

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MÜSTAKİL BİR KONUTUN GÜNEŞLİ ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMİNİN
TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Safa ORAKÇI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MÜSTAKİL BİR KONUTUN GÜNEŞLİ ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMİNİN
TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa Safa ORAKÇI
(152080101)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yusuf Ali KARA

TEMMUZ 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 152080101 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa Safa ORAKÇI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "MÜSTAKİL BİR KONUTUN GÜNEŞLİ ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Yusuf Ali KARA**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mehmet Ziya SÖĞÜT**
Piri Reis Üniversitesi

Dr. Öğr. Üy. Tayfun TANBAY
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : Temmuz 2019

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Mustafa Safa ORAKÇI

İmzası :

X X X X



Eşime ve çocuğuma,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarında verdikleri desteklerinden dolayı Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Yusuf Ali Kara'ya, Arş. Gör. Abdullah Düzcan'a, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. İbrahim Diler'e, sevgili eşim Büşra Orakçı'ya ve değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2019

Mustafa Safa ORAKÇI



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ixi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.1.1 Güneş enerjisi potansiyeli	3
1.1.2 Güneş enerjisi teknolojileri	4
1.1.3 Çevre sıcaklığının incelenmesi	4
1.2 Projede Kullanılan Sistemler.....	4
1.2.1 Yerden ısıtma tesisatı	4
1.2.2 Absorbsiyonlu soğutma sistemi	5
1.2.3 Fan coil sistemi.....	7
1.2.4 Güneş Kolektörleri	8
1.2.4.1 Vakum tüplü güneş kolektörleri	9
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
2.1 Binaya Ait Mimari Özellikler	12
2.2 Isı Yalıtım Hesapları	12
2.3 Isı Kaybı ve Isıtma Enerji İhtiyacı Hesabı	14
2.4 Kullanım Sıcak Suyu Hesabı.....	17
2.5 Isı Kazancı ve Soğutma Enerjisi Hesabı	19
2.6 Işınım Hesapları	21
2.6.1 Atmosfer öncesi yatay düzleme gelen aylık ortalama ışınım hesabı.....	22
2.6.2 Kolektör birim yüzeyine gelen aylık ortalama günlük ışınım hesabı.....	23
2.6.3 Aylık ortalama yutma-geçirme çarpımı hesabı.....	24
2.6.4 Ø-f chart hesapları.....	28
2.7 Amortisman Hesabı	34
2.7.1 Doğalgaz işletim maliyeti	35
2.7.2 Elektrik işletim maliyeti	36
2.7.3 Yatırım geri dönüş hesabı	37
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	41
3.1 Isıtma ve Soğutma Yüklerine Ait Bulgular	41
3.2 Güneş Hesaplarına Ait Bulgular	41
3.3 Amortisman Hesaplarına Ait Bulgular	42
4.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKLAR	45

EKLER	47
ÖZGEÇMİŞ	62



KISALTMALAR

ASHRAE	: American Society Of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CDD	: Cooling Degree Day (Soğutma Derece Gün)
CLTD	: Cooling Load Temperature Difference
EN12831	: Heat Load Calculation Method
HDD	: Heating Degree Day (Isıtma Derece Gün)
HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning
kWh	: Kilowatt saat
Li-Br	: Lityum Bromür
TS-825	: Türk Standardı Binalarda Isı Yalıtım Kuralları

