S}{S_0}$ olarak kabul edilirse Rietveld Modeli sabit katsayılı Angström-Prescott denklemine basitleştirilebilir. (2.17) ve (2.18) denklemleri (2.15) yerine konulursa,

$$\frac{G}{G_0} = 0.18 + 0.62 \frac{S}{S_0} \quad (2.19)$$

Bu denklemi dünyanın her yeri için denenmiş ve $\frac{S}{S_0} < 0,4$ olduğu bulutlu durumlarda üstün sonuçlar alınmıştır.

Glover ve McCulloch, (1998) enlem etkisini de hesaba katmış ve enlemin 60° den küçük olduğu değerler için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$\frac{G}{G_0} = 0.29 \cos \phi + 0.52 \frac{S}{S_0} \quad (2.19)$$

Gopinathan, (1988) enlem, yükseklik ve güneşlenme süresi yüzdesinin regresyonu ile a ve b katsayılarını dünyanın herhangi bir yerinde kullanmak üzere önermiştir.

$$a = -0.309 + 0.539 \cos \phi - 0.0693h + 0.29 \frac{S}{S_0} \quad (2.20)$$

$$b = 1.527 - 1.027 \cos \phi + 0.0926h - 0.359 \frac{S}{S_0} \quad (2.21)$$

a ve b katsayıları önerildikleri bölgeye bağımlıdır (Çizelge 2.1). Bulutların optik özellikleri, yerin yansıtma oranı ve ortalama hava kütlesinden etkilenmektedirler. Hay, (1979) bu faktörleri Kanada'nın batısında yapılan ölçüm bilgileriyle incelemiş ve bölgeden bağımsız bir korelasyon önermiştir.

$$\frac{G_t}{G_0} = \frac{0.1572 + 0.556 \left(\frac{S}{S_{om}} \right)}{1 - \rho_g \left[\rho_a \left(\frac{S}{S_{om}} \right) + \rho_c \left(1 - \frac{S}{S_{om}} \right) \right]} \quad (2.22)$$

Bu korelasyonda, ρ_a bulutsuz gökyüzünün albedosunu ifade eder ve 0.25 değerini alır, ρ_c ise bulutlu gökyüzünün albedosudur ve 0.60 değerini alır. Ayrıca,

$$S_{om} = \frac{1}{7.5} \cos^{-1} \left(\frac{\cos 85 - \sin \phi \sin \delta_c}{\cos \phi \cos \delta_c} \right) \quad (2.23)$$

Çizelge 2.1 Önerilen a ve b katsayıları ve veri kaynakları

a_1	b_1	Veri kaynağı
$0.1 + 0.24 \left(\frac{\bar{S}}{S_o} \right)$	$0.38 + 0.08 \left(\frac{\bar{S}}{S_o} \right)$	Dünya çapında 42 nokta ($6^\circ < \phi < 69^\circ$)
0.18	0.62	Dünya çapında 42 nokta ($6^\circ < \phi < 69^\circ$)
$0.29 \cos \phi$	0.52	$\phi < 60^\circ$
0.175	0.552	Tahran, Suudi Arabistan ($17^\circ < \phi < 27^\circ$)
$-0.309 + 0.539 \cos \phi -$ $0.0693h + 0.29 \frac{\bar{S}}{S_o}$	$1.527 - 1.027 \cos \phi +$ $0.0926h - 0.359 \frac{\bar{S}}{S_o}$	Dünya çapında ($5^\circ < \phi < 54^\circ$)
0.2843	0.4509	Bahreyn ($\phi = 27^\circ$)
0.206	0.546	Güney Fransa ($\phi = 42^\circ$)
0.2006	0.5313	Kuzey Hindistan ($\phi = 27^\circ$)

2.2 Güneş Enerjili Kombi Sistemler İle Konut Isıtması

Güneş enerjisinden sıcak su üretimi amaçlı çalışmaların başlangıcı 18.yüz yıla dayanmasına rağmen kombi sistemlerle ilgili ürün geliştirme ve uygulama çalışmaları 1990 yıllarda başlamıştır. Özellikle Uluslararası Enerji Ajansı bünyesinde kurulu olan ve güneş enerjisi ile ilgili araştırmaların yürütüldüğü Güneş enerjili ısıtma ve soğutma programında, güneş enerjili kombi sistemlerin geliştirilmesine yönelik bir proje geliştirilmiş (1992-2007) ve muhtelif Avrupa ülkelerine uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Kısaca TASK 26 olarak anılan bu proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar ve bunların sonuçlarını kısaca aşağıdaki gibi açıklamak mümkündür.

Ellehaug, (1992), ısı yalıtım laboratuvarında sıcak su ve hacim ısıtma amaçlı güneş enerjili kombi sistemlerinin maliyet ve veriminin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapılmış, sistemlerinin maliyet veriminin değerlendirilmesinde sistematik bir yaklaşım uygulanmıştır. Yalnızca bazı hallerde ve uygun maliyetle sıcak su için tasarlanmış kombi sistemler için bu sonuçlar:

Üç şekilde elde edilmiştir.

- Sıcak su ve hacim ısıtılması için imal edilmiş sistemlerin izlenmesi.

- En uygun katmanlaştırma ve düşük akış ilkesinin kullanılarak geleceğe yönelik kombi sistemleri için önerilerin teorik incelenmesi.
- Önerilen sistemler üzerinde en ümit verici deneysel tasarımın test edilmesi, izlenmesi.

Furbo and Shah, (1996) güneş enerjili kombi sistemlerinde kullanılan kolektörlerdeki akışkanın optimum debisine yönelik bir çalışma yapılmış ve debinin ısı performans üzerindeki etkisi incelenmiş, en yüksek ısı performans değeri için akışkanın debisinin kolektörün m^2 başına 0,15 ile 0,20 l/dak. olarak hesaplanmıştır.

Neumann, (1996) farklı ısıtma sistemlerinin ve yapı tiplerinin, küçük ölçekli güneş enerjili kombi sistemlerinin termal performansı üzerindeki etkisi incelenmiş, bu çalışmada İsveç ve Almanya da en son teknoloji radyatör ısıtma sistemi mevcut, ısı yalıtımı yapılmış bir yapı dikkate alınarak benzeşim yapılmış sonuçlar ortaya konmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda en ekonomik optimum toplayıcı alanı $10m^2$, depolama tankı kapasitesi 500–750 litre olarak hesaplanmıştır.

Lorenz *et al.*, (1997), güneş enerjili ısıtmadaki kombi tank sistemlerinin tasarımına göre performansları incelenmiş, bu incelemede altı gün testi adı verilen bir test yöntemi kullanılmış.

Onatlı farklı tank sistemi altı gün boyunca farklı güneş enerjisi fraksiyonu altında (%52 den %92) değerlendirilmiş, test sonuçları ve ölçülen dataların sonuçları analiz edilmiştir.

Drück and Hahne, (1998) güneş enerjili kombi sistemleri için sıcak su depolarının karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Güneş enerjili kombi sistemler olarak bilinen sıcak su hazırlama ve hacim ısıtma sistemleri, birçok Avrupa ülkesinde artan bir pazar payına sahiptir. Halen Almanya'da tek ve kalabalık konutlara satılan güneş enerjili ısıtma sistemlerinin yaklaşık üçte biri Kombi sistemlerdir. Isı deposu (Combistore) , güneş enerjisinin kısa vadeli olarak depolandığından ve boyler için tampon (yardımcı) ısı deposu olarak kullanıldığından bu yana bu sistemler için anahtar bileşendir. Bir tüketici dergisi için Alman Kombi Sistemleri karşılaştırma testinde farklı kombi depolar (Combistores) ayrıntılı olarak incelenmiştir. Kombi depoların ısı performansını prEN 12977,3 standardı altında belirlendi. Esas olarak ITW tarafından geliştirilen bu test yöntemi birbirini takip eden aşamalara bölünebilir; yapılan test dizileri prEN 12977,3 içinde tanımlanmıştır. Depo sıcaklığı ve giriş – çıkış debisi ölçülürken çevre sıcaklığı da ölçülüp kaydedildi. Uygun bir sayısal modelde deponun ısı davranışlarının anlaşılması için parametrelerin tanımlanması. Yeniden benzeşim ile belirlenmiş parametrelerin doğrulanması. Bu makalede bazı özel kombi depoların şematik düzeni gösterilmiş ve açıklanmıştır. Bunlardan çoğunun Kombi depoların katmanlı yükleme ve/veya boşaltımına

olanak veren belirli aygıtları vardır. Farklı kombi depolar için yapılan test yöntemleri ve elde edilen sonuçlar gösterilip tartışılmıştır. Bir güneş enerjili ısıtma istemindeki farklı kombi depoların davranışları sistem benzeşimi yardımıyla belirlenen sınır şartlarında (meteoroloji, sıcak su ve hacim ısı yükü) incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Dahm *et al.*, (1998) ısı dönüştürücülü depolama tanklarının biçimlendirilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. ISO/DP 9459-4A, bir uluslar arası standart olarak 1996'da önerilmiş olan küçük ölçekli güneş enerjili ısıtma sistemleri için değişmez bir kalite standardıdır. Bu önergede, kabul edilen model parametre değerlerinde kullanılan benzeşim desteğiyle, sistem bileşenleri ayrı ayrı test edilir ve toplam sistem performansı hesaplanmaktadır. Bir diğer yaklaşım ise sonuçların genel sistem performansı ölçümü olarak kullanılabileceği belirli koşullar altında işletilen tüm sistemin test edilmesidir. Bileşen testi ve sistem benzeşimi esnektir, fakat doğru ve güvenilir bir benzeşim modelini gerektirir. Sistem testinin avantajı benzeşime bağımlı olmaması ve doğru sistem performansını göstermesidir. Testin dezavantajı ise sınır şartlarıyla sınırlı olmasıdır. Isı deposu sistem performansı için anahtar bileşendir. Bu şekilde, bu çalışma bir depolama sisteminde, yardımcı elektrikli ısıtıcı, iç ısı değiştiricileri ve kısma vanası üzerine odaklanır. Dört farklı depolama sistemi güneş enerjisi toplayıcı benzeşimi ve istatistikî üretilen sekiz günlük test serileri kullanılarak kapalı bir sistemde test edilmiştir. Depo bileşen

testi ve sistem benzeşimi dört farklı biçimde uygulanmıştır, depolar için uygulanan standart, ISO/DP 9459-4A, 1996 ve MULTIPORT depolama modelidir. Bu makale de kapalı sistem test sonuçları, depolama bileşen testleri, depolama model parametre değerlerinin onaylanması ve sistem benzeşim değerleri tartışılmıştır.

Lorenz *et al.*, (1998) İsveç teki kombi sistemleri için tasarım ve iklim şartları ile sistem performanslarının değişimi incelenmiş, iki farklı yapı ve farklı ısıtma yükleri için değişik sistemler tasarlanmış benzeşim programları ile performansları ölçülüp sistemde bulunan elemanların, depolama tankı,kolektörün performansı,iklim şartları ve sistemin büyüklüğü gibi parametrelerin etkisini ortaya konmuştur.

Kovac and Sandberg, (1998) alan ısıtması ve sıcak su için küçük ısı depolamalı tanklar incelenmiş, dört farklı depolama sistemi oluşturulmuş, tek bir tankın kullanılmasının güneş enerjili ısıtma için faydalı olabileceği, aynı zamanda iki veya üç tanklı sistemlerinde kullanılabileceği fakat depolama hacmi otomasyonun önceden çözümlenmesi gerektiği bildirilmiş. Sonuç olarak hem kullanıcılar hem uygulayıcılar hem de üreticiler için önerilerde bulunulmuştur.

Furbo and Andersen, (1999) bu çalışmada güneş enerji kombi sistemlerinde akıllı tankların geliştirilmesinde geleceğe yönelik önerilerde bulunulmuş ve geleneksel tankların yerine bu

tankların kullanılması halinde yıllık ısı performans değerinde %30 a varabilecek bir artış olabileceği belirtilmiştir.

Qin and Furbo, (1999) vakum tüplü güneş enerjisi kolektörü ile güneş enerjili ısıtma sistemleri incelenmiş, yapılan laboratuar testleri ve teorik hesaplamalar sonunda düzlemsel güneş kolektörü yerine vakum tüplü kolektör kullanılması halinde sistemin, yıllık ısı performans değerinde %25- %55 oranında bir artış olduğu saptanmış.

Obendorfer et al., (1999) güneş enerjili kombi sistemlerinde kullanılan tankların ve toplayıcı ısı dönüştürücüleri parametrelerinin incelenmesi üzerine bir çalışma yapılmış, ısı dönüştürücüleri sayısı, yeri, tanklardaki ısı kayıplarının dikkate alındığı modeller oluşturularak benzeşimler yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir.

Rekstad et al., (1999) güneş enerjisinden efektif olarak yararlanmanın, güneş enerjisi kolektörünün veriminden çok sistemin tasarımına bağlı olduğu belirtilmiştir.

Meir *et al.*, (2000) çok katlı apartman dairesi yapıları için güneş enerjili kombi sistem uygulaması incelenmiş ve Oslo da ki Klosterenga rezidansı hakkında bilgi verilmiştir.

Mahler *et al.*, (2000) konutlar için büyük ölçekli (toplayıcı alanı>150m²) güneş enerjili ısıtma sistemleri incelenmiş, sistemin büyüklüğü arttıkça, sistemin performansının artacağı ve ilk yatırım maliyetlerinin azalacağı tahmin edilmektedir. Bunu ölçmek için yatırım maliyetinin, yıllık enerji kazancına oranı hesaplanmış ve küçük sistemlerle karşılaştırıldığında %70 e varan bir artış olabileceği gözlenmiştir. Bu tip güneş enerjili sistemler için merkezi ısıtma sistemi uygulanması gerektiği belirtilmiştir.

Overgaard and Ellehauge, (2000) Danimarka da ki güneş enerjili kombi sistemler dâhilinde yardımcı ısıtıcı olarak biokütle kullanılan sistemler incelenmiş, Danimarka da müstakil yapılar için değişik tipte sistemler oluşturulmuş ve yaklaşık bir yıl boyunca sistemlerin performans değerleri incelenmiştir. Kullanıcı faktörü, ısı kayıpları gibi parametrelerin farklılığından dolayı çok farklı değerlere ulaşılmıştır

Sandnes *et al.*, (2000) güneş enerjili kombi sistemlerinde korunaklı depolama sistemi ile depolama üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Bales, (2000) güneş enerjili kombi sistemlerindeki depolama performanslarının gelişimi üzerine bir çalışma yapıp, aynı ısı depoya üç test yönteminin uygulandığı proje sonuçlarını açıklar. İlk yöntem yeterli standardıdır, 'prEN – 12977 – 3 güneş enerjili ısıtma için ısı depolarının Performans Karakteristiği'. Bu test yönteminin

özellii Güneş enerjili ısıtma sistemleri için bileşen testi ve sistem benzeşimi olarak bilinir (CTSS). Bu yeterlik standardının birkaç test ve parametre tanımlama değerleriyle basitleştirilmiş türü olan ikinci yöntemdir. Üçüncüsü ise, proje içinde geliştirilen yöntemdir. Bu yöntem yalnızca kısa dönem laboratuvar testlerinin girdi-çıkıı analiziyle temellendirilmiştir. Elde edilenler, tipik sistemde yıllık performansın temsili olarak tasarlanmış test sonuçlarıdır. Bu yöntem Kombitest olarak bilinir ve hala geliştirme basamağının birincil aşamasındadır. Bu makale üç kombi sistem için uygulanan test yöntemlerini açıklar. Bu üç sistem daha sonra birbirleriyle karşılaştırılmaktadır. Her bir yöntemin avantajı ve dezavantajı analiz edilmekte ve açıklanmaktadır. Sonuç olarak, bu alandaki çalışma için öneriler yapılmaktadır.

Streicher, (2000) güneş enerjili ısıtma sistemlerinde borulardaki ani akışkan darbesini önlemek üzerine yapılmış bir çalışmadır.

Ellehauge, (2000) Danimarka da ki güneş enerjili kombi sistemler ve en yaygın sistem tasarımları hakkında bilgi verilmiştir. Danimarka'da ki güneş enerjili ısıtma sistemlerinin yaklaşık 33–50 %'si evsel sıcak su ve hacim ısıtmada ısı eldesi için kullanılmaktadır. Özellikle bir sistem en popüler olanıdır ve Danimarka'da tüm kombi sistemlerin % 90'ından daha fazlasında kullanılmaktadır. Bu sistem, güneş ısısının hacim ısıtma için doğrudan güneş kolektör devresinden merkezi ısıtma devresine ısı

değiştiricisi aracılığı ile uygulanırken sıcak su için kullanılan normal güneş enerjili sıcak su deposu ile nitelendirilir. Bu yöntemde, hacim ısıtmadaki güneş ısı depolanmaz ve yalnızca kolektör devresi işlemde olduğu zaman kullanılır. Sistemin düşük maliyet avantajı vardır, fakat kullanıcı ve konut ısı performansına aşırı bağımlı performans sorunları olabilir. Bir diğer tasarım, merkezi ısıtma devresinde ısı geri kazanımı için ekstra ısı değiştiricili geniş sıcak su depolarıdır. Bu ve ilk bahsedilen tasarım IEA TASK 26 güneş enerjili kombi sistem olarak değerlendiren Danimarka tasarımıdır. Diğer sistemler merkezi ısıtma devresiyle sıcak su üretimi ve geri boşaltmalı sistemlerdir ve genellikle biokütle yakıtlı boylerlerde tecrübe edilmiş depo içinde depo tasarımlardır.

Suter *et al.*, (2000) güneş enerjili kombi sistemlerin 2000 yılındaki genel durumu hakkında bilgi verilmiş, Task 26 kapsamında yürütülen proje katılan ülkelerdeki mevcut ve geliştirilmekte olan sistemler hakkında bilgi verilmektedir.

Weiss, (2000) orta, güney Avrupa koşullarında güneş enerjili ısıtma sistemleri incelenmiş, güneş enerjili kombi sistemlerinin, yalıtımlı binalar ve gelişen teknoloji ile hem sıcak su hem de alan ısıtması ihtiyacını karşılaya bileceği gözlenmiş ve gelecekte büyük bir market payına sahip olacağı belirtilmiştir.

Weiss *et al.*, (2000) düşük enerjili bina yapımına yönelik bir çalışma yapılmış. Gleisdorf / Styria da yüksek yalıtım standartlarına uygun, güneş enerjili pasif ısıtma sistemlerinin olduğu ve güneş enerjili kombi sistemde yardımcı ısıtıcı olarak biokütle kullanıldığı bir ev ve ofis inşa edilmiş. Bir yıllık dönem sonunda ofisin toplam enerji ihtiyacını karşılamak için biokütle ve elektrik ihtiyacının 35 kWh / m²yıl olduğu hesaplanmıştır.

Andersen *et al.*, (2001) güneş enerjili kombi sistemlerinin ısı performanslarının farklı sistem tasarımlarına göre değişiklikleri incelenmiş. Sistemlerin optimizasyonunun değişik sistem, kontrol ve tüketim parametrelerinin dikkate alındığı farklı benzeşim modelleri kullanılarak yapılmıştır.

Meir *et al.*, (2001) büyük toplayıcı alanlarının çatıya entegrasyonu üzerine bir çalışma yapılmış, Norveç teki uygulamalar hakkında bilgi verilmiştir.

Meir *et al.*, (2002) güneş enerjili sistemlerin performansının, kolorimetre metodu ile belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır.

Pittet *et al.*, (2002) güneş enerjili kombi sistemlerin yerinde ölçümlerinin değerlendirilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır.

Henden *et al.*, (2002) farklı toplayıcı verimliliğine sahip güneş enerjili kombi sistemlerinin ısı performansının değerlendirilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır.

Andersen *et al.*, (2003) havanın güneş enerjili ısıtma sistemlerinde ısı performansına etkisi incelenmiş ve havanın sistemin ısı performansında % 25'e varan bir etkisi olduğu ortaya konmuştur.

Andersen *et al.*, (2004) Danimarka ya özgü güneş enerjili kombi sistemlerinin pratikteki ve teorideki ısı performansları incelenmiş, pratikteki mevcut uygulamalardan bahsedilmiştir.

Andersen and Furbo, (2005) güneş enerjili kombi sistemlerinin gelişimi incelenmiş, piyasadaki mevcut sistemlere değinilmiştir. Weiss'e (2003) atfen en iyi performansa sahip sistemin katmanlaştırma aygıtları kullanılmış ve hem boylerin hem de güneş kolektörü döngüsünde tek bir kontrol sistemi kullanılan sistemlerin olduğu belirtilmiştir. Deneysel incelemeler sonucunda en iyi güneş enerjili kombi sistemin, hem kolektör hem de alan ısıtma döngüsünde katmanlaştırma aygıtlarının kullanıldığı ve kullanım sıcak su ihtiyacının yardımcı sistemden karşılandığı sistem olduğu saptanmıştır.

Andersen, (2007) güneş enerjili kombi sistemlerin ve katmanlaştırma aygıtlarının tasarım seçeneklerinin teorik değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapılmış, farklı tasarımdaki güneş enerjili kombi sistemlerin teorik analizi Danimarka da ki hava koşullarında gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda farklı sıcak su ve alan ısıtma yükü için sistem büyüklüğünün, toplayıcı alanının ve katmanlaştırma aygıtlarının sistemin ısı performansındaki etkilerine değinilmiştir. Bu çalışma (IEA SHC), TASK 32 kapsamı altında incelenmiştir.

Fiedler, (2007) pelletli boyler/fırın ile birlikte kullanılan güneş enerjili ısıtma sistemlerinin optimizasyon metodu üzerine bir çalışma yapılmış, optimizasyonun başlıca kriterinin, tipik müstakil İsveç evi için gerekli yükler altında, minimum (CO) salanımı sağlayan ve yardımcı ısıtıcıya (mazot, pellet, elektrik) minimum ihtiyaç duyduğu tasarım parametrelerini oluşturmak olduğu belirtilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Eğik Düzleme Gelen Günlük Işınımın Belirlenmesi

3.1.1 Güneş açıları

Dünyaya gelen güneş ışınımının bulunmasında dünyaya göre güneşin hareketi incelenir. Güneş açılarının belirlenmesinde dünya merkezde diğer gezegenlerin ve güneşin (veya yıldızlar) dünyanın etrafında gösterildiği çok büyük yarıçaplı gök küreden faydalanılır.