SEMBOLLER

A_b	: Batı Pencere Alanı	[m ²]
A_c	: Kolektör Alanı	[m ²]
A_d	: Doğu Pencere Alanı	[m ²]
A_D	: Dış Duvar Alanı	[m ²]
A_g	: Güney Pencere Alanı	[m ²]
A_k	: Kuzey Pencere Alanı	[m ²]
A_P	: Pencere Alanı	[m ²]
A_T	: Tavan Alanı	[m ²]
A_t	: Toprak Temaslı Taban Alanı	[m ²]
A_{top}	: Toplam Alan	[m ²]
c_p	: Suyun Özgül Isısı	[kJ/kgK]
COP_{ss}	: Absorbsiyonlu Soğutma Grubu Ortalama Verim Değeri	[0,7]
d_m	: Yıllık Reeskont Faiz Oranı	[%]
F	: Toplam Karşılama Oranı	
f	: Güneş Faydalanma Oranı	
F_k	: Kış Ayları Karşılama Oranı	
F_R	: Kolektör Isı Kazanç Faktörü	
F_y	: Yaz Ayları Karşılama Oranı	
G_{sc}	: Güneş Sabiti	[W/m ²]
H	: Yatay Yüzeğe Düşen Toplam Günlük Işınım	[MJ/m ²]
\bar{H}	: Yatay Yüzeğe Düşen Aylık Ortalama Toplam Işınım	[MJ/m ²]
h	: Her Saatin Orta Noktasında Derece Cinsinden Saat Açısı	[°]
h_{ss}	: Günbatımı Saati Açısı	[°]
h'_{ss}	: Eğik Yüzeyde Gün Batımı Saati Açısı	[°]
\bar{H}_B	: Yatay Yüzeğe Düşen Aylık Ortalama Direkt Işınım	[MJ/m ²]
H_D	: Yatay Yüzeğe Düşen Günlük Difüz Işınımı	[MJ/m ²]
\bar{H}_D	: Yatay Yüzeğe Düşen Aylık Ortalama Difüz Işınımı	[MJ/m ²]
H_t	: Kolektör Yüzeyine Düşen Günlük Toplam Işınım	[MJ/m ²]
\bar{H}_0	: Aylık Ortalama Atmosfer Öncesi Toplam Işınım	[MJ/m ²]
\bar{H}_t	: Kolektör Yüzeyine Düşen Aylık Ortalama Toplam Işınım	[MJ/m ²]
i	: Yıllık Enflasyon Oranı	[%]
K_T	: Saydamlık İndeksi	
$L_{c,b}$: Binanın Aylık Soğutma Enerjisi	[GJ]
L_c	: Kolektörün Abs. Soğutucuya Sağlaması Gereken Soğutma Enerjisi	[GJ/ay]
L_h	: Aylık Isıtma Enerjisi	[GJ]
L_{hw}	: Toplam Isıtma ve Sıcak Su Yüğü	[GJ]
L_w	: Aylık Kullanım Sıcak Suyu Enerjisi	[GJ]
L_t	: Aylık Toplam Enerji İhtiyacı	[GJ]
m_s	: Sıcak Su İhtiyacı	[lt/gün]
M	: Kolektör Deposu Su Kütlesi	[kg]

M	: Kullanılan Kredi Miktarı	
N	: Yıl Başından İtibaren Ayın Ortalama Günü	
NM	: Ayın Gün Sayısı	
n_L	: Kredi Yılı	
PWF	: Şimdiki Değer Faktörü (Present Worth Factor)	
\dot{Q}_G	: Generatöre Giren Isı	[kW/h]
\dot{Q}_E	: Evaporatöre Giren Isı	[kW/h]
\dot{Q}_A	: Absorberden Çıkan Isı	[kW/h]
\dot{Q}_K	: Kondenserden Çıkan Isı	[kW/h]
\dot{Q}_c	: Isı kazancı	[Kcal/h]
\dot{Q}_h	: Isı Kaybı	[Kcal/h]
Q_g	: Tüketilen Toplam Gaz Miktarı	[m ³]
Q_d	: Doğalgaz Fiili Üst Isıl Değer	[Kcal/Nm ³]
R	: Anlık Toplam Radyasyon Eğim Faktörü	
R_B	: Anlık Ortalama Direkt Işınım Eğim Faktörü	
\bar{R}	: Aylık Ortalama Toplam Radyasyon Eğim Faktörü	
\bar{R}_B	: Aylık Ortalama Direkt Işınımı Eğim Faktörü	
r_d	: Anlık Dağınık Işınımın Günlük Difüz Işınımına Oranı	
r_n	: Anlık Toplam Işınımın Günlük Toplam Işınımına Oranı	
R_n	: Kolektör Yüzeyine Gelen Aylık Ortalama Direkt Işınımı Eğim Faktörü	
R_s	: 350 kJ/m ² °C'lik Toplayıcı Alan Birim Başına Standart Isı Depolama Kapasitesi	
Ssdg	: Sıcak Su Derece Gün Sayısı	[°Cgün/ay]
T_a	: Aylık Ortalama Dış Sıcaklık	[°C]
T_y	: Kullanım Suyu Sıcaklığı	[°C]
\bar{T}_\varnothing	: Aylık Ortalama Şebeke Suyu Sıcaklığı	[°C]
$T_{d,a}$: Alternatif Sistem Toplam Doğalgaz İşletim Maliyeti	[TL]
$T_{s,k}$: Klasik Sistem Toplam Soğutma Sistemi İşletim Maliyeti	[TL]
T_e	: Yıllık Toplam Enerji Tasarrufu Miktarı	[TL]
U	: Isı Geçiş Katsayısı	[W/m ² K]
U_L	: Kolektör ısı kaybı katsayısı	
$V_{brüt}$: Toplam Hacim	[m ²]
$X_{c,min}$: Minimum Aylık Ortalama Kritik Radyasyon Oranı	
$(\Delta T_d)_h$: İç Ortam Sıcaklığı ve Isıtma Tasarım Sıcaklığı Farkı	[°C]
$(\Delta T_d)_c$: İç Ortam Sıcaklığı ve Soğutma Tasarım Sıcaklığı Farkı	[°C]
ϕ	: Coğrafi Enlem	[°]
β	: Kolektör Açısı	[°]
δ	: Deklinasyon açısı	[°]
ρ_G	: Yeryüzü Aklık Derecesi	[0,2]
$\theta_{e,B}$: Aylık Ortalama Direkt Işınım Geliş Açısı	[°]
$\theta_{e,D}$: Efektif Difüz Açısı	[°]
$\theta_{e,G}$: Efektif Yansımaya Açısı	[°]
$\bar{\Phi}$: Günlük Kullanılabilirlik Katsayısı	
η_k	: Kombi Verimi	

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	: Vakum tüplü kolektörler ile düzlemsel kolektörler arasındaki farklar.....	10
Çizelge 2.1	: Binanın özgül ısı kaybı.....	13
Çizelge 2.2	: Binanın özgül ısı kaybı (özet).....	14
Çizelge 2.3	: Tavsiye edilen maksimum U değerleri.....	14
Çizelge 2.4	: Isı kaybı hesabı tasarım şartları.....	15
Çizelge 2.5	: Mahal ısı kayıpları.....	15
Çizelge 2.6	: Antalya ili ortalama ısıtma derece gün sayıları.....	16
Çizelge 2.7	: Aylara göre hesaplanan ısıtma enerjisi.....	16
Çizelge 2.8	: Konutlarda sıcak su tüketim miktarları.....	17
Çizelge 2.9	: Aylara göre hesaplanan sıcak su enerjisi.....	18
Çizelge 2.10	: Isı kazancı hesabı için tasarım kriterleri.....	19
Çizelge 2.11	: Mahallere göre ısı kazançları.....	19
Çizelge 2.12	: Isı kazançlarının dağılımı.....	19
Çizelge 2.13	: Antalya ili ortalama soğutma derece gün değerleri.....	20
Çizelge 2.14	: Aylara göre hesaplanan soğutma enerjisi.....	21
Çizelge 2.15	: Aylara göre hesaplanan ışıınım değerleri (1).....	22
Çizelge 2.16	: Aylara göre hesaplanan ışıınım değerleri (2).....	23
Çizelge 2.17	: Aylara göre hesaplanan ışıınım değerleri (3).....	24
Çizelge 2.18	: Aylara göre hesaplanan ışıınım değerleri (4).....	27
Çizelge 2.19	: Aylara göre hesaplanan ışıınım değerleri (5).....	28
Çizelge 2.20	: Aylara göre hesaplanan ışıınım değerleri (6).....	29
Çizelge 2.21	: Aylara göre hesaplanan ışıınım değerleri (7).....	30
Çizelge 2.22	: Aylara göre hesaplanan ışıınım değerleri (8).....	32
Çizelge 2.23	: Aylara göre hesaplanan faydalanma oranları.....	33
Çizelge 2.24	: Klasik sistem ve güneş absorpsiyonlu sistem yatırım maliyetleri.....	34
Çizelge 2.25	: Elektrik fiyat tarifesi.....	36
Çizelge 2.26	: Hesaplanan yatırım ve tasarruf miktarı sonuçları.....	37
Çizelge 2.27	: Amortisman hesabı özet sonuçları (1).....	39
Çizelge 2.28	: Amortisman hesabı özet sonuçları (2).....	40
Çizelge 2.29	: Genel sonuçlar özeti.....	42

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: Almanya Freiburg’da uygulanan güneş destekli absorpsiyonlu sistem.....	2
Şekil 1.2	: Absorpsiyonlu soğutma çevrimi bileşenleri.....	6
Şekil 1.3	: Döşeme tipi fan coil cihazı.....	8
Şekil 1.4	: Isı borulu vakum tüplü sistemin çalışma prensibi	9
Şekil 1.5	: Vakum tüplü doğal taşınımli güneş kolektörleri.....	10
Şekil 2.1	: Saatlere göre ısı kazançlarının dağılımı.....	20
Şekil 2.2	: $(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$ grafiği.....	25
Şekil 2.3	: Aylık ortalama direkt ışınım geliş açısı grafiği.....	26