Bu gök küre üzerinde güneşin dünyaya göre konumu ve hareketi “Güneş Açıları” ile belirlenir.

Deklinasyon Açısı (δ):

Deklinasyon açısı, güneş öğlesinde ekvator düzlemine göre güneşin açısal yüksekliğini ifade etmektedir, $23.45^\circ \geq \delta \geq -23.45^\circ$ arasında değerler alır ve Cooper formülü olarak adlandırılan eşitlik (3.1) yardımıyla hesaplanabilir. (3.1) eşitliğinde “n” değeri yıl içerisindeki gün sayısını ifade etmektedir (Duffie and Beckman, 1991).

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right), (^\circ) \quad (3.1)$$

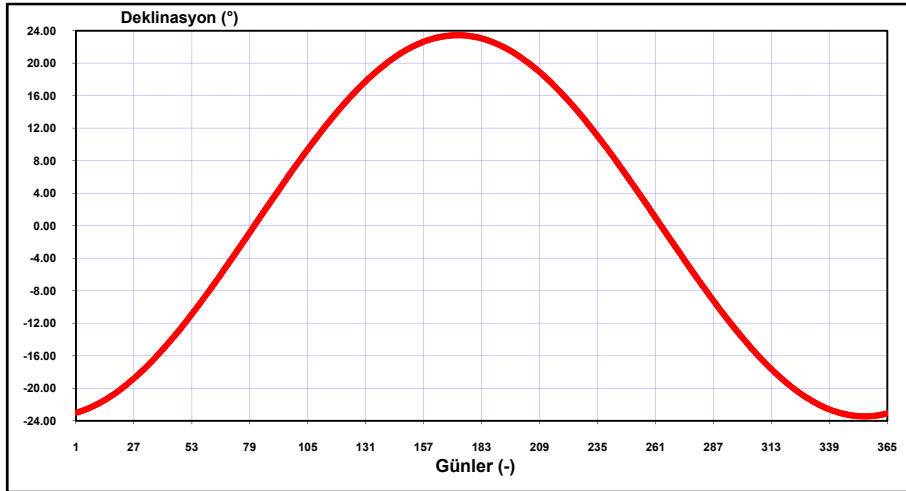
Çoğu zaman hesaplamalarda aylık ortalama değerler kullanılır. Deklinasyon açısının aylık ortalama değerleri Çizelge 3.1 den okunur yada deklinasyon açısı değeri hesap yapılacak ayın

ortalama deklinasyon açısına eşit olan gün o ayı karakterize eden gün olarak kabul edilip o gün için hesap yapılır (Duffie and Beckman, 1991).

Çizelge 3.1 Her ay için deklinasyon açıları.

AY	n. Ayın i. Günü için	Ayın Ortalama Günü için		
		Tarih	n, yıl içindeki gün sayısı ¹	δ (°)
Ocak	1	17	17	-20.91696
Şubat	31 + i	16	47	-12.95446
Mart	59 + i	16	75	-2.41773
Nisan	90 + i	15	105	9.41489
Mayıs	120 + i	15	135	21.43630
Haziran	151 + i	11	162	23.08591
Temmuz	181 + i	17	198	21.18369
Ağustos	212 + i	16	228	13.45496
Eylül	243 + i	15	258	2.21689
Ekim	273 + i	15	288	-9.59940
Kasım	304 + i	14	318	-18.91195
Aralık	334 + i	10	344	-23.04962

¹ Yıl içindeki gün sayıları, Şubat 29 olan yıllar için geçerli değildir. O yıl için n değerine Mart'tan başlamak üzere 1 sayısı eklenir.

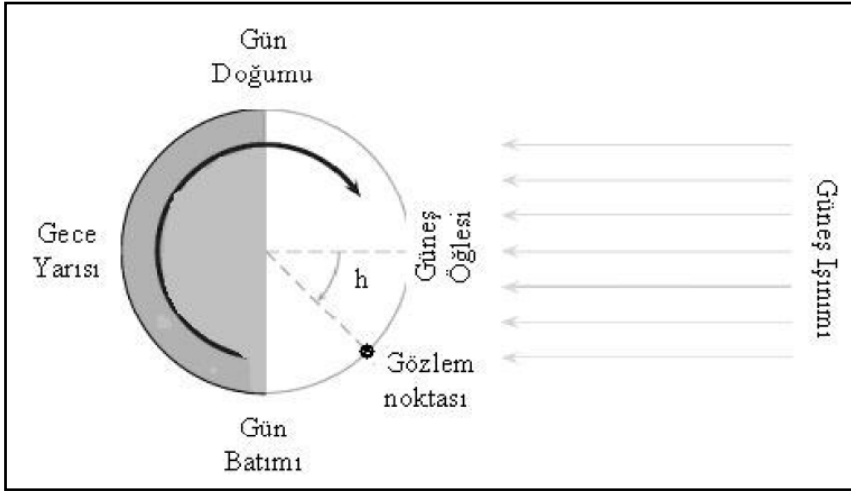


Şekil 3.1 Deklinasyon açılarının yıllık değişimi.

Saat Açısı (ω):

Gökküre üzerinde incelenen yerin boylamı ile güneşin bulunduğu boylam arasındaki açıdır, güneş saatinin açısal olarak ifadesidir, 15° saat açısı 1 saatlik zamana denk gelir. Güneşin bulunduğu boylam incelenen yerin bulunduğu boylam eşit olduğunda güneş öğlesi denir ve güneş saati (GS) 12'dir. Güneş öğlesinden önce saat açısı (+) güneş öğlesinden sonra ise (-) değer alır. Güneş ışınımının ölçüm ve hesaplamaları güneş saatine (GS) göre yapılır. Saat açısı güneş saatine bağlı olarak derece cinsinden (3.2) bağıntısı ile hesaplanabilir (Duffie and Beckman, 1991).

$$\omega = 15(12 - GS), (^\circ) \quad (3.2)$$



Şekil 3.2 Saat açısı

Bazı durumlarda problemde GS yerine YS (Yerel Saat) verilebilir. YS'den GS'ye dönüşüm yaparken E (Zaman Düzeltmesi) faktörü kullanılır. E faktörü dünyanın dönme hızındaki pertürbasyon ve yörüngesindeki düzensizliklerden ileri gelir ve yıl içinde günlere göre değişir bu nedenle hesabı B değişkenine bağlı olarak yapılır.

$$B = \frac{360}{365}(n - 1), (^\circ) \quad (3.3)$$

$$E = 229.2 \begin{bmatrix} 0.000075 + 0.001868 \cos B \\ -0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B \\ -0.04089 \sin 2B \end{bmatrix}, (\text{saat}) \quad (3.4)$$

Yerel saat ile güneş saati arasındaki dönüşüm bulunulan noktanın boylamı ile standart boylam arasındaki farka bağlıdır.

$$GS = YS - 4(L_{st} - L_{loc}) + E, (\text{saat}) \quad (3.5)$$

Enlem Açısı (ϕ):

Coğrafi enlem dairesidir. Yerküre üzerinde herhangi bir yerde bulunan gözlemcinin olduğu yerde, yerküreye teğet olan bir düzlem alınırsa ve bu düzleme gözlemcinin olduğu noktada dik olan bir doğru düşünülüğünde, bu doğrunun yerkürenin ekvator düzlemi ile yaptığı açı, gözlemcinin bulunduğu yerin enlem dairesidir.

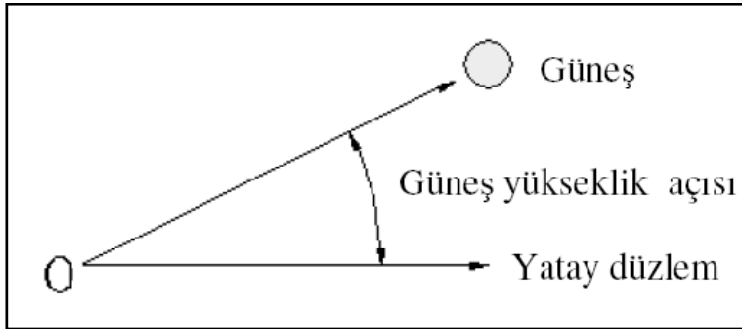
$$\sin \gamma = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h} \quad (3.6)$$

Zenith Açısı (Z):

Gökküre de dünya üzerinde incelenen yatay düzlemin normali ile direkt güneş ışınlarını yaptığı açıdır. Güneşin doğusunda ve batısında $Z=90^\circ$, güneş ışınlarının yatay düzleme dik geldiği zaman $Z=0^\circ$ 'dir.

Güneş Yükseklik Açısı (α_s)

Güneşten gelen ışınları yeryüzü düzlemi ile yaptığı açıdır. Güneş yükseklik açısı güneş öğlesinde o gün için maksimum değerine ulaşır. Ayrıca güneş öğlesine göre güneş simetrik bir hareket izlediğinden yükseklik açıları da benzer özellik gösterir.



Şekil 3.4 Güneş yükseklik açısının şematik gösterimi

$$Z + \alpha_s = 90^\circ, (^\circ) \quad (3.5)$$

$$\sin Z = \sin \alpha_s \quad (3.6)$$

Güneş Geliş Açısı (θ):

Bölüm 3.1.1’de verilen eşitliklerin türetilmesinde kullanılan güneşin geliş açısı olan (θ)’nın hesaplanması aşağıdaki formül yardımıyla gerçekleştirilebilir (Duffie and Beckman, 1991).

$$\cos \theta = \begin{pmatrix} \sin \delta * \sin \phi * \cos \beta \\ - \sin \delta * \cos \phi * \sin \beta * \cos \gamma \\ + \cos \delta * \cos \phi * \cos \beta * \cos \omega \\ + \cos \delta * \sin \phi * \sin \beta * \cos \gamma * \cos \omega \\ + \cos \delta * \sin \beta * \sin \gamma * \sin \omega \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

3.1.2 Güneş ışınlamı türleri ve hesaplamaları

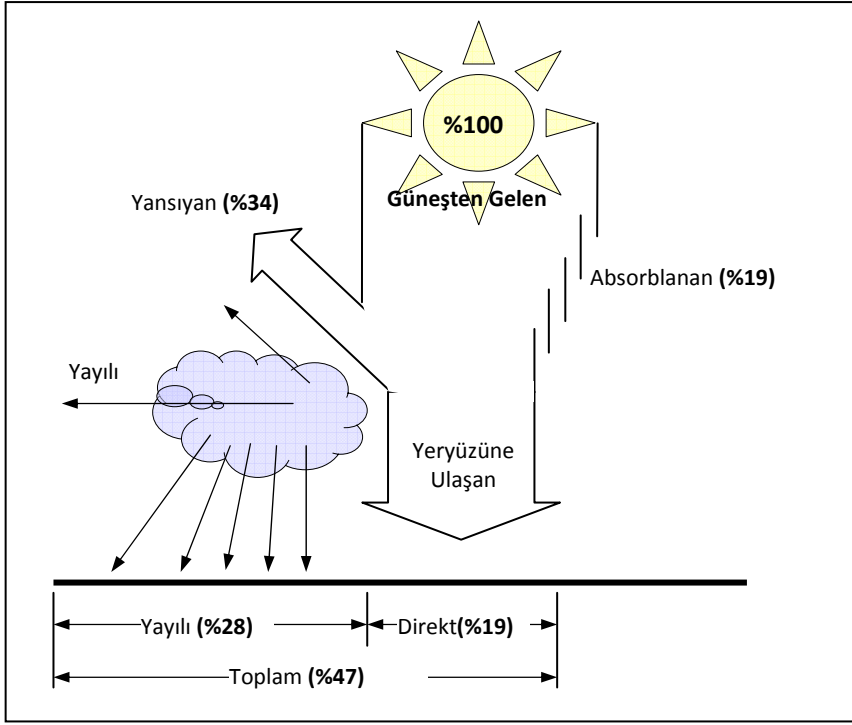
Güneş’ten yayınlanan enerji, uzayı geçip dünya’nın atmosferine ulaştığında belirli bir enerjiye sahiptir ve geniş bir spektruma yayılıdır. Dünya-Güneş uzaklığı ve güneşin ekvator düzlemine göre açısal pozisyonu değişik değerler aldığından, atmosfer dışına gelen güneş enerjisinin miktarı da mevsimlere göre farklılık gösterir.

Ortalama Dünya-Güneş mesafesinde, atmosfer dışında, güneş ışınlamına dik birim alana, bütün dalga boylarında, bir saniyede gelen güneş enerjisine “güneş sabiti” adı verilmektedir. Bu değer yaklaşık olarak $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$ kadardır. Enerji yüklü

güneş ışınları atmosfer tabakasını geçerken önemli değişikliklere uğrar. Bu değişim kısaca şöyle ifade edilebilir (Duffie and Beckman, 1991).

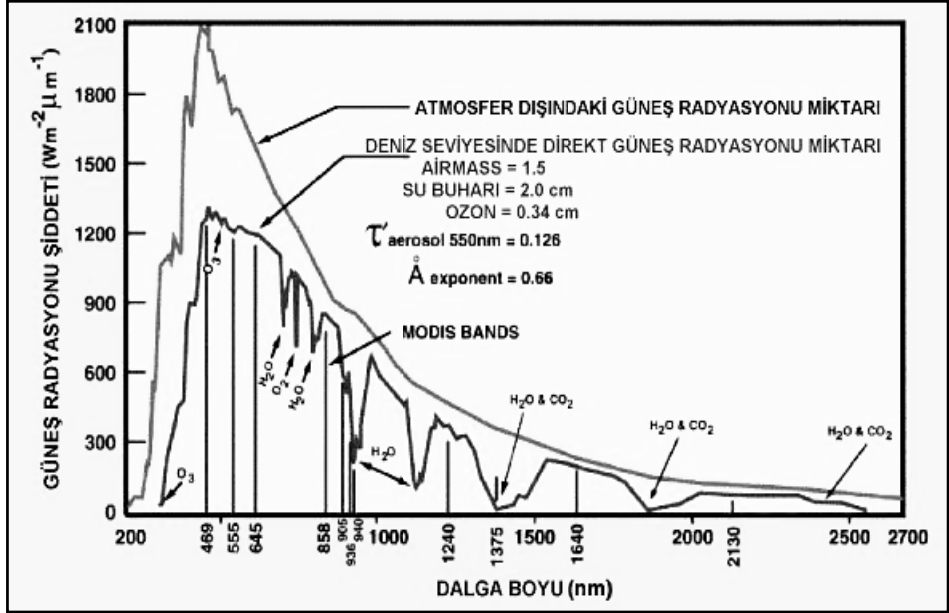
Güneşten gelen enerjinin %100 olduğunu düşünürsek, bu enerjinin ancak %19'luk kısmı hiç bir etkiye maruz kalmadan direkt olarak yeryüzüne ulaşmaktadır. %50'lik kısmı ise atmosferdeki bulutlar tarafından engellenmekte ve bu enerjinin %23'lik bölümü yeryüzüne yayılı güneş ışıınımı olarak ulaşmakta, %2'lik kısmı bulutlarca yutulmakta ve %25'lik bölümü de tekrar uzaya yansımaktadır (Duffie and Beckman, 1991).

Güneş enerjisi atmosfer içerisinde geçerken enerjisinin %17'lik kısmı atmosfer tabakası içerisinde bulunan gazlar ve toz partikülleri tarafından absorbe edilmekte ve bu enerjinin %12'lik kısmı hava tarafından dağınık kırılmaya uğramakta, bununda %7'si tekrar uzaya giderken %5'i yeryüzüne ulaşmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi güneşten gelen enerjinin sadece %47'lik kısmı yeryüzüne ulaşabilmektedir. Bu durum (Şekil 3.5)'de şematik olarak görülmektedir (Duffie and Beckman, 1991).



Şekil 3.5 Güneş enerjisinin atmosfer içerisinde uğradığı değişim.

Şekil 3.6'den de görüleceği gibi toplam güneş enerjisinin, değişik dalga boylarında ve değişik şiddette olduğu anlaşılmaktadır. En büyük enerji miktarı, gözle görülebilen güneş ışınlarının dalga boyları bölgesindedir. Gözle görülebilen ışınların dalga boyları 400 nm ila 700 nm arasındadır. Hemen hemen tüm enerji de 200 nm ila 2700 nm arasındaki bölgede taşınmaktadır (NASA, 1998).



Şekil 3.6 Dalga boylarına göre güneş radyasyon şiddetleri.

Yeryüzüne ve dolayısıyla bina kabuğuna ulaşan güneş enerjisinin özellikleri üzerine, Dünya'nın formu, ekseninin eğimi ve güneş etrafındaki hareketlerinin yanında atmosferde meydana gelen emme, saçılma ve yansıma olayları da etkili olmaktadır (Duffie and Beckman, 1991).

Güneş ışınlarındaki enerjinin bir bölümü atmosferde mevcut olan hava molekülleri tarafından emilir. Bu miktar yaklaşık %2 kadardır. Güneş ışınları 85 km'den daha yakına eriştiğinde X ışınlarının hemen hemen tamamı ile ultraviyole ışınların bir bölümü emilmiş olur. Daha aşağıdaki tabakalardaki ozon tarafından da ultraviyole ışınlarının büyük bir bölümü, yine fotokimyasal olaylar

sonucunda emilir. Bu değişimlerin toplam güneş enerjisi üzerindeki etkisi yaklaşık olarak %17'dir (Duffie and Beckman, 1991).

Atmosferde meydana gelen bir diğer olay saçılma ve yansımadır. Güneş ışınları 85 km'den daha derinlere ulaştığında, atmosferdeki hava molekülleri, su buharı ve tozlar tarafından saçılır. Saçılma olayında enerjinin emilimi yoktur, sadece enerjinin yayılma doğrultusunda ve dalga boyunda değişim görülür. Saçılmanın şiddeti, gelen enerjinin dalga boyu ile atmosferdeki taneciklerin sayısına ve büyüklüklerine bağlıdır (Duffie and Beckman, 1991).

Eğer hava moleküllerinde olduğu gibi, taneciklerin çapı, güneş enerjisinin dalga boyundan çok küçükse, enerji, parçacık civarında bütün doğrultularda yani speküler olarak dağılır ve saçılma miktarı dalga boyunun dördüncü kuvveti ile ters orantılı olarak gerçekleşir. Bu duruma literatürde Rayleigh saçılması adı verilmektedir. (Duffie and Beckman, 1991).

Yeryüzüne 1000m'den daha da yakınla gelinildiğinde, çapı 1 μm 'dan büyük parçacıklara rastlanacağından, bu şartlardaki saçılma bütün dalga boyları için eşit derecede gerçekleşir. Olay yansıma olarak düşünülebilir, ancak gelen ışın mümkün olan bütün doğrultularda dağıldığı için "yayılı yansıma" adı verilir (Duffie and Beckman, 1991).

Bulutların dış yüzeyleri de kısa dalga ışıınımını çok iyi yansıtma özelliğine sahiptir. Enerjiyi uzaya direkt geri yollama şeklindeki yansıma oranı %50 civarındadır (Duffie and Beckman, 1991).

Yukarıda genel olarak fiziksel özelliklerinden bahsettiğimiz güneş ışıınımının, atmosfer tabakasından geçtikten sonra yapı yüzeyine ulaşan üç adet bileşeni mevcuttur. Bunlar,

- Direkt güneş ışıınımı (I_{direkt} , kısaca I_d),
- Difüz güneş ışıınımı ($I_{\text{yayılı}}$, kısaca I_y),
- Yerden yansıyan yayılı güneş ışıınımı ($I_{\text{yayılıyansıyan}}$, kısaca I_{yy}).

olarak ifade edilebilir. Bu üç ayrı ışıınım değeri birleşimi toplam güneş ışıınım değeri vermektedir. Herhangi bir yerde eğimli bir yüzeye gelen güneş ışıınımı değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir (Duffie and Beckman, 1991).

$$I_{t\beta} = I_{d\beta} + I_{y\beta} + I_{yy\beta} , \text{ (J/m}^2\text{)} \quad (3.8)$$

Hesaplamalarda kullanılacak değeri, verilen zaman aralığının ortası için kullanılacaktır. Eğer yayılı güneş radyasyonu izotropik ise, eğik düzlem ile gökyüzü arasındaki görüş açısı $[(1+\cos\beta)/2]$ faktörü ile, eğik düzlem ile yeryüzü arasındaki görüş

açısı $[(1-\cos\beta)/2]$ olarak alınır. Buna göre 1 saatte yatay düzleme gelen açık hava direkt güneş ışınlamı (Duffie and Beckman, 1991);

$$I_{cd} = I_{on} \tau_d \cos(\theta_z), (J/m^2) \quad (3.9)$$

$$I_{on} = 1367 * \left(1 + 0.033 * \cos\left(n \frac{360}{365}\right) \right), (J/m^2) \quad (3.10)$$

(3.9) eşitliğinde ifade içerisinde yer alan τ_d değişkeni direkt güneş ışınları geçirgenlik katsayısı olarak dikkate alınmakta ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır (Duffie and Beckman, 1991).

$$\tau_d = a_o + a_1 * e^{- (k / \cos(\theta_z))} \quad (3.11)$$

(3.11) eşitliğinde yer alan a_o , a_1 ve k sabitleri, görüş mesafesi 23 km olan standart atmosfer ve 2.5 km'den küçük yükseklikler için a_o^* , a_1^* ve k_1^* değerleri ile Çizelge 3.2'de dört farklı iklim tipi için verilen düzeltme faktörleri yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Duffie and Beckman, 1991).

$$\left[\begin{array}{l} a_o^* = 0.4237 - 0.00821(6.0 - A)^2 \\ a_1^* = 0.5055 - 0.00595(6.5 - A)^2 \\ k^* = 0.2711 - 0.01858(2.5 - A)^2 \end{array} \right] \quad (3.12)$$

Yukarıda adı geçen “A” terimi gözlem yapılan noktanın deniz seviyesinde olan yüksekliğini km cinsinden ifade etmektedir (Duffie and Beckman, 1991).

$$\begin{bmatrix} a_o = r_o * a_o^* \\ a_1 = r_1 * a_1^* \\ k = r_k * k^* \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Çizelge 3.2 Farklı iklim tipleri için düzeltme faktörleri.

İklim Tipi	r_o	r_1	r_k
Tropik	0.95	0.98	1.02
Orta – Enlem derecesi, Yaz	0.97	0.99	1.02
Subarktik, Yaz	0.99	0.99	1.01
Orta – Enlem derecesi, Kış	1.03	1.01	1.00

Bir saatte yatay bir düzleme gelen açık hava yayılı güneş ışınlamı(Duffie and Beckman, 1991),

$$I_{cy} = I_{on} \tau_y \cos(\theta_z), (J/m^2) \quad (3.14)$$

Yukarıdaki eşitlikte yer alan τ_y ifadesi yayılı güneş ışınımının geçirgenlik faktörü olarak adlandırılır ve (3.15) eşitliğiyle aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\tau_y = 0.271 - 0.2939 * \tau_d \quad (3.15)$$

Yatay bir düzleme bir saatte gelen açık hava toplam güneş ışınımı (Duffie and Beckman, 1991),

$$I_{ct} = I_{cd} + I_{cy} , (J/m^2) \quad (3.16)$$

Eğik bir düzleme bir saatte gelen direkt güneş ışınımı miktarı,

$$I_{d\beta} = I_{dz} * R_d , (J/m^2) \quad (3.17)$$

$$R_d = \cos(\theta) / \cos(\theta_z) \quad (3.18)$$

$$I_{dz} = I_{tz} - I_{yz} , (J/m^2) \quad (3.19)$$

Yatay bir düzleme bir saatte gelen toplam güneş ışınımı (I_{tz}) ile yatay bir düzleme bir saatte gelen direkt güneş ışınımı (I_{dz}) arasındaki ilişkiyi aşağıdaki eşitliklerle ifade edebiliriz :

$$\frac{I_{dz}}{I_{tz}} = \begin{cases} 1.0 - 0.1 * \left(\frac{I_{tz}}{I_{ct}} \right), & 0 \leq \left(\frac{I_{tz}}{I_{ct}} \right) < 0.48 \\ 1.11 + 0.0396 * \left(\frac{I_{tz}}{I_{ct}} \right) - 0.789 * \left(\frac{I_{tz}}{I_{ct}} \right)^2, & 0.48 \leq \left(\frac{I_{tz}}{I_{ct}} \right) < 1.10 \\ 0.2, & \left(\frac{I_{tz}}{I_{ct}} \right) \geq 1.10 \end{cases} \quad (3.20)$$

Yatay bir düzleme bir saatte gelen toplam güneş ışınım değeri olarak, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Laboratuvar binasının çatısına Ekim 1993 yılında kurulan ve kurulduğu tarihten bu yana veri depolamaya devam eden “Meteorolojik Gözlem İstasyonu”ndan elde edilen ölçüm değerleri kullanılacaktır. Buna göre, yatay bir düzleme bir saatte gelen direkt güneş ışınımı (I_{dz}) değeri hesaplanarak eğik bir düzleme bir saatte gelen difüz güneş ışınım değeri (Duffie and Beckman, 1991),

$$I_{y\beta} = I_{yz} * ((1 + \cos \beta) / 2), \quad (J/m^2) \quad (3.21)$$

eşitliği yardımıyla bulunur. Yerküre yüzeyinden difüz olarak yansıyan güneş ışınımı miktarı ise (Duffie and Beckman, 1991),

$$I_{yy\beta} = (I_{cd} + I_{cy}) * \rho * ((1 - \cos \beta) / 2), \quad (J/m^2) \quad (3.22)$$

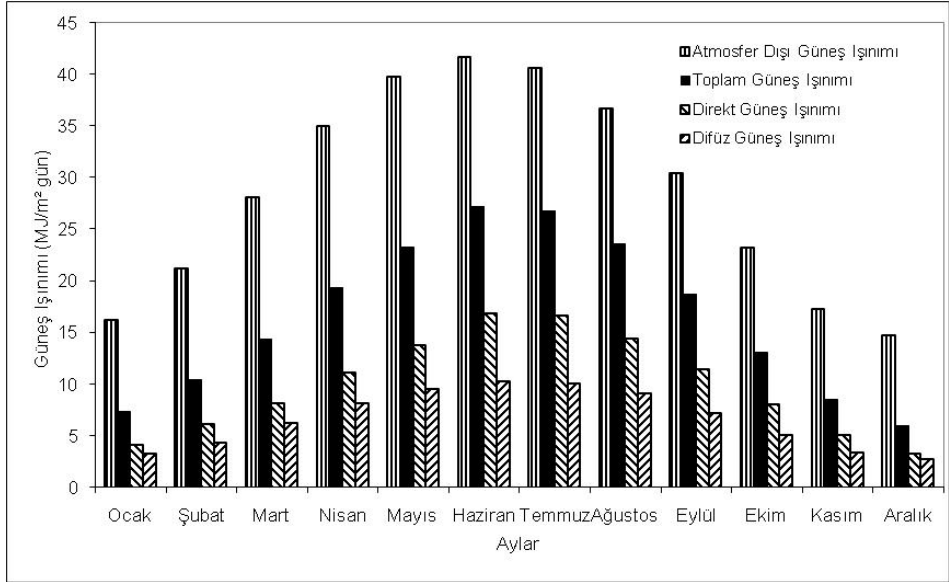
eşitliğiyle hesaplanabilir. Bu eşitlikteki ρ değeri, eğik düzlemin çevresinin toplam güneş ışınımı için yansıtma katsayısıdır.

Genelde yerküre yüzeyi için $\rho=0,2$ alınır. Eğer, taze kar toprağa düştüyse $\rho = 0,7$ alınabilir (Duffie and Beckman, 1991).

Yukarıdaki bilgilerin ışığı altına ve enstitü bünyesinde kurulu olan meteoroloji istasyonundan saatlik bazda alınan ölçüm değerlerine göre yapılan hesaplamalar sonucunda, yatay yüzeydeki günlük toplam aylık ortalama atmosfer dışı güneş ışıınımı, toplam güneş ışıınımı, direkt güneş ışıınımı ve difüz güneş ışıınımı değerlerinin değişimleri Çizelge 3.3 ve Şekil 3.7'de görüldüğü gibidir (Ulgen, 2006).

Çizelge 3.3 İzmir için aylık ortalama günlük toplam güneş ışıınımı değerleri.

Aylar	H_o (MJ/m ² gün)	H (MJ/m ² gün)	H_D (MJ/m ² gün)	K_T (-)
Ocak	16.20	7.35	3.20	0.45
Şubat	21.16	10.42	4.51	0.49
Mart	28.12	14.48	6.29	0.51
Nisan	35.04	19.27	8.24	0.55
Mayıs	39.79	23.26	9.71	0.58
Haziran	41.69	27.07	10.54	0.65
Temmuz	40.65	26.75	10.32	0.66
Ağustos	36.71	23.38	9.22	0.64
Eylül	30.42	18.64	7.35	0.61
Ekim	23.18	13.08	5.06	0.56
Kasım	17.28	8.50	3.46	0.49
Aralık	14.69	6.07	2.71	0.41



Şekil 3.7 İzmir için ölçülen ve hesaplanan aylık ortalama günlük toplam güneş ışıınımlı değeri.

3.1.3 Optimum toplayıcı eğim açısı

Eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışıınımlı, direkt (H_B), difüz(yayıllı, H_D) ve yerden yansıyan (H_R) ışıınımların bileşenlerinden oluşmaktadır ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$H_T = H_B + H_D + H_R, \text{ (MJ/m}^2\text{gün)} \quad (3.23)$$

Eğimli yüzeye gelen günlük direkt güneş ışıınımlı miktarı da eşitlik (3.24)'deki gibi belirlenir.

$$H_B = (H - H_D)R_b, \text{ (MJ/m}^2\text{gün)} \quad (3.24)$$

Burada, H ve H_D yatay düzlemde aylık ortalama günlük toplam ve difüz güneş ışınımını, R_b ise her ay için eğimli yüzeydeki ortalama direkt güneş ışınımının yatay düzlemdekine oranını ifade etmektedir. R_b atmosfer tabakasının geçirgenliğinin bir fonksiyonudur ve atmosferin bulutluluk düzeyine, su buharı miktarına ve parçacık yoğunluğuna bağlıdır.

Bununla birlikte Liu and Jordan (1960), her ay için R_b 'nin tahminlenmesini eğimli yüzeydeki atmosfer dışı güneş ışınımının yatay yüzeydekine oranı olarak önermiştir. Ekvatora doğru doğrudan bakan yüzeyler için,

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin \omega'_s + (\pi / 180) \omega'_s \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + (\pi / 180) \omega_s \sin \phi \sin \delta} \quad (3.25)$$

Burada, ω'_s eğimli yüzeylerde güneşin batış açısını ifade etmekte olup, aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\omega'_s = \min \left[\begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta) \end{array} \right], (^\circ) \quad (3.26)$$

Köşeli parantez içerisindeki terimlerden küçük olanı kabul edilecektir. Yerkürenin izotropik yansıtma yaptığı varsayılarak, yerden yansıyan güneş ışınımı miktarı ise eşitlik (3.27) yardımıyla hesaplanabilir.

$$H_R = H\rho(1 - \cos \beta)/2, \text{ (MJ/m}^2\text{gün)} \quad (3.27)$$

Burada, β yüzeyin yatayla yaptığı açığı ve ρ ise yerin yansıtma katsayısını ($\approx 0,2$) verir. Tüm bu bilgileri ışığı altında, eğimli bir yüzeye gelen aylık ortalama günlük toplam güneş ışıını miktarı (H_T), eşitlik (3.28)'deki gibi hesaplanabilir (Liu and Jordan, 1960):

$$H_T = (H - H_D)R_b + \frac{H_D}{2}(1 + \cos \beta) + \frac{H\rho}{2}(1 - \cos \beta), \text{ (MJ/m}^2\text{gün)} \quad (3.28)$$

Eğer (3.28) eşitliğini basitleştirmek istersek, aşağıdaki gibi yazmak mümkündür,

$$H_T = RH = RK_T H_o, \text{ (MJ/m}^2\text{gün)} \quad (3.29)$$

Eşitlik (3.29)'daki R değeri, her ay için eğimli yüzeydeki günlük ortalama güneş ışıınının yatay yüzeydekine oranı olarak tanımlanabilir. R değeri, eğimli yüzeye gelen güneş ışıınının direkt, difüz ve yerden yansıyan bileşenleri göz önünde tutularak hesaplanır. Eğer difüz ve yerden yansıyan güneş ışıını izotropik olarak dikkate alınırsa, R değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Liu and Jordan, 1960):

$$R = \left(1 - \frac{H_D}{H}\right)R_b + \frac{H_D}{2H}(1 + \cos \beta) + \frac{\rho}{2}(1 - \cos \beta) \quad (3.30)$$

Aylık ortalama açıklık indeksi (K_T), aylık ortalama günlük güneş ışınımının (H), aylık ortalama günlük atmosfer dışı güneş ışınımına (H_o) oranı olarak tanımlanır (Duffie and Beckman, 1991):

$$K_T = \frac{H}{H_o} \quad (3.31)$$

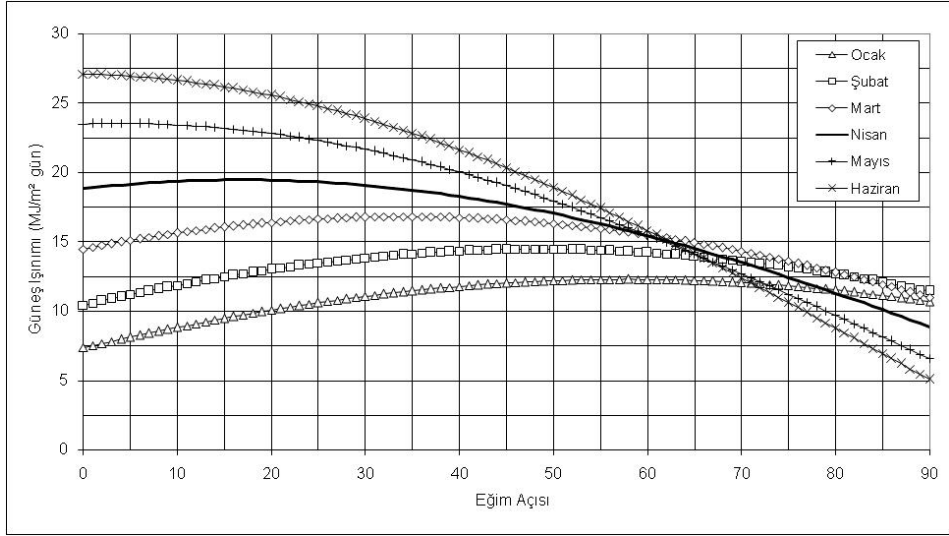
Yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük atmosfer dışı güneş ışınımı ise, eşitlik (3.32 ve 3.33) yardımıyla belirlenebilir.

$$H_o = \frac{24}{\pi} G_{on} \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \phi \sin \delta \right) \quad (3.32)$$

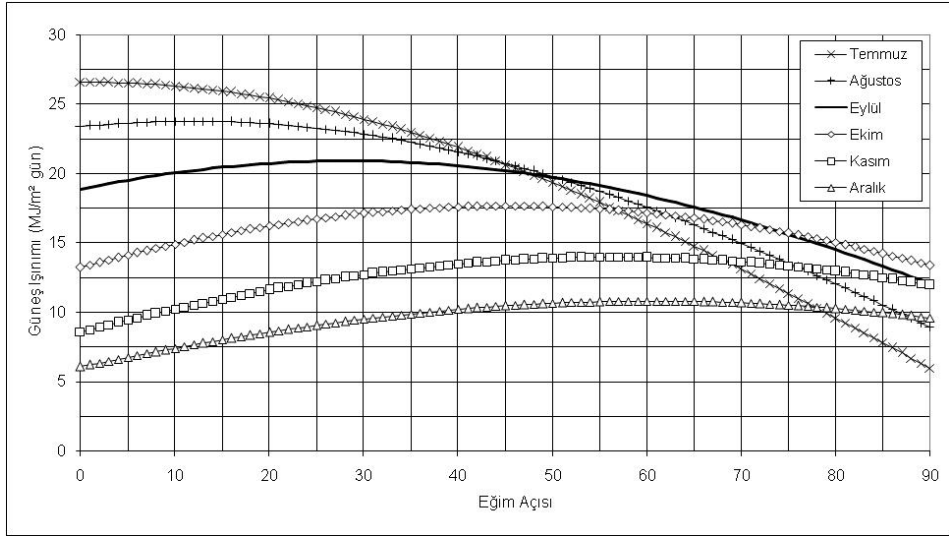
$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 n_{day}}{365} \right) \right) \quad (3.33)$$

Şekil (3.7)'de verilen ve enstitü bünyesinde kurulu olan meteoroloji istasyonundan alınan değerler kullanılarak yukarıda verilen eşitlikler yardımıyla güneşe bakan yüzeyler için en uygun toplayıcı eğim açısını belirleyebilmek için, $0^\circ - 90^\circ$ aralığında 1° adımlarla eğimli yüzeye gelen aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım değerleri her ay için hesaplanır (Ulgen, 2006).

Aylık bazda hesaplanan bu değerlerin maksimum olduğu zamanki eğim açısı optimum değeri verir (Şekil 3.8) (Ulgen, 2006).



a) Ocak-Haziran



b) Temmuz- Aralık

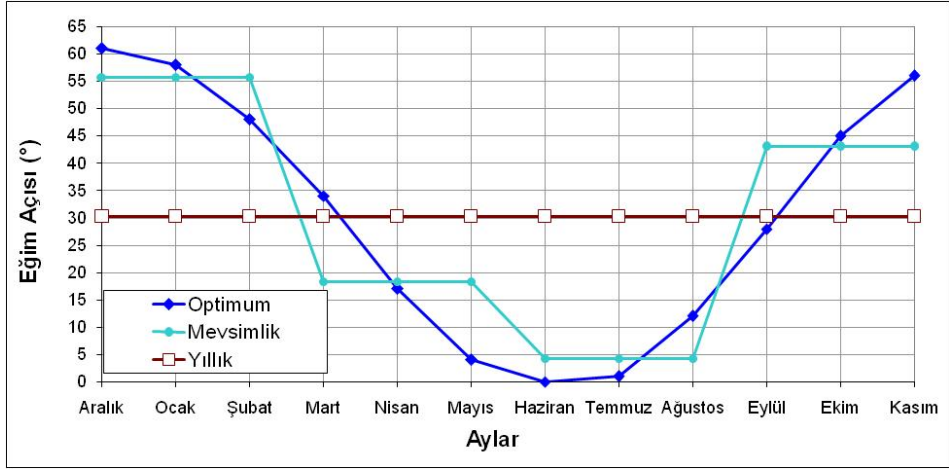
Şekil 3.8 Farklı eğim açılarına göre hesaplanan aylık ortalama günlük toplam güneş ışınlamı değerleri.

Her ay için belirlenen optimum eğim açılarındaki eğimli yüzeye gelen aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım değerleri de Çizelge 3. 4’de verildiği gibidir (Ulgen, 2006).

Çizelge 3.4 İzmir için aylık optimum eğim açıları ve bu açılardaki aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı değerleri.

Aylar	β_{opt}	H_{opt}
	(°)	(MJ/m ² gün)
Ocak	58	12.29
Şubat	48	14.45
Mart	34	16.81
Nisan	17	19.46
Mayıs	4	23.51
Haziran	0	27.07
Temmuz	1	26.59
Ağustos	12	23.78
Eylül	28	20.92
Ekim	45	17.67
Kasım	56	13.98
Aralık	61	10.81

Ayrıca her ay için hesaplanan eğim açıları gibi mevsimsel ve yıllık bazda da optimum toplayıcı eğim açıları belirlemek mümkündür. Aynı mantığa göre türetilen bu optimum eğim açılarının değerlerin değişimi Şekil 3.9’da ve bu açılara göre hesaplanan aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı değişimleri de Şekil 3.9’da görüldüğü gibidir (Ulgen, 2006).



Şekil 3. 9 Her ay için aylık, mevsimlik ve yıllık optimum eğim açıları.

Çizelge 3.5 İzmir için mevsimlik ve yıllık optimum eğim açıları ve bu açılardaki aylık ortalama günlük toplam güneş ışınlımı değerleri.

Aylar	Mevsimler	Mevsimlik Ortalama		Yıllık Ortalama	
		β	H	β	H
		(°)	(MJ/m ² gün)	(°)	(MJ/m ² gün)
Ocak	Kış	55.7	12.28	30.3	9.54
Şubat			14.36		11.09
Mart			15.90		13.86
Nisan	İlkbahar	18.3	16.29		16.78
Mayıs			19.45		19.05
Haziran			22.94		21.61
Temmuz	Yaz	4.3	26.96		23.80
Ağustos			26.55		23.88
Eylül			23.62		22.82
Ekim	Sonbahar	43.0	20.38		20.91
Kasım			17.66		17.16
Aralık			13.65		12.74

3.2 Bina Isıtma İhtiyacının Belirlenmesi

3.2.1 TS 825'e göre binanın yıllık ısıtma ihtiyacının hesaplanması

Yeterli seviyede ısı yalıtımı sağlanmış bir binada, ısıtma periyodunda, iç ortamda belli bir iç sıcaklığı (θ_i) sağlamak için gereken ısı enerjisinin bir kısmı iç kaynaklardan ve güneş enerjisinden sağlanır. Kalan miktarın ısıtma sistemi tarafından iç ortama verilmesi gerekir. Aşağıda tanımlanan hesap metodu kullanılarak, ısıtma sisteminin iç ortama vermesi gereken ısı enerjisi miktarı belirlenir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olarak tanımlanan bu miktar, toplam kayıplardan güneş enerjisi kazançları ve iç ısı kazançları çıkartılarak hesaplanır.

Tanımlanan hesap metodunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma dönemini kapsayan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunur. Böylece binanın ısıl performansının gerçeğe daha yakın bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, tasarımcıya, önerdiği tasarımın güneş enerjisinden faydalanma kapasitesini değerlendirme imkânı sağlayacaktır.

Hesap metodunda ısıtılan ortamın sınırları, bu ortamı dış ortamdan ve eğer varsa ısıtılmayan ortamlardan ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencereden oluşur. Hesaplamalarda dıştan dışa ölçüler kullanılır. Eğer binanın tamamı aynı sıcaklığa kadar

ısıtılıyorsa veya ortamlar arasındaki sıcaklık farkı 4 K 'den fazla değil ise, binanın tamamı için ortalama bir iç sıcaklık değeri hesaplanarak bina tek hacimli olarak ele alınır ve ısıtma enerjisi ihtiyacı aşağıda açıklanan metoda göre hesaplanır.

Binadaki farklı amaçlar için kullanılan birimler içerisinde sıcaklık farkı 4K'den büyük ortamlar mevcut ise, farklı ısıtma bölümlerinin sınırları belirlenerek tek hacimli bina için verilen hesap metodu, farklı sıcaklıktaki her bina bölümü için ayrı uygulanmalı ve her bina hacmi için hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı toplanmalıdır.

3.2.1.1 Isı kayıplarının hesabı

Yukarıda da belirtildiği üzere, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı her ay için ısı kayıplarından ısı kazanlarının çıkartılmasıyla belirlenir:

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (3.34)$$

$$Q_{ay} = \left[\underbrace{H(\theta_i - \theta_e)}_{\text{ısı kayıpları}} - \underbrace{\eta_{ay}(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})}_{\text{ısı kazançları}} \right] . t \quad (3.35)$$

Yapıda meydana gelen ısı kayıpları; 1K'lık sıcaklık farkı durumunda binanın dış kabuğundan iletim, tasınım ve havalandırma ile birim zamanda kaybedilen ısı enerjisi miktarının (Özgül ısı kaybı) dış ile iç ortam arasındaki sıcaklık farkı ile

çarpılmasıyla elde edilir. Özgül ısı kaybı (H), iletim ve taşınım (H_T) yoluyla meydana gelen ısı kaybı ile havalandırma (H_V) yoluyla meydana gelen ısı kaybının toplamından oluşur ve aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$H = H_T + H_V \quad (3.36)$$

İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybının hesabı:

Duvarlardan (dolgu ve taşıyıcı), tavandan, tabandan, pencerelerden, kapılardan, düşük sıcaklıktaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarından ve oluşan ısı köprülerinden meydana gelen ısı kayıplarının toplamıdır ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

$$H_T = \sum AU + IU_i \quad (3.37)$$

$$\sum AU = \left[U_D A_D + U_P A_P + U_K A_K + 0.8 U_T A_T \right. \\ \left. + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5 U_{ds} A_{ds} \right] \quad (3.38)$$

Isı köprüsü, bitişik yüzeye göre bileşimi değişik, ısı kaybı binanın ortalama ısı kaybından daha yüksek ve kısın kararlı durum için iç yüzey sıcaklığının daha düşük olduğu bölümdür. TS 825 standardında ısı köprülerine karşı önlem alınması Sart koşullmaktadır. Isı yalıtım yönetmeliğinde verilen detay çözümleri uygulandığında ısı köprüsünün oluşmadığı kabul edilir. Isı

köprülerinin bulunması halinde, ilgili büyüklükler TS 825 Hesap Programı ile hesaplanabilmektedir.