MÜSTAKİL BİR KONUTUN GÜNEŞLİ ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİ

ÖZET

Mevcut tez çalışmasında Antalya bölgesinde bulunan bir villanın yıllık ısıtma ve soğutma yükleri, güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu sistemle karşılanarak uygulamanın ekonomik analizinin yapılması amaçlandı. Isıtma ve soğutma sistemleri tasarlanırken ilgili standartlara ve yönetmeliklere bağlı kalındı. Binanın yıllık ısı kaybı ve ısı kazançları belirlenerek cihaz seçimleri yapıldı. Kurulan sistemin geleneksel sistemlere göre yatırım maliyeti hesaplanarak düşük faizli kredilendirme sistemiyle yaşam döngüsü araştırıldı.

Binanın yalıtım hesapları, TS825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” Standardına uygun olarak yapıldı. Binanın ısı kaybı ve ısı kazançları FineHVAC programıyla hesaplandı. Isı kaybı hesabında Avrupa’da zorunlu hale gelen EN12831 hesap metodu, ısı kazancı hesabı içinse CLTD metodu kullanıldı. Güneş kolektör alan tayini ve güneş faydalanma oranı için Ø-f chart metodu uygulanırken, termoeekonomik analiz içinse P1,P2 metodu kullanıldı. Yatırım maliyeti hesaplarında ürün ve işçilik tedariki için detaylı pazar araştırması yapıldı. AutoCAD çizim programıyla mekanik sistemler projelendirilerek bulunan sonuçlar için özet tablolar hazırlandı.

Uygulanan metod hesaplamaları sonucunda binanın ısı kaybı 20,5 kW, ısı kazancı 40,3 kW olarak bulundu. Yapılan hesaplar 125 m² güneş kolektörü sistemine ilave 40 kW güneş destekli absorpsiyonlu soğutucu kullanılmasının toplam faydalanmada %36 oranının yakalandığını gösterdi. Yapılan ekonomik analiz hesapları sonucunda güneş absorpsiyonlu sistemin kurulumu için yaklaşık 394.000,00 TL değerindeki yatırım maliyetinin kredilendirme sistemiyle 16. yılda pozitifte geçtiği görüldü.

Anahtar kelimeler: Absorpsiyon, güneş, ısıtma, soğutma, Ø-f chart.

TERMONECONOMICAL ANALYSES OF SOLAR HEATING AND COOLING SYSTEMS IN A DETACHED HOUSE

SUMMARY

In this thesis, the annual heating and cooling loads of a building located in Antalya region were met with solar assisted absorption chiller system and the economic analysis of the application was investigated. During the study, design of heating and cooling systems adhered to related standards and regulations. Heating and cooling loads were all calculated and the necessary equipment were selected. The investment cost of the installed system was calculated in comparison to the conventional systems and the life cycle save analysis of the system was investigated with a low-interest credit system.

The insulation requirements of the building was done according to TS standards called Heat Insulation Rules in Buildings. The heat loss and gains of the building were calculated using the FineHVAC Program. In the study, EN12831 method, compulsory in Europe, for the calculation of heat loss and CLTD method for the calculation of heat gain have been utilized. Moreover, the ϕ - f chart" method and P1,P2 method were used for collector area-solar fraction calculations and thermoeconomic analysis, respectively. Detailed market research was conducted for the supply of products and labor in the investment cost accounts. Mechanical systems are designed with AutoCAD drawing program and summary tables were prepared according to findings.

In the light of materials and methods, the heating load of the building was calculated as 20.5 kW and the cooling load was calculated as 40.3 kW. The calculations showed that 36% of the total utilization was achieved by using a 40 kW solar absorption chiller assisted with 125 m² solar collectors. As a result of the economic analysis, it was seen that the investment cost amounting to 394.000,00 TL has been positive for the 16th year through the credit system.

Keywords: Absorbtion, solar, heating, cooling, ϕ , f - chart.