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının hesabı:

Havalandırmanın doğal veya mekanik olmasına bağlı olarak iki farklı hesaplama prosedürü bulunmaktadır. TS 825 Hesap Programı ile iki durum için de hesaplama yapılabilir. Bu bölümde sadece Doğal Havalandırma durumu detaylandırılacak olup, mekanik havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının hesaplanması, programın ilgili kısmı ile beraber anlatılacaktır.

a-) Doğal havalandırma:

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$H_v = \rho c V' \quad (3.39)$$

Doğal havalandırma için ise bu formül aşağıdaki şekli alır.

$$H_v = \rho c V' = \rho c n_h V_h = 0.33 n_h V_h \quad (3.40)$$

Doğal havalandırma yapılan binalarda havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabında havalandırma sayısı “ n_h ” 0,8 (h^{-1}) olarak alınır.

3.2.1.2 Isı kazançlarının hesabı:

Yapılarda bir yandan ısı kayıpları meydana gelirken, diğer yandan güneş enerjisi ve iç ısı kaynaklarından ısı kazançları meydana gelir. Isı kazançları, Aylık Ortalama iç kazançlar ($\theta_{i,ay}$) ve

Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazançları ($\theta_{g,ay}$) olmak üzere iki gruptan oluşur:

Aylık ortalama iç kazançlar ($\phi_{i,ay}$)

İç kazançlar, aşağıdaki ısı kazançlarının toplamını ifade etmektedir.

İnsanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları,

- Sıcak su sisteminden kaynaklanan ısı kazançları,
- Yemek pişirme işleminden kaynaklanan ısı kazançları,
- Aydınlatma sisteminden kaynaklanan ısı kazançları,
- Binalarda kullanılan muhtelif elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları.

Konutlarda, okullarda ve normal binalarda:

$$\phi_{I,ay} \leq 5A_n, (W) \quad (3.41)$$

Yüksek iç enerji kazançlı binalarda: (Yemek fabrikalarında, normalin üstünde elektrikli cihaz çalıştırılan binalarda (aydınlatmanın sadece elektrikle sağlandığı binalar, tekstil atölyeleri, vb.) veya etrafa ısı yayan sanayi cihazların kullanıldığı binalarda),

$$\phi_{i,ay} \leq 10 A_n, (W) \quad (3.42)$$

Burada A_n , bina kullanım alanı ifade eder ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$A_n = 0.32 V_{brüt}, (m^2) \quad (3.43)$$

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\phi_{s,ay}$)

Bu başlık altındaki kazançlar; pencerelerden sağlanan doğrudan güneş ışınımının hesaplanmasını tarif etmektedir. Pasif güneş enerjisi sistemlerinden sağlanacak kazançlar ihmal edilmiştir. Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı ($\phi_{s,ay}$) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} g_{i,ay} I_{i,ay} A_i, (W) \quad (3.44)$$

Buradaki " $r_{i,ay}$ " değeri binanın konumuna göre aşağıdaki 3 farklı değeri alabilmektedir.

Çizelge 3.6 Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü ($r_{i,ay}$).

	$r_{i,ay}$
Ayrık (müstakil) ve/veya az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yönlerde	0.8
Ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmenin olduğu ve/veya 10 kata kadar yükseklikteki binaların bulunduğu yönlerde	0.6
Bitişik nizam ve/veya 10 kattan daha yüksek binaların bulunduğu yönlerde	0.5

“ $r_{i,ay}$ ” değerleri bu çizelgeden seçilebileceği gibi TS EN 832’de verilen prosedüre göre de hesaplanabilmektedir. TS 825 Hesap Programında kullanıcıya her iki seçenek de sunulmuştur. Güneş enerjisi geçirime faktörü “ $g_{i,ay}$ ” ise aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$g_{i,ay} = F_w g_{\perp} \quad (3.45)$$

Burada “ F_w ” değeri 0.8 alınmakta, “ $g_{\perp}$ ” değeri de cam türüne göre Çizelge 3.7’den seçilmektedir.

Çizelge 3.7 Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirime faktörü.

Cam türü	$g_{\perp}$
Renksiz tek cam için	0.85
Renksiz yalıtım camı birimi için	0.75
Isıl geçirgenlik katsayısı 2 W/m ² K’den daha küçük olan diğer ısı yalıtım birimleri için	0.50

3.2.1.3 Kazanç kullanım faktörünün hesabı

İç kazançlar ve güneş enerjisi kazançlarının toplamının, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması açısından faydalı enerji olarak kabul edilmesi her zaman uygun olmaz.

Çünkü ısı kazançlarının yüksek olduğu sürelerde, kazançlar anlık kayıplardan fazla olabilir veya kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir. İç ortam sıcaklık kontrol sistemi mükemmel değildir ve yapı elemanlarının bünyesinde bir miktar ısı depolanır. Bu nedenle iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir yararlanma faktörü ile azaltılır; bu faktörün büyüklüğü, kazançların ve kayıpların bağıl büyüklüğüne ve binanın ısıl kütlesine bağlıdır.

Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü, aşağıda verildiği gibi hesaplanmalıdır;

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (3.46)$$

“ KKO_{ay} ” Kazanç/Kayıp oranı olup, aşağıda verildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$KKO_{ay} = \frac{(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})}{H(\phi_{i,ay} - \phi_{e,ay})} \quad (3.47)$$

3.2.1.4 Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerleri

TS 825 “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardında tanımlanan hesap metoduna uygun olarak yıllık net ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenir. Enerji verimli yapı tasarımı için; net oda yüksekliğine bağlı olarak birim alan veya hacim başına hesaplanan yıllık net ısıtma ihtiyacı değerinin standartta tanımlanan sınır değerinin altında olması gerekmektedir.

Yıllık net ısıtma enerjisi ihtiyacının sınır değerleri; yapının ısı kaybeden alanlarının toplamı (A_{top}) ile binanın brüt hacminin ($V_{brüt}$) oranına göre belirlenmektedir. Tespit edilen $A_{top}/V_{brüt}$ oranı ve yapının bulunduğu derece gün bölgesi göz önüne alınarak sınır değerler hesaplanır.

Çizelge 3.8 Farklı derece gün (DG) bölgeleri için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerleri.

	h (m)	$A/V \leq 0,2$ için	$0,2 < A/V < 1,05$ için	$A/V \geq 1,05$ için	Birim
Q'1.DG	$h \leq 2,6m$ A_N ile ilişkili	19,2	$44,1A/V + 10,4$	56,7	kWh/m ²
	$h > 2,6m$ $V_{brüt}$ ile ilişkili	6,2	$14,1A/V + 3,4$	18,2	kWh/m ³
Q'2.DG	$h \leq 2,6m$ A_N ile ilişkili	38,4	$70A/V + 24,4$	97,9	kWh/m ²
	$h > 2,6m$ $V_{brüt}$ ile ilişkili	12,3	$22,4A/V + 7,8$	31,3	kWh/m ³
Q'3.DG	$h \leq 2,6m$ A_N ile ilişkili	51,7	$76,3A/V + 36,4$	116,5	kWh/m ²
	$h > 2,6m$ $V_{brüt}$ ile ilişkili	16,6	$24,4A/V + 11,7$	37,3	kWh/m ³
Q'4.DG	$h \leq 2,6m$ A_N ile ilişkili	67,3	$82,8A/V + 50,7$	137,6	kWh/m ²
	$h > 2,6m$ $V_{brüt}$ ile ilişkili	21,6	$26,5 A/V + 16,3$	44,1	kWh/m ³

3.2.2 Sıcak su ihtiyacının hesaplanması

Evsel kullanım için ısıtılacak su için gerekli ısı ihtiyacını konutta yaşayanların yaşam tarzına bağlıdır. Yaklaşık olarak konutta yaşayan her birey günlük ortalama 100 litre/gün sıcak suya ihtiyaç duymaktadır (Duffie and Beckman, 1991).

$$L_w = N n 100 (T_w - T_m) \rho C_p \quad (3.48)$$

Eşitlik (3.37)'deki 100 sabiti kişi başı günlük ortalama sıcak su ısı ihtiyacını göstermektedir ve konutta yaşayanların isteğine göre değiştirilebilir. Sıcak su için kabul edilebilir en düşük sıcaklık (T_w) ise Duffie ve Beckman, (1991) tarafından 60°C olarak önerilmektedir, bu sıcaklık kaza durumunda insan sağlığını ciddi şekilde etkileyeceği için ve sıcak suyun iletimi sırasındaki ısı kayıplarını düşürmek için 40-50 °C aralığındaki sıcaklık değerleri daha uygun olacaktır. Soğuk su sıcaklığı, T_m ise hesap yapılan aydaki ortalama şebeke suyu sıcaklığı alınabilir.

Konutlar dışındaki yapılarda da benzer bir yöntemle sıcak su ısı ihtiyacı belirlenebilir. Sıcak su ısı ihtiyacı kullanılan suyun miktarına ve soğuk su-sıcak su sıcaklık farkına bağlıdır. Ticari yapılarda haftanın 5 yada 6 günü sıcak su kullanımı olmaktadır. Eğer sıcak su haftanın 1-2 gününde kullanılmaz ise sıcak su deposundaki suyun sıcaklığı yükselecek bu nedenle depoya geçen enerji azalacaktır. Bu durumda, güneş enerjili sistemlerin

ısıtma yükünün güneş tarafından sağlanma oranı oldukça yüksek olacaktır (Duffie and Beckman, 1991).

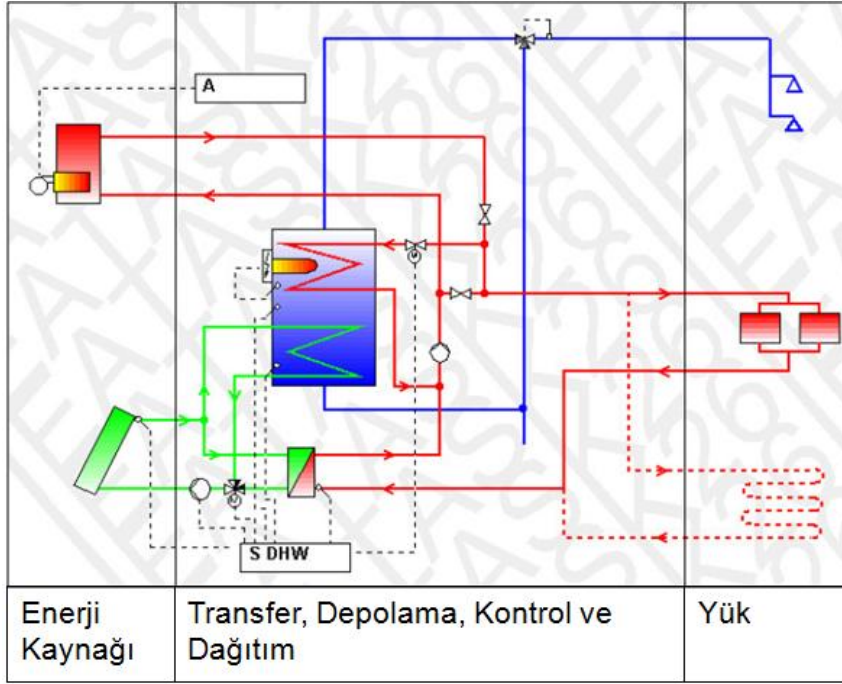
$$L_w = V(T_w - T_m)\rho C_p \quad (3.49)$$

3.3 Güneş Enerjili Kombi Sistemler

3.3.1 Güneş enerjili kombi sistemlerin tanımı ve sınıflandırması

Güneş enerjili kombi sistemi bir güneş enerjili ısıtma sistemi olup, sıcak su ve mekân ısıtmayı birlikte sağlayan sistemlerdir. Birincil enerji kaynağı güneş iken, yardımcı enerji kaynağı ise, sıvı veya katı yakıt, doğalgaz veya elektrik olabilmektedir. Güneş enerjili kombi sistemi ile farklı iklim bölgelerine göre bir binanın ısı yükünün ekonomik olarak, %10'u ila %100'ünü karşılamak mümkündür.

Aşağıdaki Şekil 3.10 tipik bir güneş enerjili kombi sistemi oluşturan ana elemanların şemasını göstermektedir. Şeklin sol kısmı şarj kısmı yani enerji kaynağı kısmı diye adlandırılan, güneş kolektörleri ve genelde fosil yakıtların kullanıldığı yardımcı ısı kaynağının bulunduğu kısmı, orta kısım ısı transferi için içinde ısı değiştiricileri bulunan sıcak su depolama tankı ve kontrol sistemlerini barındırır. Sağ kısım ise deşarj yani yük diye adlandırılan, sıcak su ihtiyacı ve alan ısıtma sistemlerinin olduğu kısmı göstermektedir.



Şekil 3.10 Güneş enerjili kombi sistemin ana elemanları.

Güneş enerjili kombi sistemlerinin arasındaki farkları belirleyen temel farklılıkları, tasarım mühendisi tarafından seçilen ısı depolama ve ısı yönetim felsefi oluşturmaktadır. Bu farklılıklar;

- Yardımcı ısıtıcı tarafından üretilen ısıнын depolanıp depolanmaması,
- Depolama tankı sayısı,
- Döngülerin tasarımı,
- Isının depolanması için kullanılacak akışkanın cinsi,

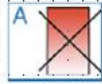
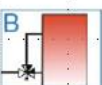
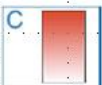
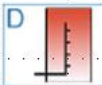
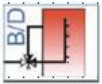
- Isıyı aktaracak olan ısı değıştiricilerinin tipi,
- Depolama tanklarına giren akışkan borularının geometrisi ve akış oranları,
- Katmanlaştırmayı amaçlayan katmanlaştıırma aygıtı diye adlandırdığımız mekanik eklerin geometrisi,
- Kontrol algoritmaları ve tüm bileşenlerin boyutları

olarak sıralanabilir.

IEA TASK 26, güneş enerjili kombi sistemlerinin tanımlamasını 2 başlık altında toplamıştır:

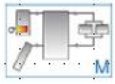
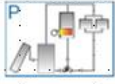
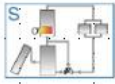
- Isı depolama kategorisi,
- Ek ısı yönetim kategorisi.

Güneş kolektörleri tarafından alan ısıtması için üretilen ısının saklanması kullanım suyu için üretilen ısıyla birlikte depolanıyor da olabilir ya da olmaya da bilir. Aynı zamanda yardımcı ısıtıcı tarafından da üretilen ısıda aynı depoda veya farklı depoda olabilir. Kısaca ısı depolama ve yönetim kategorisine göre de diye adlandıra biliriz. Aşağıdaki tabloda da görüldüğü gibi 4 ısı yönetim kategorisinde sıralamak mümkündür A, B, C, D bu harfler güneş enerjili kombi sistemi tarif ederkenki ilk kısmı oluşturmaktadır. B ve D bazen birlikte kullanılıyor olabilir.

Isı depolama kategorisi..	
	Alan ısıtması için kontrolsüz depolama aygıtı,
	Birden çok tank vasıtası ile, birden fazla giriş / çıkış boruları, üç veya dört yönlü kontrol vanaları ile debiyi kontrol ederek (girişteki / çıkış borularındaki) Isı yönetimi ve katmanları geliştirme,
	Depolama tanklarındaki doğal taşınımı kullanarak ve / veya aralarında kesin bir boyuta kadar katmanlaşmayı sürdürerek Isı yönetimi,
	İçerisine katmanlaştırma aygıtları monte edilmiş depolama tanklarındaki doğal taşınımı kullanarak Isı yönetimi,
	İçerisine katmanlaştırma aygıtları monte edilmiş depolama tanklarındaki doğal taşınımı kullanarak bununla birlikte birden fazla tank ve giriş / çıkış boruları, üç veya dört yönlü kontrol vanaları ile debiyi kontrol ederek Isı yönetimi.

Şekil 3.11 Isı depolama kategorisine göre tanımlama.

Yardımcı ısıtıcı tarafından üretilen ısıнын yönetim mantığı ile ilgili kısım ise, ısıнын ne kadar süre ile nasıl depolanacağını, kontrolünün nasıl olacağını, yardımcı ısıtıcı ile sisteme nasıl bağlanacağı özelliklerini gösteren ikinci karakter ile tanımlanmaktadır. Bu durumda aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi M, P ve S harfleri ile gösterilir.

Ek ısı yönetimi kategorisi..	
	Mixed(karışık) mod: Güneş enerjisi toplayıcısı ve yardımcı ısıtıcının her ikisi tarafından da ısıtılmış tek bir depolama ile alan ısıtma döngüsünü beslemek,
	Paralel mod: alternatif olarak güneş kolektörleri ile (veya güneşsel su depolama tankı), veya yardımcı ısıtıcı ile alan ısıtma döngüsünü beslemek;veya güneşsel sıcaklık dağılımı ile yardımcı ısıtıcı emisyonu arasında hiçbir hidrolik bağlantı olmaması,
	Seri mod: alan ısıtma döngüsü,yardımcı ısıtıcı ile besleniyor olabilir, veya alan ısıtma döngüsünün dönüş hattı üzerine seri olarak bağlanmış, güneş enerji toplayıcısı (veya güneşsel su depolama tankı) ve yardımcı ısıtıcıların her ikisi ile de beslenebilir.

Şekil 3.12 Ek ısı yönetim kategorisine göre tanımlama.

Güneş enerjili kombi sistemlerin sınıflandırma kodu bir harf birinci kategoriden bir harfte ikinci kategoriden alır. Birde üzerinde düşünülen sistem ile alakalı küçük bir harf de gerçek kodun arkasından kullanılır:

- d**, güneş enerjili kombi sisteminde bir geri boşaltmalı sistemi olduğunu gösterir, normal çalışma döngüsü içerisindeki güneş enerji sistemindeki ısıyı transfer eden sıvı pompa kapandığında kolektörlerden geri çekilir ve bir depo da toplanır daha sonra pompa açıldığında tekrar kolektörler doldurulur.

i, depolama aygıtının içinde depolama aygıtı ile bütünleşik gaz veya yakıt brülörü olduğunu gösterir. i göstergesi her zaman yardımcı sıcaklık yönetimi kategorisinden karışık modu anlamını da içerir.

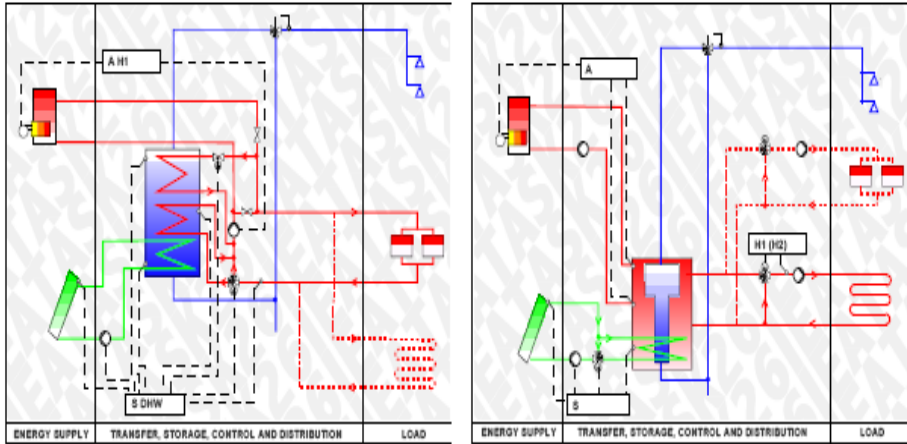
I, kombi sistemin kütük şeklindeki odun gibi sabitlenmiş güç altında uzun süreli çalışma özelliğine sahip yardımcı boylerli yardımcı enerji kaynağı ile birlikte kullanıldığını gösterir. Uzun süreli çalışan yardımcı depolama özelliği gerektirir, tüketicinin ihtiyacı oluncaya kadar ısı üretmeye devam eder

Güneş enerjili kombi sistemleri hiçbir analize bakmadan, hidrolik şemalarına bakarak sınıflandırmak mümkündür.

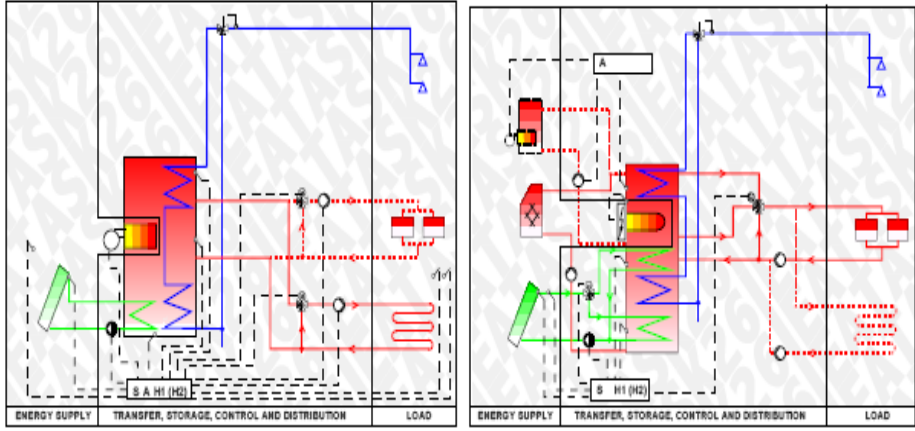
3.3.2 Avrupa'daki güneş enerjili kombi sistem örnekleri

Pratikte, Avrupa pazarında tek aile evleri için tasarlanmış pek çok farklı güneş enerjili kombi sistemi vardır. Sistemlerin boyut ve tasarımları ülkelere özeldir ve çoğu zaman, gelenekler, fiyat aralıkları, özel güvenlik sevipleri, vb şeylere bağlıdır. Almanya'da, lejyonella ya dikkat edilmektedir, bu nedenle sıcak su doğrudan depolama tankından değil ısı dönüştürücü üzerinden alınır.

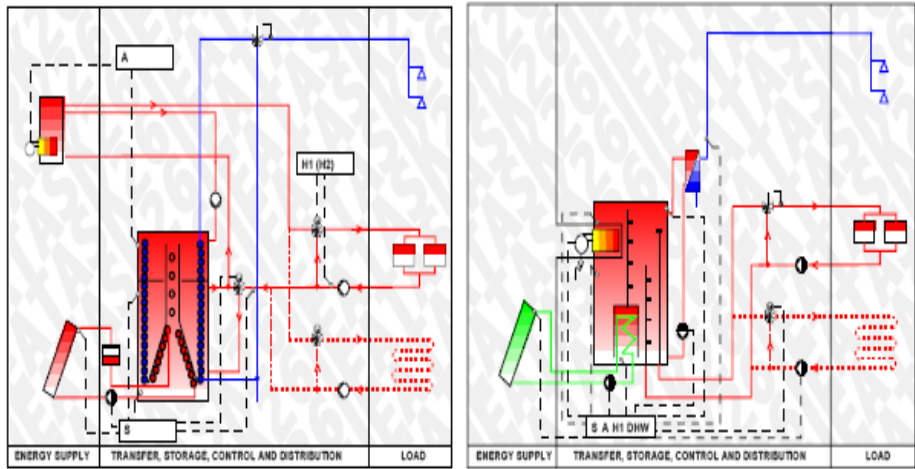
Sistemler oldukça karışıktır ve depolama tankında termal katmanlaştırıcıyı iyileştirmek için çok çaba sarf edilir. Hollanda'da, geri boşaltımlı sistemler yaygın olarak kullanılır. Fransa'da kolektörden alan ısıtmasına doğrudan ısıtma sistemleri yaygındır. İsveç ve Avusturya'da, yardımcı enerji kaynağı olarak odun ve pellet kullanımı popülerdir. En küçük güneş enerjili kombi sistemleri Danimarka ve Hollanda'da bulunur. En büyük sistemler ise Avusturya pazarında yer alır. Genel eğilim, depolama tankında termal katmanlaştırıcı ve güneş enerjisi toplayıcı döngüsündeki pompanın ve yardımcı enerji kaynağı sisteminin kontrolü için tek kontrol sisteminin oluşturulması yönündedir. Şekil 3.13-3.16'da Avrupa pazarındaki güneş enerjili kombi sistem türlerinin şematik gösterimleri verilmiştir.



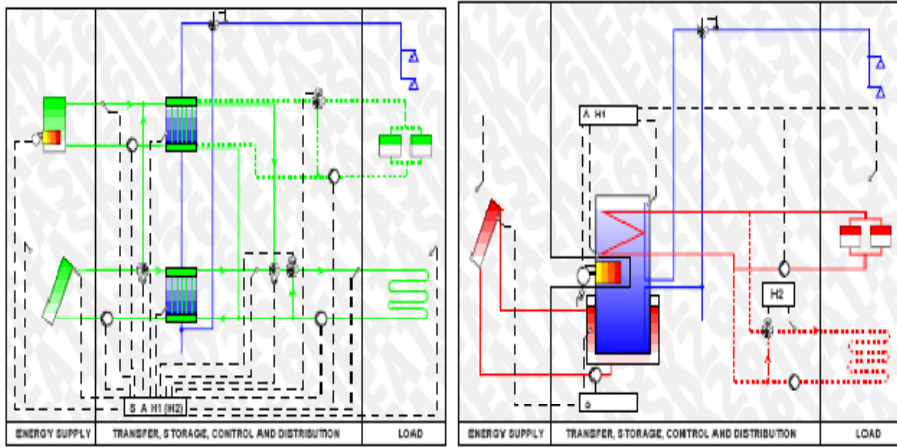
Şekil 3.13 Güneş enerjili kombi sistem türleri. Sol: Danimarka pazarındaki. Sağ: Danimarka, İsveç ve Avusturya pazarında (Suter 2000).



Şekil 3.14 Güneş enerjili kombi sistem türleri. Sol: İsviçre ve Finlandiya pazarında. Sağ: İsveç ve Finlandiya pazarında (Suter 2000)



Şekil 3.15 Almanya'daki güneş enerjili kombi sistem türleri (Suter 2000)



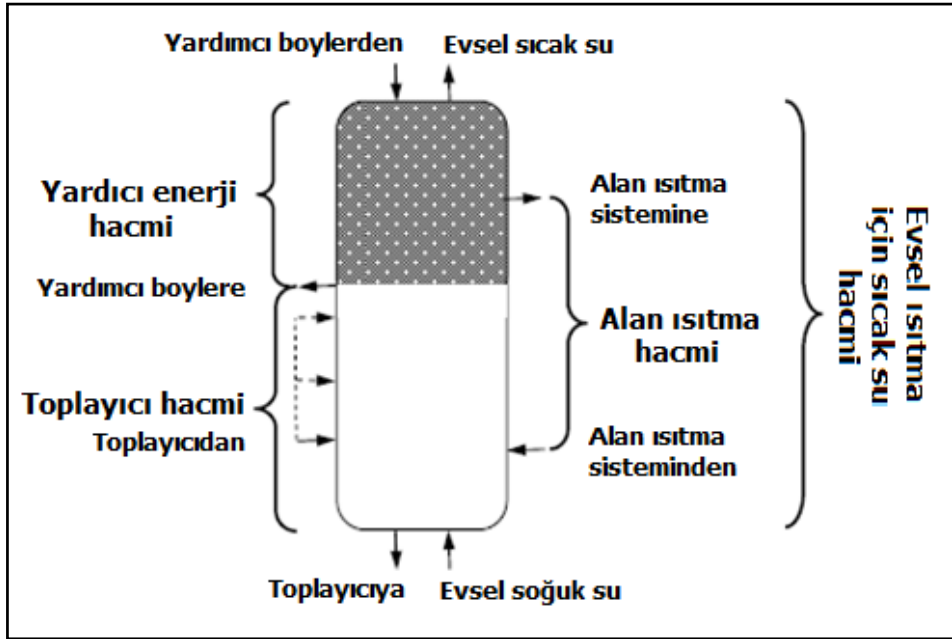
Şekil 3.16 Güneş enerjili kombi sistem türleri. Sol: Fransa pazarında.
Sağ: Hollanda pazarında (Suter 2000).

3.3.3 Güneş enerjili kombi sistemlerin tasarımı

Güneş enerjili kombi sistemlerin tasarımı ile ilgili kesin bir kural yoktur. Sistem tasarımı, iklime, talep edilen enerjiye ve ihtiyaç duyulan sıcak su miktarına ve bunun depolama şekline göre oluşturulur. Sistemin tasarımında en önemli faktör iklimsel parametrelerdir. İklim talep edilen enerjinin güneş enerjisinden karşılanması noktasında, bu tür sistemlerde %10 ila %100 arasında destek sağlamakta ve depolanan enerjinin sıcaklık seviyesine etki etmektedir. Aynı zamanda ek enerji girdisinin büyüklüğünü ve yıllık enerji tüketimini direkt etkileyen faktördür.

Talep edilen enerjiyi karşılamak için güneş enerjisinden veya destek enerji kaynağından üretilen sıcak suyun saklanması

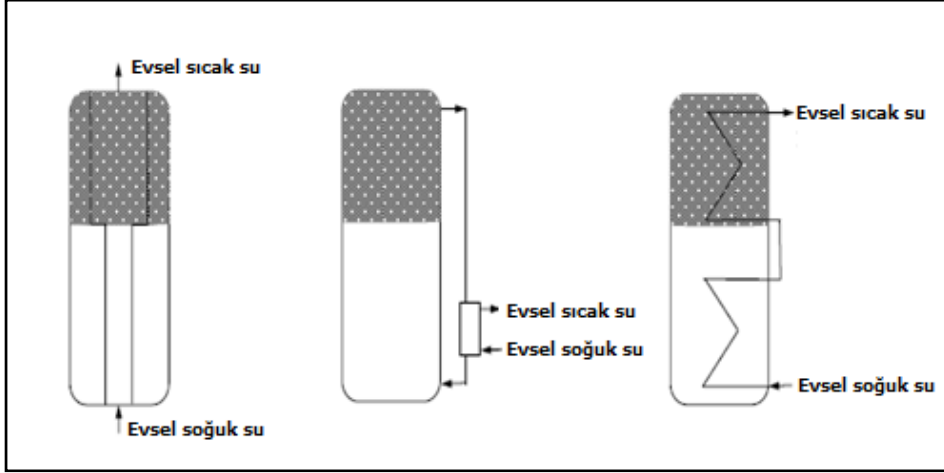
(depolanması), bu tür sistemlerin en önemli noktasıdır. Güneş enerjili kombi sistemin çalışır haldeyken sıcak su depolama kısmının yükleme ve boşaltma sırasındaki hacim değişimi Şekil 3.17’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.17 Güneş enerjili kombi sisteminin depolama tankının şematik gösterimi.

Eysel soğuk su girişi ve evsel sıcak su çıkışı, sırasıyla, evsel sıcak su tankının altında ve üstünde yer alır (Şekil 3.17). Eysel sıcak su tankının çıkışının konumu farklılaşabilir, yardımcı ısıtma hacminin altında da yer alabilir. Bu sayede, evsel sıcak su, farklı sıcaklıklarda boşaltılabilir. Sıcak su, bir tank içinde tank

sisteminde, dış ısı dönüştürücüleri ya da daldırılmış spiral ısı dönüştürücüleri ile iç tanktan da boşaltılabilir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Eysel sıcak su boşaltım opsiyonları.

Şekil 3.14’de ilk çizim, evsel sıcak su, tank içinde tank sistemini, ikinci çizim, yan kol ve düz ısı dönüştürücüyü, son çizim ise, daldırılmış spiral dönüştürücüyü ifade etmektedir.

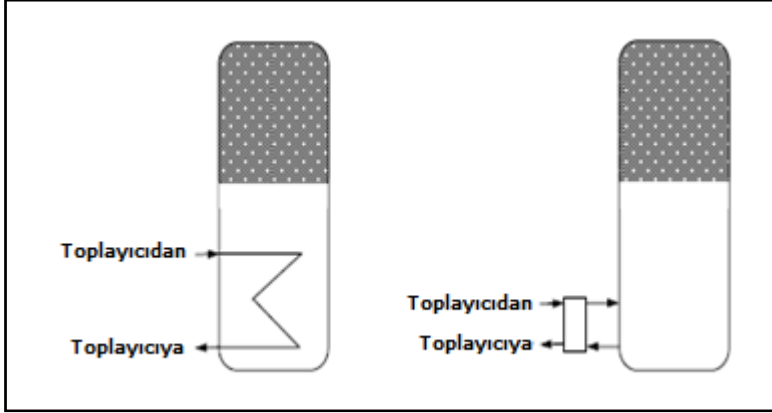
Alan ısıtması için kullanılacak çıkış genellikle, yardımcı ısıtma hacminin üzerinde olur. Depolama tankının yükleme ve boşaltımı dış ısı dönüştürücüleri ya da daldırılmış spiral ısı dönüştürücüleri ya da doğrudan giriş ve çıkışların kullanımı ile yapılabilir. Depolama tankı güneş enerjili kolektör ve yardımcı enerji kaynağı ile ısıtılır. Güneş enerjisi toplayıcısı kullanımı ile ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş bir tank da söz konusu olabilir.

Sistem, hem evsel sıcak su ihtiyacını hem de alan ısıtma ihtiyacını etkin bir şekilde karşılayabilir olmalıdır. Evsel sıcak su kaynağı genellikle 45°C'nin üzerinde sıcaklıklara ihtiyaç duyarken, alan ısıtması daha düşük sıcaklıklarda sağlanabilir. Ancak ihtiyaç duyulan sıcaklık, evin ısı gereksinimine ve ısıtma sisteminin boyutlarına bağlıdır. Geleneksel radyatör ısıtma sistemlerinde, genellikle 300 litre/saat'lik bir akış hızı hacmi ve akış sıcaklık boyutları ve geri dönüş sıcaklıkları, 60°C / 40°C ya da 70°C / 50°C olacak şekilde kullanılır. Yerden ısıtma sistemlerinde, 1000 litre/saat'lik bir akış hızı hacmi ve akış sıcaklık boyutları ve geri dönüş sıcaklıkları, 35°C-40°C / 30°C-35°C aralığındadır.

Güneş enerjisi toplayıcısı döngüsü genellikle, propilen glikol-su karışımı (antifriz sıvısı)'dır, ancak su ile de çalışabilir. İkincisi, güneş enerjisi toplayıcısının çalışmadığı durumlarda suyun boşaltılması için bir arka su çıkışına ihtiyaç duyar. Toplayıcı döngüsü içindeki döngünün akış hızı hacmi, toplayıcının m² başına 0.15 l/dak-1.21 l/dak'lık aralıkta bir pompa ile sağlanır. Düşük akış hızı hacmi, kolektörün giriş ve çıkışlarında büyük, yüksek akış hızı hacmi ise düşük sıcaklık farkı oluşmasına neden olur.

Kolektör döngüsü içinde yüksek akış hızı hacminde çalışan bir güneş enerjili kolektörün enerjisi depolama tankına genellikle, depolama tankının tabanına yerleştirilen bir spiral ısı dönüştürücüsü (Şekil 3.19, sol) ya da tanka borularla bağlanan bir dış ısı dönüştürücüsü (Şekil 3.19, sağ) ile aktarılır. İkinci

yaklaşımında, ısı değıştircisinin ikincil kısmındaki güneşten kazanılan enerjisi, tanka bir pompa ile aktarılır.

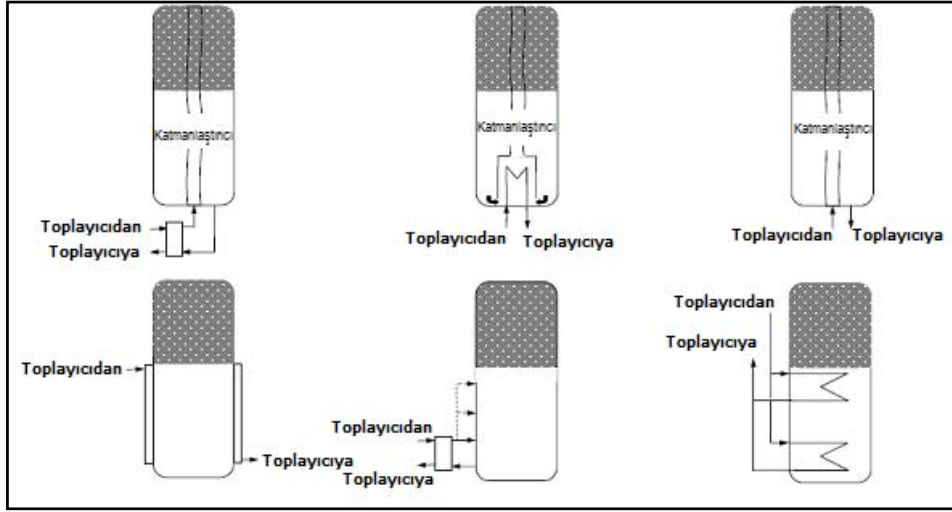


Şekil 3.19 Yüksek akış hızı hacmine sahip bir güneş enerjili kolektör döngüsünden, ısı depolama tankına enerji aktarım yolları.

Depolama tankına dayalı güneş enerjili ısıtma sistemlerinde, düşük akış hızı hacmi kullanılır. Kolektör çıkışında daha düşük sıcaklığa neden oldukları için, bu yaklaşım için yüksek akış hızı hacmi uygun değildir.

Daldırılmış bir ısı dönüştürücüsü ile birlikte kullanılan düşük akış hızı hacmi, genellikle termal bir avantaj sağlamaz. Kolektör döngüsünde düşük akış hızı hacminden faydalanabilmek için, tank su sıcaklığının güneş enerjili kolektörde üretilen sıcaklığa özdeş olduğu bir sevide güneş enerjili sisteme aktarılmalıdır.

Termal katmanlaştırıcı, depolama tankındaki bütün girişler katmanlaştırma cihazlarının kullanımı ile sağlanabilir. Toplayıcı döngüsünde kullanılabilecek, katmanlaştırma tasarımları, Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20 Güneş enerjisi döngüsünde kullanılabilecek katmanlaştırma tasarımları.

Güneş enerjili ısıtma sisteminde yüksek ısı performansına ulaşabilmek için depolama tankında ısı katmanlaştırma çok önemlidir. Depolama tankının üst tarafında yüksek, alt tarafında ise düşük sıcaklıkların olması herhangi bir güneş enerjili ısıtma sistemi için en iyi şartları sağlar. Kolektörden gelen enerji ile sağlanan depolama tankının üst tarafındaki yüksek sıcaklıklar, yardımcı enerji kullanımını azaltır. Depolama tankının alt tarafındaki düşük sıcaklıklar ise kolektörün çalışma şartlarını

iyileştirir. Kolektör enerjiyi depolama tankına kolayca aktarabilir ve kolektörün daha verimli kullanımı için daha uzun süreler çalışabilir.

Güneş enerjisi, doğrudan doğruya tanktan kullanıcıya ulaşacak evsel sıcak su tankında ya da tank suyu ile evsel sıcak su arasında bir ısı dönüştürücü kullanımı ile alan ısıtma tankında depolanabilir. Enerji evsel suda depolanırken, suyun tankta kalış süresi dikkate alınmalıdır. 30°C-45°C'lik bir sıcaklık aralığı ve uzun kalış süreleri bakteri üremesi için en uygun şartları oluşturabilir, örneğin, tankta lejyonella üremesi gibi. Lejyonella bakterisi üzerine yapılan araştırmalar, bu bakterinin 20°C'nin altında ve 50°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda üremediğini, 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise yaşayamadığını göstermiştir (Cabeza, 2005).

Çoğu güneş enerjili ısıtma sistemi yardımcı bir enerji kaynağına ihtiyaç duyar. Yardımcı enerji kaynağı sistemi, gaz ya da yağ, odun ya da pellet ya da elektrik tabanlı olabilir. çoğu yardımcı enerji kaynağı sistemi güneş enerjili ısıtma sistemine ayrı bir ünite olarak bağlansa da güneş enerjili ısıtma sistemine entegre kullanımları da vardır (ör: gaz entegre güneş enerjili ısıtma sistemleri). Egzoz gazını yoğunlaştırılarak enerjiyi kullanan yardımcı enerji kaynağı sistemleri için yardımcı enerji sistemine dönüş sıcaklığının egzoz gazını yoğunlaştıracak kadar düşük olması önemlidir. Bu sistemler diğerlerine kıyasla çok pahalıdır dolayısıyla kötü bir tercih olurlar.

Kolektör sisteminin, yardımcı enerji sisteminin ve alan ısıtma döngüsünün kontrolü için sadece bir kontrol sistemi kullanılmalıdır. İki bağımsız kontrol sisteminin kullanılması güneş enerjili kolektör tarafından sağlanabilinecek sıcaklıklarda da yardımcı enerji sisteminin çalışmasına neden olabileceği için risk oluşturur. Bu ise, ihtiyacın üstünde bir yardımcı enerji üretimine ve güneş enerjili kolektör için en kötü çalışma şartlarına neden olur.

Depolama tankından yüksek ısı kayıpları, ısı kayıplarının bir kısmı yardımcı enerji kaynağı sistemi ile karşılanacağı için güneş enerjili ısıtma sisteminin performansını düşürür. Isı kayıpları engellenemez ancak, depolama tankının her tarafının, tank ve yalıtım materyali arasında hava dolaşımı olamayacak şekilde, çok iyi yalıtılması ile minimize edilebilir. Isı kayıpları ayrıca, bütün boru bağlantılarının depolama tankının alt ve daha soğuk kısmından yapılması ve yardımcı enerji sisteminin sıcaklık ayarının ve hacminin mümkün olduğunca düşürülmesi ile de önlenabilir.

Güneş enerjili kombi sistemlerinin sadece birkaç günlük kısa dönem ihtiyaçlarına yanıt verecek şekilde küçük sistemler olarak tasarlanması oldukça yaygındır ama uzun süreli depolamalar için kullanılan büyük güneş enerjili kombi sistemleri de vardır. Bu sistemlerde, yazın toplanan ısı, ısıtmanın ihtiyaç duyulduğu mevsimlerde kullanılır.

3.3.4 Güneş enerjili kombi sistemin teorik analizi ve boyutlandırılması

3.3.4.1 Teorik analiz

Task 26'nın amaçlarından biride, yıllık sistem benzeşimlerinin kullanımıyla farklı kombi sistem tasarımlarının karşılaştırılmasıdır. Solar kombi sistemlerinin performanslarını açıklamak ve detaylı benzeşim modelleri ile uygun bir karşılaştırma yapmak için karşılaştırma sonuçlarının, seçilen **referans şartlarına**; enerji ihtiyacına, enerji kaynaklarına, parametre oluşturmaya ve standart bileşenlerine, kombi sistem performansının (ör: kombi sisteminin tasarruf ettiği gaz tüketiminin, güneş enerjili olmayan referans ısıtma sistemi ile karşılaştırması) bir ölçütü olan yıllık sistem benzetiminin **çıktısına ya da hedef fonksiyonuna** bağlı olduğu bilinmelidir. TASK 26'da tanımlanan referans şartlara uymayan kombi sistemler arasında bir karşılaştırma yapabilmek için, bu sistemler farklı iklim ve sistem boyutları için tasarlanan sistemlerin karşılaştırılmasıyla ayrıca karakterize edilmelidir.

Referans Şartlar

Güneş enerjili kombi sistemlerin benzetimleri TRNSYS (Klein *et al.*, 1998) programı kullanarak yapılmıştır. TRNSYS, bir ana program dosyasının yanı sıra bileşen modellerin benzetim kontrolü ve hesaplaması için alt rutin içerir. Bileşen modellerin (türler) alt rutinleri, belli bir sırada ayrıca hesaplanır. Sıcaklık ve kütle akış

hızları gibi değişkenler, her alt rutin çağrısında bir bileşenden diğerine aktarılır. Her zaman adımında, gerçek değeri farklı olan bu değişkenler, bileşenlerin girdi ve çıktıları olarak adlandırılır ve bileşen modelleri arasında bağlantı görevi görür. Bileşen modellerinin (parametrelerinin) sabit özelliklerinin değerleri tüm simülasyon için tanımlanır. TASK 26 kapsamında yapılan tüm hesaplamalarda, bazı parametreler değişmez referans değerler ile tanımlanırken, bazıları kombi sistem tasarımları optimize edilmiş ya da duyarlılık analizin yapılabilmesi için değiştirilmiştir. Referans parametre ayarlarının bir kısmı aşağıda tanımlanmıştır.