1. GİRİŞ

Güneş enerjisinden ısı enerji olarak faydalanmanın birçok yöntemi vardır. Bunlar; sıcak su üretimi, buhar üretimi, sera ısıtması, kapalı hacimlerin ısıtılması, kapalı hacimlerin soğutulması, havuz ısıtması gibi işlemlerdir (Altuntop ve Erdemir, 2013). Güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisinin kapalı hacimlerin ısıtılmasında ve soğutulmasında kullanılması uygulanmakta olan bir yöntem olmakla birlikte henüz istenilen düzeyde yaygınlığa kavuşmamıştır.

Meskenlerdeki enerji tüketiminin %60-%70'i ısıtma/soğutma sistemlerinden kaynaklanmaktadır (Krawczyk, 2015). Enerjinin pahalı ve eldesinin zor olduğu göz önüne alınırsa bu oranların düşürülmesi kaçınılmaz olmaktadır. Türkiye enerji tüketiminin %75'ini ithal etmektedir (Uysal ve diğ, 2015). Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve enerji üretiminde yenilenebilir kaynaklara yönelmek zaruridir. Isıl enerjiyi en kolay elde etme yöntemlerinden biri olan güneş enerjisinin ülkemizde potansiyeli oldukça yüksektir. Öyle ki; Türkiye coğrafi konumu nedeniyle güneş kuşağı olarak tanımlanan 45° kuzey ve güney enlemleri arasında bulunduğundan güneş enerjisi açısından zengin ülkelerdendir (Özsoy, 2015).

Kullanım sıcak suyunu güneş enerjisinden karşılama konusunda ülkemiz dünyada 3. sırada yer almaktadır (Altuntop ve Erdemir, 2013). Güneşin mahal ısıtması ve soğutması için kullanımında bu durum geçerli olmamakla birlikte yaygınlaşması yönünde bazı yatırımlar mevcuttur. Konut tipi kombilerin güneş enerjisine entegre edilmesi konusunda bazı üretici firmaların Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. Otomasyon sistemlerinde yaşanan gelişmeler, alternatif depolama sistemlerinin bulunması, güneş kolektörlerindeki verim artışı gibi gelişmeler de mahal ısıtmasında güneş enerjisinden gelecekte daha etkin bir şekilde yararlanılabileceğini göstermektedir.

Mahal ısıtması ve soğutması için güneş enerjisi uygulamaları ülkemizde ve dünyada yapılmaktadır. Örneğin, Almanya Freiburg'da 2001 yılında yapılan uygulamayla 60 kW soğutma kapasitesine sahip ofislerin güneş destekli absorpsiyonlu sistemle ısıtılıp

soğutulması sağlanmıştır (Onan ve Özkan, 2009). Uygulamaya ait görsel Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Almanya Freiburg'da uygulanan güneş destekli absorpsiyonlu sistem.

Bir başka örnekte Van ilinde konut olarak kullanılan bir mahalde kullanım suyu ve ısıtma sistemi güneş enerjisiyle çalıştırılmış, elde edilen sonuçlarda yatırımın 9 yılda kendisini amorti ettiği görülmüştür (Işık, 2007).

Farklı bir uygulama olarak Bursa'da 29 konutun bulunduğu bir apartmanda 54 adet güneş kolektörü kış şartlarına göre (55°) bina çatısına yerleştirilmiş, binaların kullanım suyu ihtiyacının tamamı ve ısıtma ihtiyacının yıllık ortalamada %25'i güneşten karşılanmıştır.

Gerçekleştirilen teorik bir çalışmada ise İzmir'de bulunan yaklaşık 825 m^2 'lik bir otelin ısıtma ve soğutma sisteminin güneş destekli absorpsiyonlu sistemle karşılanması amaçlanmıştır. Düz güneş kolektörleri kullanılan çalışmada 92 m^2 'lik kolektör alanıyla yıllık %30 faydalanma elde edilmiştir. 2009 yılı maliyet verilerine göre sistemin yatırım maliyeti yaklaşık 116.000,00 TL hesaplanmış ve geri ödeme süresi yaklaşık 7 yıl olarak bulunmuştur (Kent ve Kaptan, 2009).

Bu çalışmada 200 m^2 taban oturumlu dört katlı bir binanın sıcak bir iklime sahip olan Antalya şartlarında analizine karar verilmiştir. Isı kaybı ve ısı kazancı hesaplamasında yazılım olarak FineHVAC programı kullanılmıştır.