TASK 26'da belirtildiği gibi çeşitli sistem hidrolikleri (ör: ısı dönüştürücülerin ve depoların bağlantıları gibi) ve depolama tankındaki katmanlaştırmanın iyileştirme yolları (ör: depolama tankındaki katmanlaştırma borusu) pek çok kombi sistemlerinde bulunur. Bu sistem temel farklarına ilaveten, pek çok farklı parametre, bileşen ve veri girişi çeşitliliği söz konusudur. Bunlar sistem tasarımı için karakteristik olmasa da sistem performansını etkiler.

- a) Yerel ısıtma sistemine enerji iletiminin yıllık dağılımı ve miktarı (ör: güneş ışınlamı ve yardımcı ısı kaynağı) ve evsel sıcak su (DHW) ve alan ısıtması (SH) için ısı ihtiyacı.

- b) Özel sistem tasarımı için karakteristik olmayan bilen parametreleri (ör: toplayıcı ve depolama tankı arasındaki boru bağlantılarının uzunluğu).
- c) İncelenen sistemlerin tümü için aynı şekilde uygulanabilecek standart bileşenler (ör: yardımcı ısı kaynağı olarak gaz boyler, toplayıcı türü ve geleneksel ısıtma sistemi bileşenleri)

Alan ısıtma (SH) ihtiyacı sadece bina tasarımına değil aynı zamanda, güneş enerjili ısıtma sistemi ve bina arasındaki etkileşime de bağlıdır. Dolayısıyla, boylerin toplam enerji tüketimi her kombi sistemi benzeşiminde hesaplanır. Geleneksel ve güneş enerjili ısıtma sistemleri için boyler verimi ve depolama tankının ısı kayıpları değiştiği için geleneksel ısıtma sisteminin enerji ihtiyacı, kombi sisteminin güneş ve yardımcı enerji katkılarının toplamı olarak düşünülemez. Dolayısıyla, aktif güneş enerjisi katkısı ile kombi sisteminin sağlayacağı fosil yakıt miktarındaki düşüşün hesaplanabilmesi için, hem kombi sistemlerine hem de geleneksel referans sistemlere aynı parametre etkileri uygulanır. Şimdi bu parametreleri ve etkilerini teorik olarak irdeleyelim:

Boyer Parametreleri:

TASK 26 kapsamında güneş enerjili kombi sisteminin yardımcı enerji kaynağını tanımlamak için pek çok farklı boyler modeli

kullanılmıştır. İki boyler modeli, gaz ve biokütle boyler modelleri, standart boyler modeli olarak tanımlanmıştır.

Analizlerde yakıtların saflaştırma ve taşıma masrafları dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla, her ısıtma sistemi tarafından tüketilen yakıtın alt ısıtma değeri ile hesaplanan, boylerlerin toplam enerji ihtiyacı (E_{boyler}), sistemlerin enerji ihtiyacının analizinde kullanılmıştır. Tipik bir güneş enerjili kombi sistemi için standart boylerin, yıllık ortalama boyler veriminin (η_{boyler}), güç aralığının ve minimum çalışma ve durma sürelerinin benzetim değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Standart boylerlerin referans verileri.

	Gazlı boyler	Biokütleli boyler
Nominal yanma gücü, $P_{\text{nom,yanma}}$	15 kW (tek aile evi) 24 kW (çoklu aile evi)	
Güç aralığı	% 25–100	% 30–100
Yıllık ortalama boyler verimi	% 90	% 80
Minimum çalışma süresi	1 dakika	30 dakika
Minimum durma süresi	1 dakika	30 dakika

Güneş enerjili kombi sisteminin, yardımcı boylerinin toplam enerji ihtiyacı (E_{boyler}), yardımcı boylerin termal enerji yükünün

(Q_{boyler}) yıllık ortalama boyler verimine (düşük ısıtma değeri ile hesaplanmış) oranı olarak tanımlanabilir.

$$E_{\text{boyler}} = \frac{Q_{\text{boyler}}}{\eta_{\text{boyler}}}, (\text{kWh/m}^2\text{yıl}) \quad (3.50)$$

Bazı sistemlere (ör: harici yağ ve gaz yakıcılar ve farklı dâhili yakıcılar) eklenen, özel boylerler için model tanımlamaları ve model parametreleri TASK 26 içindeki teknik raporlarda verilmiştir (Bales vd, 2002).

Elektrikli ısıtma yapılacak olursa, elemanın birincil enerji ihtiyacı, elektrikli ısıtma elemanının ısı enerji yükünün ($Q_{\text{el,heater}}$), yıllık elektrik üretim verimine ($\eta_{\text{el,heater}}$) oranıdır.

$$E_{\text{el,heater}} = \frac{Q_{\text{el,heater}}}{\eta_{\text{el,heater}}}, (\text{kWh/m}^2\text{yıl}) \quad (3.51)$$

- $\eta_{\text{el,heater}} = \%40$, yenilenebilir enerji kaynakları kullanmayan sistemler için,
- $\eta_{\text{el,heater}} = \%90$, tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sistemler için dikkate alınabilir.

Hem gazlı yada katı, hem de elektriksel ısıtma elemanı kullanan sistemler için, güneş enerjili kombi sistemin yardımcı

enerji ihtiyacı ($E_{aux.}$), yardımcı boylerin toplam enerji tüketiminin (E_{boyler}) elektriksel ısıtıcının birincil enerji tüketimi ($E_{el,heater}$) toplamıdır.

$$E_{aux} = E_{boyler} + E_{el,heater} , (\text{kWh/m}^2\text{yıl}) \quad (3.52)$$

Referans boylerin ısııl enerji ihtiyacı ($Q_{boyler,ref}$), evsel sıcak su (Q_{DHW}) ve alan ısıtması (Q_{SH}) için gerekli enerji ihtiyaçlarının tanktaki ısı kayıpları ($Q_{loss,ref}$) ile toplamı olarak tanımlanmıştır.

$$Q_{boyler,ref} = Q_{SH} + Q_{DHW} + Q_{loss,ref} , (\text{kWh/m}^2\text{yıl}) \quad (3.53)$$

Seçilen referans boylerin verimliliği yaklaşık olarak %85 olarak alınabilir.

$$E_{ref} = \frac{Q_{boyler,ref}}{\eta_{boyler,ref}} , (\text{kWh/m}^2\text{yıl}) \quad (3.54)$$

Toplayıcı Parametreleri:

TASK 26 içindeki tüm benzetimlerde, optik seçici soğurucularla kaplanmış tipik bir düzlemsel güneş enerjisi toplayıcısı kullanılmıştır. Toplayıcı parametreleri Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10 Toplayıcı parametreleri (açıklık alanına bağlı veriler).

Parametre	Değer	Birim
η_0	0.8	-
a_1	3.5	W/m ² K
a_2	0.015	W/m ² K ²
Geliş açısı düzeltmesi ($\theta=50^\circ$)	0.9	-

Boru Parametreleri:

Borulardan kaynaklanan termal kayıplar sadece güneş enerjili kombi sistemin toplayıcı döngüsü için dikkate alınmıştır. EN 12976-2, 2000'e göre aşağıdaki boru parametreleri tahmin edilmiştir:

Boy : 30 m (toplam, tek aile evi)

Yalıtım : < 12 mm iç boru çapı: iç boru çapının % 200'ü

> 12 mm çap: iç boru çapının % 100'ü

Ortam sıcaklığı : 15°C

Depolama Parametreleri:

Farklı depolama yöntemleri geliştirilmesine rağmen, referans sistemde tank içinde tank mantığı ile depolamanın yapıldığı ve yıllık ısı kaybının, ENV12977-2 nolu standart tanımlandığı gibi

günlük sıcak su ihtiyacına göre eşitlik (3.55)'deki gibi hesaplanabilir. Çizelge 3.11'da adı geçen standart'ta farklı günlük sıcak su ihtiyacına (V_d , litre/gün) göre referans depolama kayıpları verilmiştir. Pratik olarak bu değerlerde kullanılabilir.

$$Q_{loss,ref} = (UA)_{store,ref} (\bar{T}_{store} - T_{store,amb}) 8760, \text{ (kWh/yıl)} \quad (3.55)$$

$$(UA)_{store,ref} = 0.16 \sqrt{V_{store,ref} / \ell}, \text{ (W/K)} \quad (3.55)$$

Burada, $T_{store}=52.5^{\circ}\text{C}$ (sıcak su sıcaklığı) ve $T_{store,amb}=15^{\circ}\text{C}$ (çevre sıcaklığı) olarak alınabilir.

Çizelge 3.11 Günlük sıcak su ihtiyacına göre referans depolama kaybı.

V_d , Günlük sıcak su ihtiyacı (litre/gün)	$Q_{loss,ref}$, Referans depolama kaybı (kWh/yıl)
100	455
150	557
200	644
250	720
300	788

Sistem Bileşenlerinin Elektrik İhtiyacı:

Güneş enerjili kombi sistemlerin parazitik elektrik enerjisi ihtiyacı W_{par} ve referans ısıtıcı sistemin $W_{par,ref}$ (pompalar, vanalar, boylerin cihazları, kontrolörler) elektrik ihtiyacının toplamıdır.

$$W_{par // par,ref} = W_{pumps} + W_{boiler} + W_{valves} + W_{cont} \quad (3.56)$$

Birincil parazitik elektrik enerji ihtiyacı (E_{par}), % 40'lık bir enerji üretim verimliliği (η_{el}) dikkate alınarak eşitlik (3.57) yardımıyla hesaplanabilir.

$$E_{par // par,ref} = \frac{W_{par // par,ref}}{\eta_{el}} \quad (3.57)$$

Güneş enerjili kombi sistemlerinde elektrik kullanan tüm cihazların elektrik tüketim değerleri etiketli olarak verilir. Verilmediği durumlarda TASK 26 kapsamında geliştirilen yöntemle detaylı olarak hesaplanır. Yöntem çok detaylı olduğu için bu tez kapsamında dikkate alınmamıştır.

Toplam Enerji İhtiyacı:

Güneş enerjili kombi sisteminin toplam enerji ihtiyacı (E_{total}), yardımcı enerji ihtiyacı ($E_{aux.}$) ile birincil parazitik elektrik enerji ihtiyacının (E_{par}) toplamıdır.

$$E_{total} = E_{aux} + E_{par} \quad (3.58)$$

Referans sistem için, birleştirilmiş toplam enerji ihtiyacı ($E_{total,ref}$), referans sistemin kazanının toplam enerji ihtiyacı (E_{ref}) ile birincil parazitik elektrik enerji ihtiyacının ($E_{par,ref}$) toplamıdır.

$$E_{total,ref} = E_{ref} + E_{par,ref} \quad (3.59)$$

Referans ve yardımcı kazanlar için toplam enerji ihtiyacı (yanan yakıtın düşük ısıtma değeri) dikkate alınırken, parazitik elektrik enerjisi ve elektriksel ısıtma elemanlarında, elektriksel üretim verimleri kullanılmıştır.

3.3.4.2 Nomogram yöntemi ile boyutlandırılması

Bu yöntem TASK 26 kapsamında geliştirilmiş olup, tüketimin güneş enerjisi ile karşılanan kısmının hesaplandığı FSC (Fractional Solar Consumption) mantığına dayanan bir yöntemdir. FSC Nomogram yöntemi, farklı iklim koşullarında, farklı bina yüklerinde ve TASK 26 kapsamında geliştirilen farklı güneş enerjili kombi sistemleri kullanılarak, boyutlandırma ve birbirlerine göre kıyaslama şansını vermektedir.

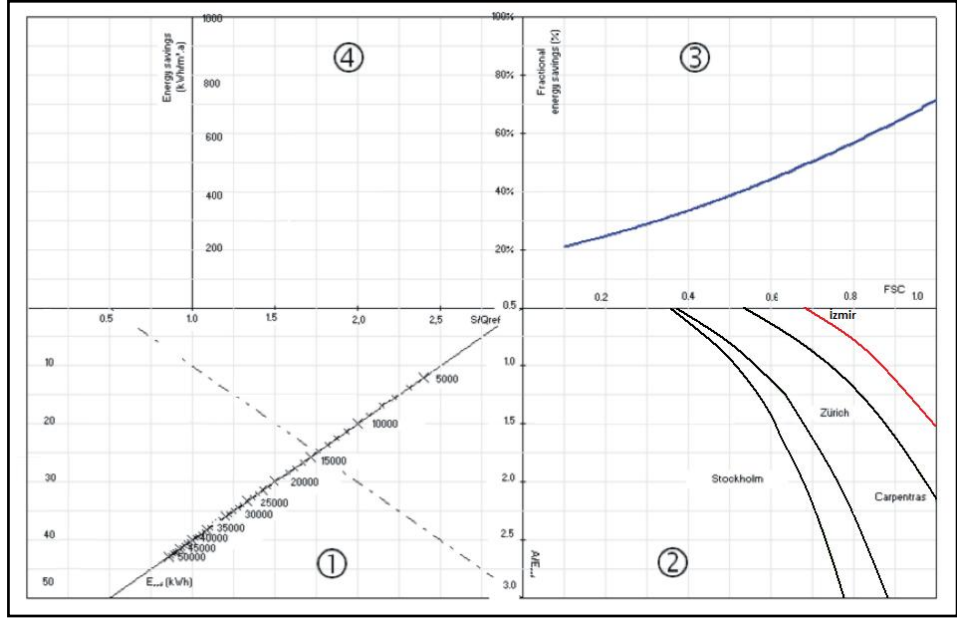
FSC Nomogram yönetimi, aşağıda sıralanan 4 parametrenin seçiminden sonra enerji tasarrufunu basit olarak tahminlemeye yönelik tasarlanmıştır. Bu parametreler,

- Güneş enerjili kombi sistem,
- İklim,
- Toplayıcı alanı,
- Referans tüketim

olarak dikkate alınmaktadır. Nomogram, bu parametrelerin kullanıldığı 4 farklı diyagram birleşiminden oluşmaktadır (Şekil 3.21). Bu 4 diyagramın birer eksenini birbiriyle bağlantılı olup, eksenlerinin listesi Çizelge 3.12 verildiği gibidir.

Çizelge 3.12 Nomogram'daki 4 diyagramın eksenlerinin listesi.

	X eksen		Y eksen		Diyagonal eksen	
		Birim		Birim		Birim
①	A_c	m^2	A/E_{ref}	$10^{-3} m^2/kWh$	E_{ref}	kWh
②	A/E_{ref}	$10^{-3} m^2/kWh$	FSC	-	İklim	-
③	FSC	-	$F_{sav,therm}$	%	Sistem	-
④	A/E_{ref}	$10^{-3} m^2/kWh$	E_{sav}	kWh/ m^2 yıl		



Şekil 3.21 FSC Nomogram yönteminin şematik gösterimi.

FSC Nomogramı oluşturan bu 4 farklı diyagramın fonksiyonları aşağıda verildiği gibidir:

- ①.diyagram, seçilen toplayıcı alanı (A_c) ve yıllık referans tüketime göre (E_{ref}), spesifik toplayıcı alanın (A/E_{ref}) hesaplanması,
- ②.diyagram, seçilen iklime ve spesifik toplayıcı alanına (A/E_{ref}) göre, FSC (Fractional Solar Consumption, Kesirli Güneş Tüketimi)'nin hesaplanması,
- ③.diyagram, seçilen sistem tipine ve FSC'ye göre, kesirli ısı enerjisi tasarrufunun ($F_{sav,therm}$) hesaplanması,

- ④.diyagram, spesifik toplayıcı alanına ve kesirli ısı enerjisi tasarrufuna ($F_{sav,therm}$) göre, yıllık enerji tasarrufunun (E_{sav}) hesaplanması

olarak dikkate alınmıştır. FSC Nomogram yönteminin kullanımı ve hesaplama metodolojisi aşağıdaki gibi sıralandırılabilir:

- a) Öncelikle dikkate alınan referans bina için 1 nolu diyagramdaki diyagonal ekseninde eşitlik (3.54)'ye göre hesaplanan yıllık referans tüketim (E_{ref}) değeri işaretlenir. Bu nokta a noktası olarak adlandırılır.
- b) Yıllık referans enerji tüketimi hesaplanıp, 1.nolu diyagramda diyagonal ekseninde seçildikten sonra, bu nokta 1 nolu diyagramın orijinine birleştirilir. Bu nokta b noktası olarak adlandırılır.
- c) Daha sonra 1 nolu diyagramda eksen üzerinden toplayıcı alanı seçilir. Bu nokta c noktası olarak adlandırılır.
- d) 1 nolu diyagramın ekseni üzerinden Toplayıcı alanı seçildikten sonra, bu noktadan daha önce çizilmiş olan [ab] çizgisine birleştirilir. Bu nokta d noktası olarak adlandırılır.
- e) Aynı diyagramda işaretlenen d noktasında dik çıkılarak diyagonal ve kesikli olarak çizilen doğru üzerinde kesiştirilir. Bu nokta e noktası olarak adlandırılır.

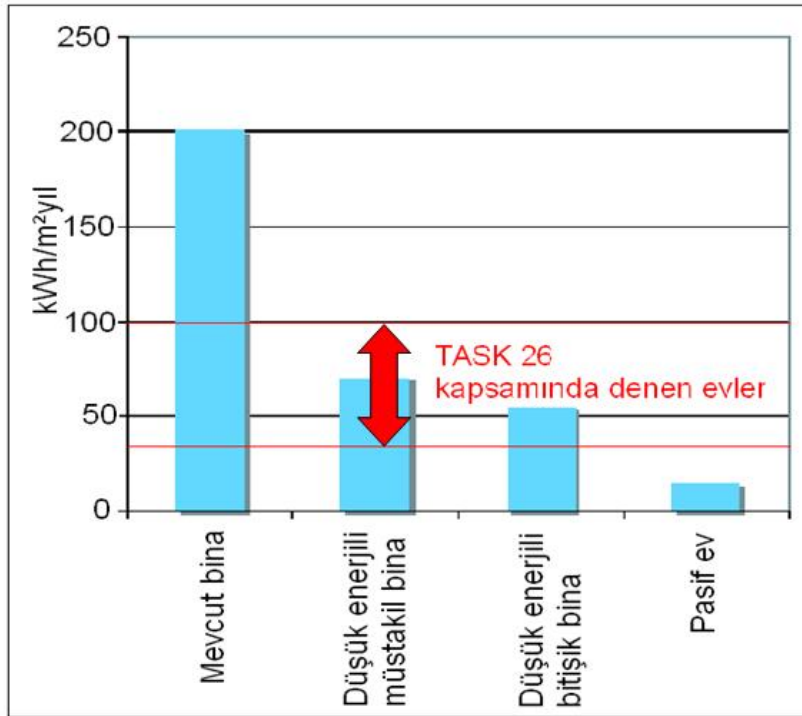
- f) e noktasından yatay bir çizgi çizilerek 2 nolu diyagramın eksenine kesiştirilerek f noktası işaretlenir. Bu nokta spesifik toplayıcı alanı olarak belirlenir.
- g) f noktasında yatay çizgi 2 nolu diyagramda devam ettirilerek seçilen iklim bölgesi eğrisi ile kesiştirilir. Bu nokta g noktası olarak adlandırılır.
- h) g noktası 2 nolu diyagramın diğer eksenine kesiştirilir ve bu nokta ise h noktası FSC olarak belirlenir.
- i) 2 ve 3 nolu diyagramların ortak eksenine olan FSC üzerinde işaretlenmiş olan h noktasından yukarı doğru çıkılarak seçilen güneş enerjili kombi sistemi temsil eden eğri ile kesiştirilir. Bu nokta i noktası olarak adlandırılır.
- j) i noktasında 3 nolu diyagramın diğer eksenine kesiştirilerek sistemin güneş enerjisi kullanımıyla enerji tasarruf kesri ($F_{sav,therm}$) bulunmuş olur. Bu nokta j noktası olarak adlandırılır.
- k) 1 nolu diyagramda işaretli olan e noktasından çıkılan düşey çizgi ile 3 nolu diyagramın ekseninde işaretli olan j noktasından devam ettirilen yatay çizgi kesiştirilerek 4 nolu diyagram üzerinde k noktası belirlenir.
- l) Daha sonra k noktası başlangıçta işaretlediğimiz b noktası ile birleştirilir ve 4 nolu diyagramın yıllık enerji tasarrufu (E_{sav}) ekseninde kestiği nokta ise l noktası olarak belirlenir. L noktası bize, seçilen sistem ile yıllık boyler verimliliği %85

olan referans sistemi karşılaştırma imkânını verir. Ayrıca seçilen sistem ile bu koşullar altında ne kadarlık bir enerji tasarrufu yapılabileceği anlaşılabilir.

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

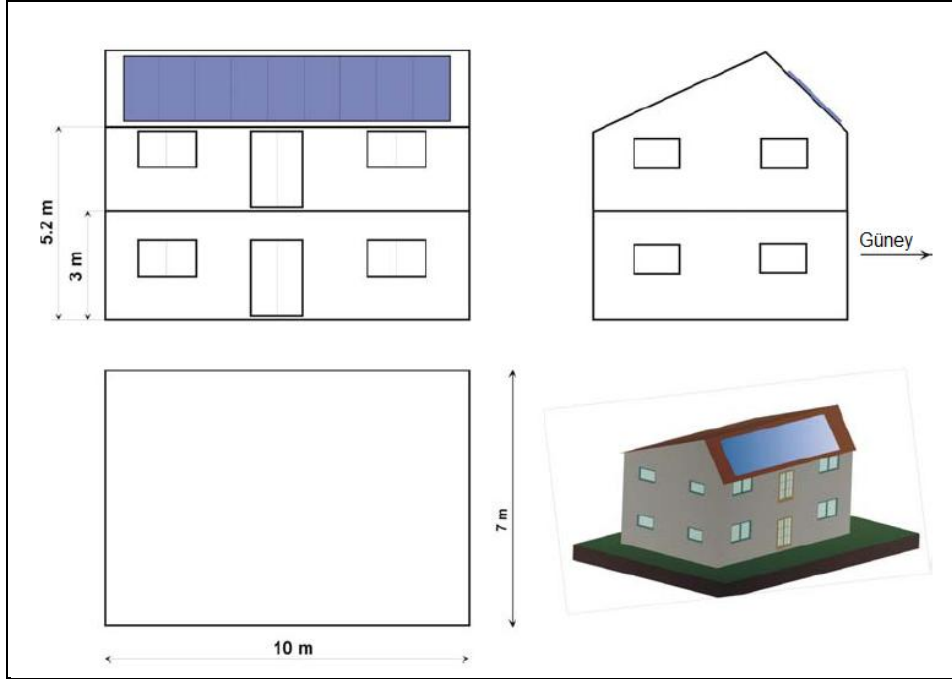
4.1 Örnek Uygulama

TASK 26 kapsamında kullanılan referans binanın karakteristik özellikleri, Avrupa Birliğinde var olan bina stokunu doğru bir şekilde temsil etmesi amacıyla iki farklı bina tipine (tek aile oturabileceği müstakil bina ve çok ailenin oturacağı apartman) göre seçilmiştir. Bununla birlikte, TASK 26 kapsamında gerçekleştirilen simülasyonda binaların yıllık ısı gereksinimini 30, 60 ve 100 kWh/m²yıl olarak dikkate alınmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 TASK 26 kapsamında dikkate alınan yıllık enerji gereksinim aralığı.