Çalışmanın amacı, Antalya şehrinde bulunan bir villanın ısıtma ve soğutmasının güneş enerjisiyle karşılanmasıdır. Bu kapsamda, TS825 Standartları kullanılarak binanın yalıtım hesabının yapılması, ısı kaybı ve ısı kazancının FineHVAC programıyla hesaplanması ve güneş destekli absorpsiyonlu sistem tasarlanarak bu yüklerin büyük ölçüde karşılanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle AutoCAD programıyla binanın mimarisi çizilmiştir. AutoCAD programında çizilen mimari

kullanılarak binanın bulunduğu iklim şartları seçilmiş ve FineHVAC programına binanın yapı bileşenleri tanımlanmıştır. FineHVAC programıyla ısı kaybı ve ısı kazancı elde edilmiştir. Güneş enerjisi sisteminin kapasite ve ışınım hesapları yapılarak Ø-f chart metoduyla faydalanma oranları elde edilmiştir. P1, P2 metoduyla ekonomik analiz yapılarak sistemin geri dönüş hesabı yapılmıştır. Çalışma tasarlanırken dikkat edilmesi gereken hususlar; bina yapı elemanlarının yalıtımı için tavsiye edilen standartların sağlanması ve enerji ihtiyacının doğru bir şekilde hesaplanmasıdır. Bina için tasarlanan mekanik tesisatın ve seçilen güneş destekli absorpsiyonlu sistemin maliyet açısından makul düzeylerde kalması amaçlanmıştır.

1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Güneş enerjisi potansiyeli

Atmosferin dışında normal doğrultudaki güneş ışınımının şiddeti, yaklaşık olarak sabit ve 1367 W/m^2 değerindedir. Bu değer güneş sabiti olarak kabul edilir. Güneş sabiti, atmosfer öncesindeki ışınım doğrultusuna dik bir yüzeyin birim alanından alınan birim zamandaki güneş enerjisidir (Duffie ve Beckman, 2013). Ancak yeryüzüne ulaştığında bu enerji $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Öyle ki; ışınlar yeryüzüne ulaştığında atmosfer bu enerjinin %6'sını yansıtır, %16'sını da soğurur ve böylece deniz seviyesine ulaşılabilen en yüksek ışınım şiddeti 1020 W/m^2 olur. Bulutlar gelen ışımayı, yansıtma suretiyle yaklaşık %20, soğurma suretiyle de yaklaşık %16 azaltırlar. Örneğin Kuzey Amerika'ya ulaşan Güneş enerjisi 125 ile 375 W/m^2 arasında değişirken, günlük elde edilebilen enerji miktarı, 3 ila 9 kWh/m^2 arasında değişmektedir.

Güneş temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki uygulamalar 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik açıdan gelişme göstermiş ve maliyetlerde azalma yaşanmıştır (Baran, 2007).

Yeryüzüne düşen enerjinin tamamından faydalanmak günümüz teknolojisiyle mümkün değildir. Örneğin, termal güneş kolektörleri bugün için yaklaşık %60'lık bir verime sahiptirler. Bu verimle dahi fosil yakıtlardan ve hidroelektrik santrallerden elde edilen enerjinin daha fazlasını güneşten elde etmek mümkündür.

Liepert'e göre (2002), hava kirliliğinin sebep olduğu küresel loşluk da güneş ışınlarının şiddetini azaltmaktadır. 1961-1990 yılları arasında kapsayan bir çalışmada küresel loşluğun deniz seviyesine ulaşan ortalama ışınım şiddetini %4 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

1.1.2 Güneş enerjisi teknolojileri

Güneş ışınlarından yararlanmanın pek çok yöntemi vardır. Bu yöntemlerin bir kısmında güneş enerjisinden ışık veya ısı enerjisi şeklinde doğrudan faydalanılırken, diğer yöntemler güneş enerjisinden elektrik elde etmek şeklinde kullanılmaktadır. Güneş enerjili sıcak su sistemleri, suyu ısıtmak için güneş ışınlarından yararlanır ve termal güneş sistemleri olarak adlandırılır. Termal sistemler evsel sıcak su ya da bir alanı ısıtmak için kullanılabilirdiği gibi bir havuzu ısıtmak için veya mahal soğutmasında da kullanılabilir. Bu sistemler çoğunlukla termal güneş toplayıcıları ve depodan oluşur. Güneş enerjili su ısıtıcıları üç grupta toplanır.

- Aktif sistemler; suyun ya da ısı transfer sıvısının çevirimi için pompa kullanırlar.
- Pasif sistemler; suyun ya da ısı transfer sıvısının devrini doğal çevirim ile sağlarlar.
- Kütle sistemleri; su tankının doğrudan Güneş ışığı ile ısınmasını amaçlarlar.

1.1.3 Çevre sıcaklığının incelenmesi

Sistem tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken faktörlerin biri tasarımı yapılacak binanın bulunduğu iklimin çevre sıcaklıklarıdır. Binanın ısıtma ve soğutma sisteminin tasarımını yapmak için yapının bulunduğu iklimin yıllık meteorolojik verilerinden ısıtma sezonunda en sık görülen en düşük sıcaklık değeri alınır ve ona göre tasarım yapılır. Aynı şekilde soğutma sisteminin tasarımını yapmak için de soğutma sezonunda ölçülen en sık görülen en yüksek sıcaklık değerine bakılır.

1.2 Projede Kullanılan Sistemler

1.2.1 Yerden ısıtma tesisatı

Projede işletme sıcaklığının düşük olması nedeniyle ısıtma sistemi olarak zeminden ısıtma tesisatı tercih edilmiştir. Sıcaklığın mahal içine homojen bir şekilde dağılmasını sağlayan yerden ısıtma sistemi oksijen bariyerli polietilen borular ve debi ayarlamalı

kolektörlerle tasarlanmıştır. Debi ayarlamalı kolektörler sayesinde radyatör sisteminde yaşanan balanslama problemi giderilebilmektedir. Oksijen bariyerli polietilen borularla tesisatın oksitlenmesi ve tesisat içinde hava oluşması engellenebilir. Yerden ısıtma sistemi düşük sıcaklıklarla çalıştığından güneş kolektörlü sistemler için daha uygundur.

1.2.2 Absorbsiyonlu soğutma sistemi

Projede soğutma sistemi olarak absorbsiyonlu soğutma grubu ve fan coil sistemi tasarlanmıştır. Soğutma yükleri ısıtma yüklerinden fazla olduğu için fan coil seçimi soğutma yüklerine göre yapılmıştır.

Absorbsiyonlu soğutma sistemleri ısı enerjisini kullanarak soğutma yapan sistemlerdir. Sıcaklığı 75°C ila 200°C arasında olan ısı kaynağı varsa bu sistemler ekonomik açıdan oldukça avantajlı soğutma sistemleridir. Bu ısı kaynakları jeotermal enerji, güneş enerjisi, buhar santrallerinin atık ısıları olabilir (Çengel, 1996).

Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde iki farklı akışkan çiftleri kullanılmaktadır. Bu akışkanlar amonyak-su, lityum-bromür gibi akışkan çiftleridir. Bu akışkanlardan bir tanesi soğutucu diğeri ise soğurucu akışkan olarak adlandırılmaktadır. Çalışma prensibi olarak buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemlerine benzemektedir. Buhar sıkıştırılmalı sistemlerden farklı olarak bu sistemlerde elektrik enerjisi tüketimi çok fazla olan kompresörler kullanılmamaktadır. Kompresörlerin yerine termik kompresörler olarak da bilinen jeneratör ve absorber düzeneği kullanılır.

Babadağlı (2005), soğurucu (absorbent) maddeden istenilen özellikleri genel olarak şu şekilde sıralamıştır;