Bu tez çalışmasında ise, seçilen bina tipi, tek ailenin oturabileceği müstakil bina olup, geometrik özellikleri Şekil 4.2’de verildiği gibidir.



Şekil 4.2 Örnek binanın geometrik özelliklerinin şematik gösterimi.

Seçilen binanın yapısal özellikleri Çizelge 4.1’de verildiği gibi olup, özgül ısı kaybı $UA = 260 \text{ W/K}$ olarak hesaplanmıştır. Binanın İzmir iklim koşulları dikkate alınarak TS 825 Isı Yalıtım Kurallarına göre yapılan analizi sonucu hesaplanan yıllık enerji gereksinimi Çizelge 4.2’de verildiği gibi $Q = 57.5 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$ olarak belirlenmiştir. Bu değer TASK 26 kapsamında dikkate alınan binaların ortalamasına denk gelmektedir.

Çizelge 4.1 Örnek binanın özgül ısı kaybı hesabı.

Binadaki Yapı Elemanları		Yapı Elemanı Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey	Isı Kaybı	
		d(m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	U (m ² K/W)	A (m ²)	AxU (W/K)	
DUVAR:Dış Havaya Açık dış duvar	1/α _i Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (İç)			0,130				
	4.1 Kireç harcı,kireç-çimento harcı	0,02	1	0,020				
	7.1.2.1 TS EN 771-1 e uygun dolu veya	0,19	0,5	0,380				
	10.3.2.1.1 Ekstrüde polistren köpüğü - TS	0,06	0,03	2,000				
	4.2 Çimento harcı	0,03	1,6	0,019				
	1/α _d Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,040				
TOPLAM				2,589	0,386	112,74	43,55	
DUVAR:Dış Havaya Açık kolon_kiriş	1/α _i Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (İç)			0,130				
	4.1 Kireç harcı,kireç-çimento harcı	0,02	1	0,020				
	5.1.1 Donatılı	0,2	2,5	0,080				
	10.3.2.1.1 Ekstrüde polistren köpüğü - TS	0,06	0,03	2,000				
	4.2 Çimento harcı	0,03	1,6	0,019				
	1/α _d Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,040				
TOPLAM				2,289	0,437	52,00	22,72	
TAVAN:Çatılı Tavan3.1	1/α _i Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (İç)			0,130				
	4.1 Kireç harcı,kireç-çimento harcı	0,02	1	0,020				
	5.1.1 Donatılı	0,12	2,5	0,048				
	10.5.1 Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım	0,08	0,035	2,288				
	8.2.2.1 Yatık yongalı levhalar (TS 180, TS	0,012	0,13	0,092				
	(*) ruberolit	0,02	0,14	0,143				
	(*) kiremit	0,2	0,45	0,444				
	1/α _d Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,080				
TOPLAM				0,8 x A x U	3,243	0,308	80,00	19,73
TABAN:Toprak Temaslı Taban1.1	1/α _i Yüzeysel Isıl İletim Katsayısı (İç)			0,170				
	8.1.1 İğne yapraklı ağaçlardan elde edilmiş	0,02	0,13	0,154				
	5.1.1 Donatılı	0,1	2,5	0,040				
	10.3.2.1.1 Ekstrüde polistren köpüğü - TS	0,1	0,03	3,333				
	4.7 Dökme asfalt kaplama	0,002	0,7	0,003				
	5.2.1.10 Gözenekli hafif agregalar	0,1	1,3	0,077				
	4.6 Çimento harçlı şap	0,02	1,4	0,014				
	3.1 Kum,çakıl,kırma taş (mıcır)	0,1	0,7	0,143				
	1/α _d Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,000				
TOPLAM				0,5 x A x U	3,934	0,254	70,00	8,90
Dış Pencere1					1,9	32,96	62,624	
Dış Kapı1					4	6,3	25,2	
Yapı elemanlarından iletim yolu ile gerçekleşen ısı kaybı toplamı =						182,7		
Σ AU = U _{DAD} + U _{p.Ap} + U _{k.Ak} + 0.8 U _{T.AT} + 0.5 U _{IAI} + U _{dAd} + ...				İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ; HT = Σ AU + I UI				
Σ AU = 182,7				Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı H _v = 0,33 . n _h . V _h = 76,88 W/K				
Özgül ısı kaybı ; H = HT + H _v				H = H _i + H _h = ...259,58..... W/K				

Çizelge 4.2 Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının belirlenmesi.

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$H = H_T + H_V$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H(\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
OCAK	259,58	10,6	2.752	582	812	1.394	0,51	0,86	4.023.686
ŞUBAT		10,0	2.596		1.046	1.628	0,63	0,80	3.351.715
MART		7,4	1.921		1.328	1.910	0,99	0,64	1.809.714
NİSAN		3,2	831		1.529	2.111	2,54	0,00	0
MAYIS		0,0	0		1.845	2.427	0,00	0,00	0
HAZİRAN		0,0	0		1.957	2.539	0,00	0,00	0
TEMMUZ		0,0	0		1.899	2.481	0,00	0,00	0
AĞUSTOS		0,0	0		1.739	2.321	0,00	0,00	0
EYLÜL		0,0	0		1.396	1.978	0,00	0,00	0
EKİM		0,5	130		1.071	1.653	12,74	0,00	0
KASIM		6,0	1.557		776	1.358	0,87	0,68	1.642.758
ARALIK		9,7	2.518		705	1.287	0,51	0,86	3.656.602

$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t(J)$
 $1 \text{ kJ} = 0,278 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}$
 $Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 14.485.160$

Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 14.485.160 \text{ (kJ)} = 4.027 \text{ kWh}$

İç ısı Kazancı $\phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n \text{ (W)}$

Güneş enerjisi kazancı $\phi_{g,ay} = \Sigma \tau_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$

Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$

Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$

$A_{toplam} = 354 \text{ m}^2$

$V_{brüt} = 364 \text{ m}^3$

Hesaplama yapılan binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi

$Q = Q_{yıl} / V_{brüt} = 11,06 \text{ kWh/m}^3$
 $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 116,48 \text{ m}^2$

$A_{toplam} / V_{brüt} = 0,97$ oranı 1. bölge için $Q' = 14,1 \cdot A/V + 3,4$ formülünde yerine konulduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 17,11 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q'$ (11,06 < 17,11) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değerin altındadır. Bu proje, bu standartlarda verilen hesap metoduna göre standartlara uygundur.

Yukarıda özellikleri verilen referans binanın, bölüm 3'de anlatılan yöntemlere yapılan hesaplamalar sonucunda binanın ısı yükü, 4 kişilik bir ailenin talep edeceği sıcak su miktarı ve tüm sistemin işletilmesi için aylık olarak harcanacak elektrik enerjisi miktarları Çizelge 4. 3'de verildiği gibidir.

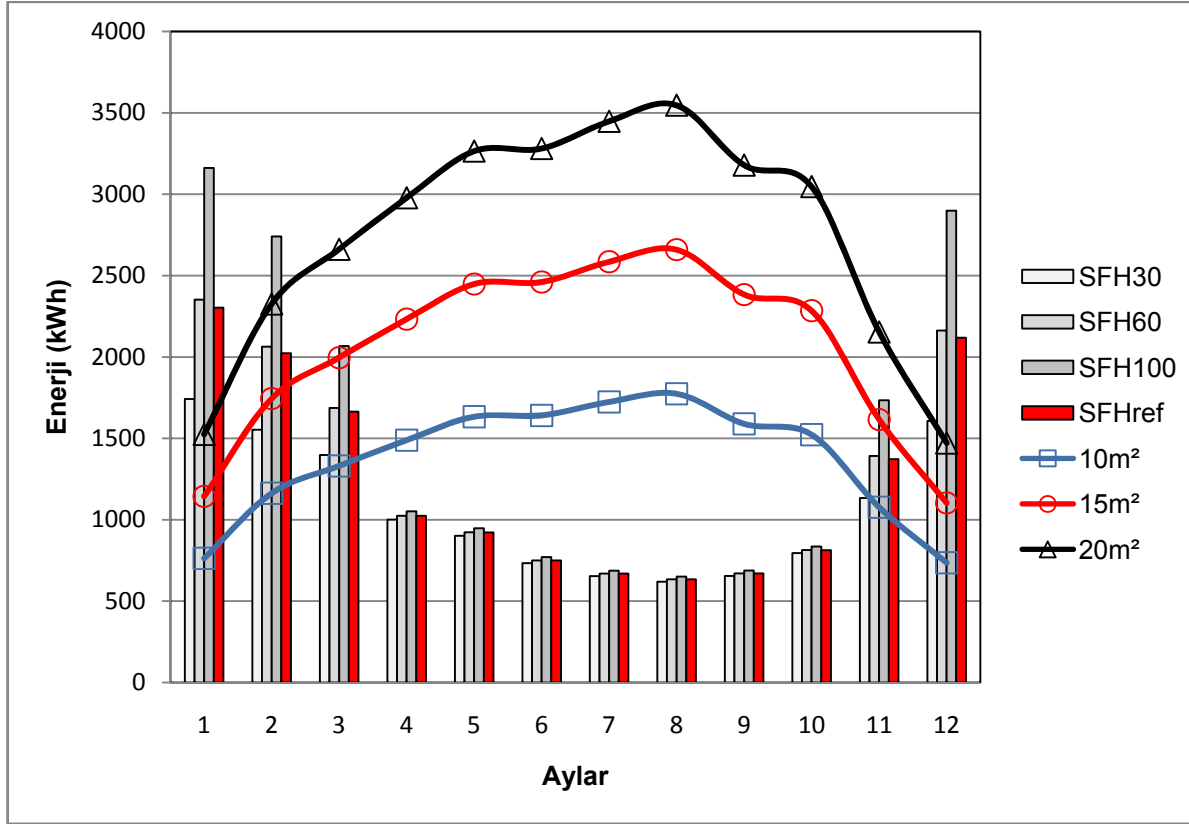
Çizelge 4.3 Referans binanın aylık ve yıllık enerji gereksinim miktarları.

Aylar	Derece- Gün	Bina ısı ihtiyacı	Sıcak su ihtiyacı	Kombi sistemin elektrik talebi	Toplam enerji ihtiyacı
	DD (°Cgün)	Q_{SH} (kWh)	Q_{DHW} (kWh)	Q_{EL} (kWh)	Q_{TOTAL} (kWh)
Ocak	287	1119	1043	141	2303
Şubat	253	932	961	130	2023
Mart	196	503	1023	139	1664
Nisan	-	-	902	122	1024
Mayıs	-	-	812	110	922
Haziran	-	-	661	90	750
Temmuz	-	-	589	80	669
Ağustos	-	-	558	76	634
Eylül	-	-	590	80	670
Ekim	-	-	716	97	813
Kasım	116	457	806	109	1372
Aralık	242	1016	971	132	2119
Yıllık Toplam		4027	9632	1305	14965

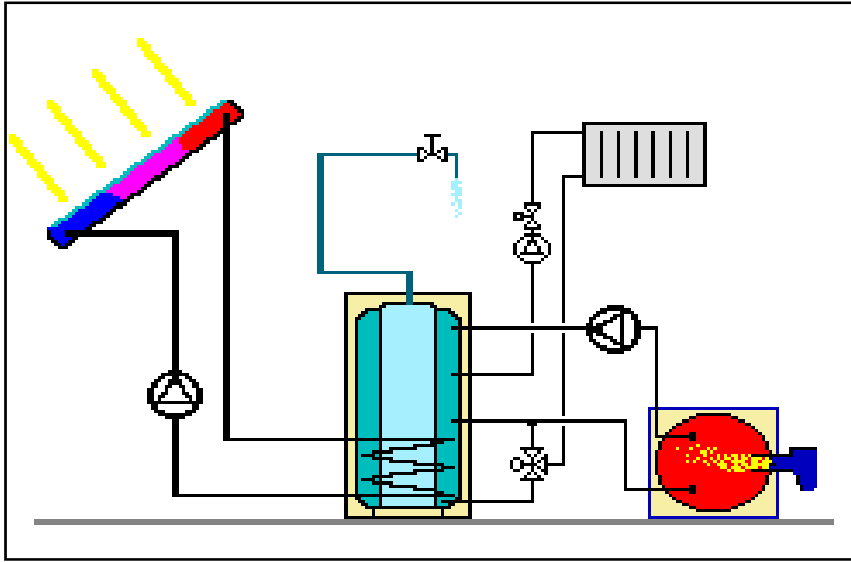
TASK 26 kapsamında dikkate alınan binanın İzmir iklim koşullarında yıllık enerji gereksinimleri ise Çizelge 4.4'de verildiği gibidir. Çizelgede adı geçen SFH30 ile yıllık enerji talebi 30, SFH60 için 60, SFH100 için 100 ve SFH_{ref} ile dikkate alınan referans bina için 57.5 kWh/m²yıl değerleri kastedilmektedir. Ayrıca farklı alanlara (10, 15 ve 20 m²) sahip 56° eğimde yerleştirilecek olan güneş enerjili toplayıcıların üzerine düşen ışınlım miktarı da Şekil 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 İzmir için bina enerji talepleri ve güneşten üretilen enerjisi miktarları.

Aylar	SFH30	SFH60	SFH100	SFH _{ref}	10m ²	15m ²	20m ²
	E _{total,ref} (kWh)				H _T (KWh)		
Ocak	1742	2352	3162	2303	763	1144	1525
Şubat	1553	2064	2741	2023	1163	1745	2326
Mart	1397	1687	2067	1664	1331	1996	2662
Nisan	1001	1024	1052	1024	1489	2233	2978
Mayıs	902	923	948	922	1633	2449	3265
Haziran	733	750	770	750	1641	2461	3281
Temmuz	654	669	687	669	1724	2586	3448
Ağustos	619	634	651	634	1774	2660	3547
Eylül	655	671	688	670	1589	2384	3179
Ekim	795	814	836	813	1523	2285	3047
Kasım	1133	1392	1734	1372	1077	1616	2154
Aralık	1607	2163	2899	2119	736	1104	1472
Yıllık	12792	15143	18235	14965	16442	24664	32885



Şekil 4.3 İzmir için aylık bazda farklı ısı yüklerindeki binaların farklı alanlı toplayıcılarla karşılanma oranı.



Şekil 4.4 Seçilen güneş enerjili kombi sistemin şematik gösterimi.

Bu çalışma kapsamında dikkate alınan referans bina için seçilen güneş enerjili kombi sistemin şematik görünümü, Şekil 4.3’de verilmiştir. Aynı zamanda gerçekleştirilen simülasyon için seçilen kombi sistemin bileşenlerinin teknik özellikleri ise, Çizelge 4.5’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.5 Kombi sistem elemanlarının teknik özellikleri.

Toplayıcı özellikleri	$\eta_0 = 0.8$ $a_1 = 3.5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $a_2 = 0.015 \text{ W/m}^2\text{K}^2$
Toplayıcı eğimi	56°
Azimut açısı	0°
Boyer özelliği	Tank içinde tank
Boyer kapasitesi	800+200 Lt (alan ısıtma ve sıcak su talebi)
Boyer sıcaklık aralığı	max 85°C - min 54°C
Isıtma çevrimi	$55 - 45^\circ\text{C}$
Yardımcı ısıtıcı gücü	0°C de 15 kW, sıvı yakıtlı sistem

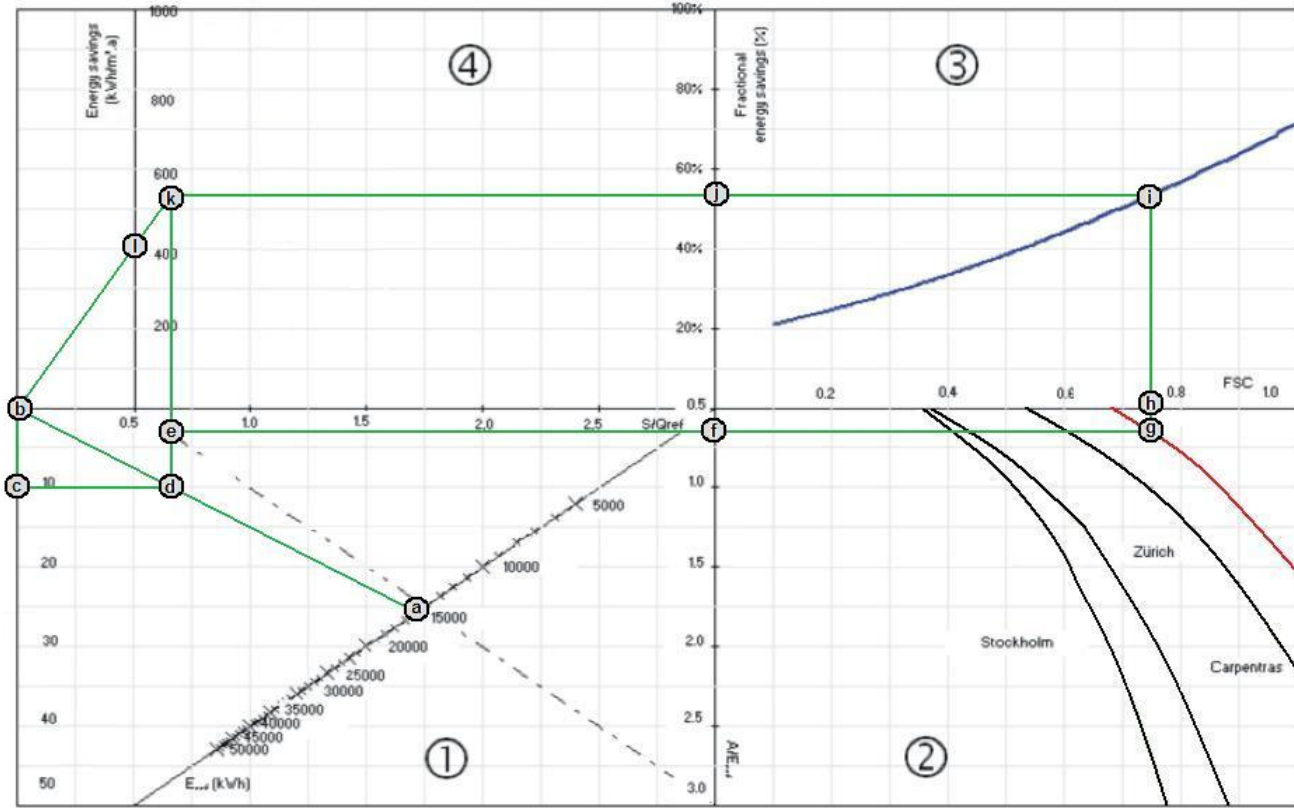
Yukarıdaki bilgilerin ışığı altında referans binanın Nomogram tekniği ile çözümlemesini 10, 15 ve 20 m²'lik toplayıcı alanlarına göre yaptığımız zaman Şekil 4.5 – 4.7 arasındaki grafik sonuçlarını elde ederiz.

Aynı şekilde, Nomogram yöntemine göre gerçekleştirilen analiz sonucunda farklı toplayıcı alanlarına göre özellikleri ve şekli Çizelge 4.5 ve Şekil 4.4'de verilen güneş enerjili kombi sistemin performans değişimleri ise, Çizelge 4.6 – 4.8 arasında verildiği gibidir.

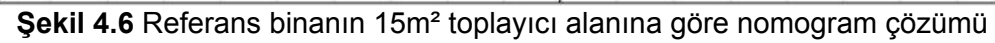
Ayrıca Nomogram yönetimi kullanılarak seçilen güneş enerjili kombi sistemin farklı toplayıcı alanlarına göre yıllık enerji tasarruf oranlarını ise, Çizelge 5.9'da verildiği gibidir.

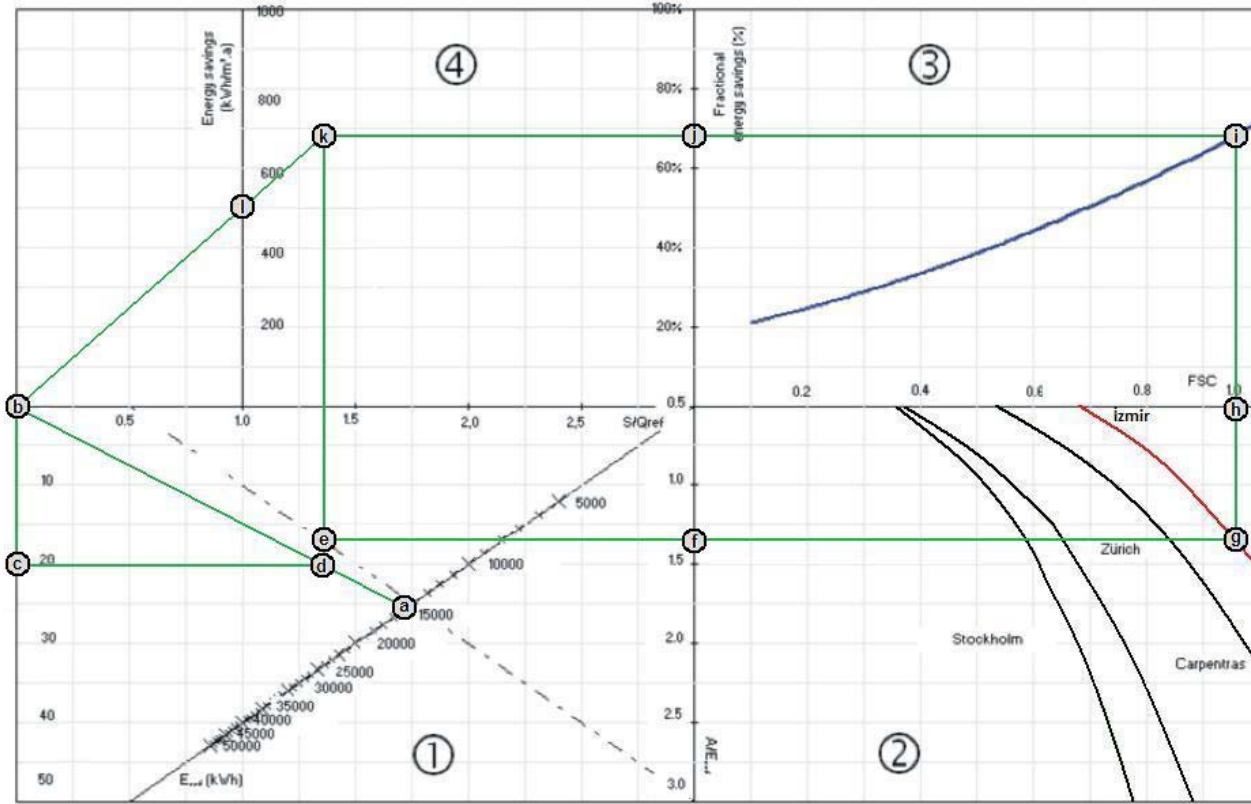
Gerçekleştirilen Nomogram analizinde, seçilen referans binanın talep ettiği ısıtma ve sıcak su temini için gerekli enerjinin karşılanması konusunda, 10, 15 ve 20 m²'lik toplayıcı alanları kullanılarak elde edilen sonuçlar incelendiği zaman en etkin yaklaşımı 15 m² toplayıcı alanına sahip sistem vermektedir.

Bunun nedeni olarak, güneş enerjili kombi sistemi bir bütün olarak el alan bu yöntemde, sistemin performansını etkileyen faktörlerin başında, iklim, sistemin kendisi ve sistemin işletme koşullarında ihtiyaç duyduğu enerji miktarını söylemek mümkündür. Özellikle toplayıcı alanındaki artış, işletme açısından toplamda tüketilen enerjiyi ekponansiyel olarak artırmaktadır.



Şekil 4.5 Referans binanın 10m² toplayıcı alanına göre nomogram çözümü.





Şekil 4.7 Referans binanın 20m² toplayıcı alanına göre nomogram çözümü.

Çizelge 4.6 10m² toplayıcı alanına göre güneş enerjili kombi sistemin performansı.

Aylar	Güneş ışınımı	Yararlı güneş enerjisi miktarı	Güneşle alan ısıtma	Yardımcı enerji	Sıcak su ısıtma karşılama oranı	Alan ısıtma karşılama oranı	Sistem verimliliği
	H _T (kWh)	H _{USE} (kWh)	Q _{SH} (kWh)	Q _{AUX} (kWh)	FSC _{DHW} (%)	FSC _{SH} (%)	h (%)
Ocak	763	452	303	173	46	31	59
Şubat	1163	724	502	80	74	60	62
Mart	1331	819	558	62	81	80	62
Nisan	1489	651	354	24	93	100	44
Mayıs	1633	339	0	0	100	0	21
Haziran	1641	328	0	0	100	0	20
Temmuz	1724	339	0	0	100	0	20
Ağustos	1774	339	0	0	100	0	19
Eylül	1589	328	0	0	100	0	21
Ekim	1523	334	0	0	99	0	22
Kasım	1077	681	441	72	77	86	63
Aralık	736	450	298	159	49	38	61
Toplam	16442	5785	2456	569	85	61	35

Çizelge 4.7 15m² toplayıcı alanına göre güneş enerjili kombi sistemin performansı.

Aylar	Güneş ışınımı	Yararlı güneş enerjisi miktarı	Güneşle alan ısıtma	Yardımcı enerji	Sıcak su ısıtma karşılama oranı	Alan ısıtma karşılama oranı	Sistem verimliliği
	H _T (kWh)	H _{USE} (kWh)	Q _{SH} (kWh)	Q _{AUX} (kWh)	FSC _{DHW} (%)	FSC _{SH} (%)	h (%)
Ocak	1144	662	466	126	61	48	58
Şubat	1745	1071	821	52	83	97	61
Mart	1996	1190	899	33	90	100	60
Nisan	2233	828	517	11	97	100	37
Mayıs	2449	339	0	0	100	0	14
Haziran	2461	328	0	0	100	0	13
Temmuz	2586	339	0	0	100	0	13
Ağustos	2660	339	0	0	100	0	13
Eylül	2384	328	0	0	100	0	14
Ekim	2285	335	0	0	99	0	15
Kasım	1616	987	719	46	85	100	61
Aralık	1104	660	468	119	62	60	60
Toplam	24664	7409	3890	387	90	97	30

Çizelge 4.8 20m² toplayıcı alanına göre güneş enerjili kombi sistemin performansı.

Aylar	Güneş ışınımı	Yararlı güneş enerjisi miktarı	Güneşle alan ısıtma	Yardımcı enerji	Sıcak su ısıtma karşılama oranı	Alan ısıtma karşılama oranı	Sistem verimliliği
	H _T (kWh)	H _{USE} (kWh)	Q _{SH} (kWh)	Q _{AUX} (kWh)	FSC _{DHW} (%)	FSC _{SH} (%)	h (%)
Ocak	1525	868	648	103	68	67	57
Şubat	2326	1379	1118	42	86	100	59
Mart	2662	1482	1176	20	94	100	56
Nisan	2978	897	580	6	98	100	30
Mayıs	3265	339	0	0	100	0	10
Haziran	3281	328	0	0	100	0	10
Temmuz	3448	339	0	0	100	0	10
Ağustos	3547	339	0	0	100	0	10
Eylül	3179	328	0	0	100	0	10
Ekim	3047	336	0	0	99	0	11
Kasım	2154	1257	973	31	90	100	58
Aralık	1472	858	638	92	70	82	58
Toplam	32885	8752	5134	294	92	100	27

Çizelge 4.9 Referans binanın farklı toplayıcı alanlarına göre yıllık enerji tasarruf karşılama oranları.

Aylar	Bina ısı yükü, Q_{total} (kWh)	Enerji Tasarrufu, Q_{sav} (kWh)			CO ₂ tasarrufu, (kg)		
		10m ²	15m ²	20m ²	10m ²	15m ²	20m ²
Ocak	2303	714	1382	1566	157	301	230
Şubat	2023	1214	1963	1740	251	478	371
Mart	1664	1332	1664	1565	284	514	413
Nisan	1024	1024	1024	1003	262	357	330
Mayıs	922	0	0	0	147	147	147
Haziran	750	0	0	0	142	142	142
Temmuz	669	0	0	0	147	147	147
Ağustos	634	0	0	0	147	147	147
Eylül	670	0	0	0	142	142	142
Ekim	813	0	0	0	145	146	145
Kasım	1372	1180	1372	1235	248	457	359
Aralık	2119	805	1653	1483	156	297	229
Yıllık enerji tasarruf oranı, f_{sav}		0.42	0.62	0.52			

Bu durum bize uygun toplayıcı alanın tespitinde referans teşkil etmektedir. Yapılan Nomogram analizinde de bu durumu gözlemlemek mümkündür. Üç farklı alana göre gerçekleştirilen analiz sonucu göstermiştir ki, en iyi sonucu 15m²'lik alan sahip sistem vermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Güneş enerjili potansiyeli açısından Avrupa ortalamasının iki katı olan ülkemiz, güneş enerjisi toplayıcıları üretiminde ve kullanımında dünyada ilk üçe girmesine rağmen, bina ısıtmasında güneş enerjili sistemlerin kullanılmaması oldukça düşündürücü bir durumdur.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler sonucu göstermiştir ki, binaların ısı ihtiyacını karşılama konusunda güneş enerjisi ciddi avantajlar sağlamaktadır. Özellikle, iyi yalıtılmış binaların düşük enerjili sistemlere şartlandırılması etkin ve ekonomik çözümler oluşturmaktadır. Ana enerji kaynağı olarak güneşi kullanan sistemler, düşük enerjili ısıtma açısından ideal çözümler oluşturabilir.

Bu çalışma göstermiştir ki, yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip ülkemizde bunun yapılabilirliği ve ekonomikliği yüksektir. Ancak şunu unutmamak gerekir, ihtiyaç duyulan enerjinin bu tür temiz enerjiden karşılanma şansı, ihtiyacın olabildiğince aşağı çekilmesinden geçmektedir. Yani öncelikle tasarımlarımızda ve revizyonlarımızda ihtiyacımızı aşağıya indirecek pasif önlemlerin alınması, temiz enerjinin ekonomik boyutta kullanılma şansını artırmaktadır.

Task 26 Kapsamında 30,60 ve 100 kWh/m²yıl olmak üç farklı ısı yükünde bina irdelenmiştir. Ülkemizde durum aslında bu kadar iç açıcı değildir. Ülkemizdeki binaların ortalama ısı yükleri 300 kWh/m²yıl bulmaktadır. Bu durum, binalarımızın ne kadar ısııl açıdan hasta olduğunu göstermektedir. Ayrıca böyle bir yükün güneş enerjili sistemlerle karşılanma şansı hemen hemen hiç yoktur. Bu şansı yaratmak için binalarımızı enerji açısından etkin hale getirmek, ulusal menfaatler açısından önemli bir adım olacaktır.

Tez çalışmasında seçilen referans bina tipi ve özellikleri, TASK 26 kapsamında dikkate alınan referans binayla aynıdır. Yani 70m² taban alanına oturan iki katlı bir binadır. Binanın özgül ısı yükünün ve yıllık ısıtma ihtiyacının belirlenmesinde TS825 kuralları ve yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre gerçekleştirilen hesaplama sonucunda seçilen referans bina 57.5 kWh/m²yıl'lık bir ısı yükü oluşturmuştur. Bu Türkiye ortalamasının çok çok altındadır. Yaklaşık 5 katı daha azdır. Bunu sağlamanın yolu, binanın ısııl açıdan direncini artırmaktan geçmektedir. Çalışmada dikkate alınan referans binanın duvarlarında 6 cm XPS var olduğu, camlarının çift cam ve plastik doğrama olduğu, çatısının ve tabanının iyi derecede yalıtılmış olduğu kabul edilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bina ısı yükünün olabildiğince aşağıya çekilmesi, güneş enerjili sistemlerin kullanılabilirliğini ve ekonomikliğini ciddi derecede etkilemektedir.

Avrupa'daki çalışmaya göre ortalama ısı yüküne sahip olan binamızın, 4 kişi tarafından kullanıldığı ve kişi başı 50 lt sıcak su talebinde olduğu varsayılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca referans binanın toplam ısıtma talebini karşılayacak sistem olarak, TASK 26 kapsamında yapılan analizler sonucunda belirlene en iyi sistem seçilmiştir. Bu sistemin en önemli bileşeni olan kombi boyler, tank içinde tank olarak dikkate alınmıştır. Seçilen boylerin depolama hacmi 1000 lt olarak hesaplamalarda dikkate alınmıştır.

Tüm bu kabullerin ışığı altında, TASK 26 kapsamında oluşturulan Nomogram yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda, toplam ısıtma yükü 15000 kWh olan referans binanın 15 m² toplayıcı alanına sahip bir sistemle yıllık enerji gereksiniminin yaklaşık %90'nı gibi büyük bir kısmını sağlamanın mümkün olabileceği gözlemlenmiştir.

Referans binanın yıllık ısı yükünün sağlanmasında ise, yardımcı enerji kaynağı olarak sıvı yakıtlı bir sistem desteğiyle toplayıcı alanına düşen güneş enerjisi miktarına göre yaklaşık %62'lik bir enerji tasarrufunun yapılabileceği hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması kapsamında ülkemizdeki binaların enerji gereksinimlerinin aşağıya çekilerek tez

kapsamında üzerinde durulan güneş enerjili kombi sistemler yardımıyla ısıtılmasının mümkün olabileceği gösterilmeye çalışmıştır. Elde edilen bulgular, ilk yatırım maliyetlerinin biraz yüksek olmasına rağmen işletme koşulları açısından oldukça etkin sonuçlar vermektedir. Bu çalışmanın geliştirilmesi için, gerçekçi bir ekonomik analiz yapılarak seçilen sistemlerin ne kadar sürede kendini geri ödeyeceği belirlenmelidir. Ayrıca farklı kombi sistemler dikkate alınarak sistem optimizasyonu yapmakta da fayda vardır.

KAYNAKLAR

- Andersen E, Shah LJ and Furbo S, 2004, Thermal performance of Danish solar combisystems in practice and in theory, *Journal of Solar Energy Engineering* (744- 749), USA
- Andersen, E. and Furbo, S., 2005, Investigations of solar combi systems, ISES 2005 Solar world congress, Florida.
- Andersen, E. and Furbo, S., 2006, Investigations of medium sized solar combi systems, Eurosun 2006, Scotland.
- Andersen, E., 2007, Theoretical comparison of solar water/space-heating combi systems and stratification design options, *Journal of Solar Energy Engineering*, (438- 448), USA
- Andersen, E., Shah, L.J. and Furbo, S., 2001, Design of combisystems, International solar energy society 2001 solar world congress, (659-668), Australia.
- Bales, C., 2000, Evaluation of the Performance of Solar Combistores - Comparison of Three Test Methods, Eurosun 2000, Copenhagen.
- Bales, C., 2002, Thermal Store Testing Evaluation of Test Methods, Licentiate Thesis, Chalmers University of Technology, 142p.
- Dahm, J., Bales, C., Lorenz, K. and Dalenback, JO., 1998, Evaluation of storage configurations with internal heat exchangers, *Solar Energy*, (407- 417), Sweden.

- Drück, H. and Hahne, E., 1996, Thermal Testing of Stores for Solar Domestic Hot Water Systems, Eurosun '96, (136- 141), Germany.
- Drück, H. and Hahne, E., 1998, Test and Comparison of Hot Water Stores for Solar Combisystems, Eurosun '98, (1- 7), Slovenia.
- Drück, H. and Bachmann, S., 2003, Hot Water Performance of Solar Combistores, IEA-SHC Task 26 Solar Combisystems, Paris.
- Ellehauge, K. and Shah, L.J., 2000, Combisystems in Denmark - The Most Common System Designs, Eurosun Conference 2000 (DK), Denmark.
- Ellehauge, K., 1992, Combined Solar Heating Systems for Domestic Hot Water and Space Heating, Northsun 92, Norway
- Fiedler, F., Bales, C. and Perssons, T., 2007, Optimisation method for solar heating systems in combination with pellet boilers/stoves, *International Journal of Green Energy*, (325-337), USA.
- Furbo, S. and Andersen, E., 1999, Development of a smart solar tank, ISES Solar World Congress 1999, Israel.
- Furbo, S. and Shah, L.J., 1996, Optimum solar collector fluid flow rates, EuroSun96, (186- 193), Freiburg.

- Gopinathan, KK., 1988, A general formula for computing the coefficients of the correction connecting global solar-radiation to sunshine duration, *Solar Energy*, 41(6): 499-502.
- Gueymard, C., (1993), Critical analysis and performance assessment of clear-sky solar-irradiance models using theoretical and measured data, *Solar Energy* 51(2): 121-38.
- Gueymard, C., (1993), Mathematically integrable parametrization of clear-sky beam and global irradiance and its use in daily irradiation applications, *Solar Energy* 50(5): 385-97.
- Hausner, R. and Fink, C., 2000, Stagnation behaviour of thermal solar systems, Eurosun Conference 2000 (DK), Denmark.
- Hay, J.E., 1979, Calculation of monthly mean solar-radiation for horizontal and inclined surfaces, *Solar Energy*, 23(4): 301-7.
- Henden, L., Rekstad, J. and Meir, M., 2002, Thermal performance of combined solar systems with different collector efficiencies, *Solar Energy*, (299- 305).
- Iqbal, M., 1983, An Introduction to Solar Radiation, Academic Press, Toronto.
- Kaplanis, S.H., 2006, New Methodologies to Estimate the Hourly global Solar Radiation; Comparisons With Existing Models, *Renewable Energy*, 31: 781-790.
- Kimball, H.H., 1919, Variations in the total and luminous solar radiation with geographical position in the United States. *Mon. Weather Rev.* 47, p. 769.

- Kovacs, P. and Sandberg, M., 1998, Results from Testing of Small Heat Stores for Domestic Hot Water and Space Heating, EuroSun '98, Slovenia.
- Lorenz, K., Bales, C. and Persson, T., 2000, Evaluation of Solar Thermal Combisystems for the Swedish Climate, Eurosun 2000, Denmark.
- Lorenz, K., Bales, C. and Broman, L., 1997, Performance Comparison of Combitalanks using a six-day-test, North Sun '97, (119- 128), Finland.
- Lorenz, K., Persson, T., Tepe, R. and Bales, C., 1998, Variation of System Performance with Design and Climate for Combisystems in Sweden, Eurosun '98, Slovenia
- Mahler, B., Fisch, M.N. and Weiss, W., 2000, Large Scale Solar Heating Systems For Housing Developments, Eurosun Conference 2000 (DK), Denmark.
- Meir, M., Rekstad, J. and Sandnes, B., 2000, Solar Combisystems for a multi-apartment building - The Klosterenga residence in Oslo, Industry Workshop at the Experts meeting of the IEA-SHC task 26-Solar Combisystems, October 9, 2000, Helsinki.
- Meir, M., Rekstad, J., Peter, M., Henden, L. and Sandnes, B., 2002, Determination of the performance of solar systems with the calorimetric method, Solar Energy, (195- 207).
- Meir, M., Sandnes, J. and Rekstad, B., 2001, Roof Integration of Large Collector Areas - Experiences from Norway, Industry

Workshop at the Experts meeting of the SHC IEA-Task 26 - Solar Combisystems, Netherlands.

Muneer, T., Younes, S. and Munawwar, S., 2005, Discourses on Solar Radiation Modeling, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 1-55.

Neumann, C., 1996, Small combined solar systems. Influence of different heating systems and building types on the thermal performance, Chalmers university of technology, dep. of building services engineering, 87p., Sweden.

Obendorfer, G., Beckman, W. and Klein, S., 1999, Sensitivity of Annual Solar Fraction of Solar Space Heating and Water Heating Systems to Tank and Collector Heat Exchanger Model Parameters, ASES Annual Conference 1999, (153-159), USA.

Overgaard, L.L. and Ellehauge, K., 2000, Solar Combisystems in Denmark - Solar & Biomass systems, Eurosun Conference 2000 (DK), Denmark.

Persons, RA., 1999, 1999 ASHRAE HVAC Applications Handbook, ASHRAE, Atlanta, 1883413710.

Pittet, T., Bony, J., Renoult, O. and Dind, Ph., 2002, Measurements of a Solar Combisystem in Situ, Eurosun 2002, Italy.

Prescott, JA, 1940, Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Trans. R. Soc. Sci. Aust. 64, p. 114.

- Qin, L. and Furbo, S., 1998, Solar Heating Systems with Evacuated Tubular Solar Collector, Eurosun 98, Ljubljana.
- Rekstad, J., Henden, L., Imenes, AG., Ingebretsen, F., Meir, M. Bjerke, B. and Peter, M., 1999, Effective solar energy utilisation - more dependent on system design than on solar collector efficiency, ISES Solar World Congress, Israel.
- Rietveld, MR., (1978), A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine, *Agricultural Meteorology*, 19: 243-352.
- Sandnes, B., Mullane, R., Meir, JB. Rekstad and M.G., 2000, A solar energy storage with an integrated latent heat storage system, The 3rd ISES-Europe Solar Congress, Denmark.
- Streicher, W, 2002, Solar Combisystems The Work of Task 26 of the Implementing Agreement on Solar Heating and Cooling of the International Energy Agency (IEA), World Renewable Energy Congress VII, 341p., Germany.
- Streicher, W., 2000, Minimizing the Risk of Water Hammer and Other Problems at the Beginning of Stagnation of Solar Thermal Plants a Theoretical Approach, Eurosun2000, Denmark.
- Streicher, W., 2000, Solar Combisystems From Small Niche Market to Standardized Application, Eurosun 2000, Denmark.

- Suehrcke, H., 1999, On the Relationship Between Duration of Sunshine and Solar Radiation on the Earth's Surface: Ångström's Equation Revisited, *Solar Energy*, 68: 417-425.
- Suter, JM., Letz, T. and Weiss, W., 2000, Solar Combisystems - Overview 2000, Büro +1, Switzerland.
- Ulgen, K., 2006, Optimum tilt angle for solar collectors, *Energy Sources*, 28(13): 1171-1180.
- Weiss, W., 2000, Solar Space Heating Under Central European Conditions, Eurosun Conference 2000 (DK), Denmark.
- Weiss, W., Fink, C. and Thür, A., 2000, Low-Energy Housing Estate "Sundays", Eurosun Conference 2000 (DK), Denmark.
- Wong, LT. and Chow, WK., 2001, Solar Radiation Model, *Applied Energy*, 69: 191-224.

ÖZGEÇMİŞ

TC Kimlik No: 16964358552

Doğum tarihi/Yeri: 24 10 1979/ Antalya

EĞİTİM:

2006 - Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi
ABD (Yüksek Lisans) (Konu: Güneş Enerjili Kombi Sistemler)

1998 – 2004 Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat
Mühendisliği Bölümü (Lisans) (Konu: Malzeme-Çelik yapılar,
ikiz kulelerin yıkılma sebepleri)

1995 – 1998 Karşıyaka Lisesi, İZMİR

1991 – 1995 Çamlaraltı Koleji, İZMİR(1 yıl İngilizce hazırlık)

YABANCI DİL BİLGİSİ:

İngilizce (Okuma, yazma, anlama, konuşma: iyi)

KATILDIĞI KURSLAR:

İzmir - Türk Amerikan Derneği, İngilizce Dil Kursu (1 yıl)

İMO İzmir.-autocad, sap2000, ideststatik programları kursu

Mesleki amaçlı çeşitli seminer ve konferanslar

KULLANILAN OFİS ARAÇLARI:

Bilgisayar, fax, fotokopi, printer, scanner

İŞ DENEYİMİ-STAJ:

Ejder-Netaş İnşaat (ss 2 çığlı koop. Evka5 ve güzeltepe konutları inşaatı) şantiye stajı 2000 yılı (3ay)

Elit mühendislik-mütahitlik, büro stajı (2ay)