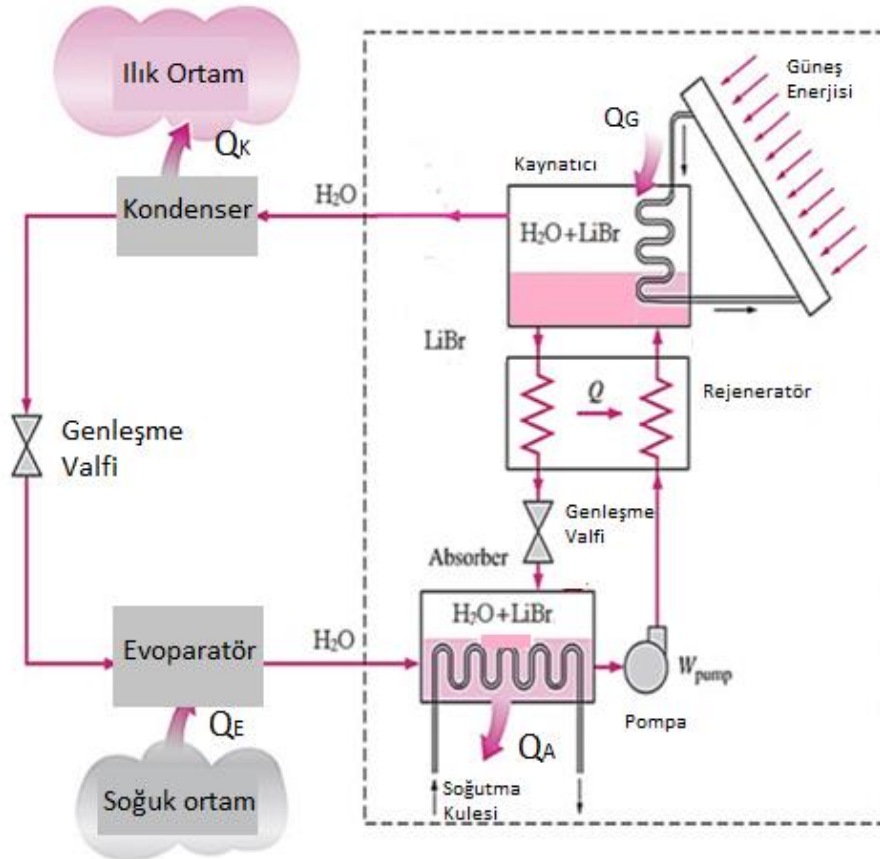
1. Yüksek çözülebilirlik
2. Düşük buharlaşma basıncı
3. Hızlı absorbsiyon
4. Operasyon koşullarında düşük viskozite
5. Yüksek ısı iletim
6. Düşük donma sıcaklığı
7. Düşük yoğunluk
8. Isıl korozyona (aşınmaya) karşı dayanıklılık

9. Zehirleyici olmama
10. Buhar fazına dönüşebilirlik
11. Korozif özelliğin düşüklüğü
12. Düşük maliyet

Babadağlı (2005), soğutucu seçiminde dikkat edilmesi gereken özellikler şu şekilde sıralamaktadır;

1. Gelecekte kullanılabilme
2. Kullanım kolaylığı
3. Soğutma performansı uygunluğu
4. Çalışma verimliliği
5. Güvenli kullanım

Basit bir absorpsiyonlu soğutma sistemi çalışma prensibi Şekil 1.2' de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 : Absorpsiyonlu soğutma çevrimi bileşenleri.

Burada;

Q_G : Kaynatıcıya (generator) giren ısı

Q_E : Evaporatöre (buharlaştırıcı) giren ısı

Q_A : Absorberden (soğurucu) çıkan ısı

Q_K : Kondenserden (yoğusturucu) çıkan ısı

olarak tanımlanmıştır.

Çalışma prensibi incelendiğinde buhar sıkıştırımalı soğutma sistemlerine benzediği fakat kompresörün yerini yukarıdaki şekilde görülen kesikli çizgilerle belirtilen sistem almaktadır. Bu mekanizmanın içinde soğurucu, akışkan pompası, ısıtıcı, ısı değiştiricisi, ayırıcı ve kısılma vanası bulunmaktadır. Tüm bu bileşenler soğutucu akışkanın (H_2O) basıncını yükseltmek için kullanılır. Basıncı yükseltelen soğutucu akışkan (H_2O) yoğusturucuda soğutularak yoğunlaştırılır ve genişleme valfinde basıncı kısılarak buharlaştırıcıya gelir. Soğutucu akışkan (H_2O) buharlaştırıcıdan geçerken de ortamdan ısı çekmektedir. Soğutucu buharı (H_2O) buharlaştırıcının ardından soğurucuya girerek burada LiBr ile ekzotermik bir kimyasal reaksiyona girer ve LiBr/ H_2O çözeltisini oluşturur. LiBr içinde soğurulabilen H_2O miktarı sıcaklıkla ters orantılı olduğundan çözeltideki H_2O oranını arttırmak için soğurucu sıcaklığını olabildiğince düşük tutmak gerekmektedir. H_2O ile zengin olan çözelti soğurucudan ısıtıcıya pompalanır ve burada buharlaşma gerçekleşir ve sonrasında çözelti ayırıcıya girer. Burada su çözeltiden ayrıştırılarak yoğusturucuya girerek çevrimi sürdürür. Isıtıcıda kalan fakir çözelti ısı değiştiricisinden geçerek pompadan çıkan çözeltiye ısını aktarır ve soğurucu basıncına kısılır.

1.2.3 Fan coil sistemi

Fan coil sistemi esas olarak tamamen sulu bir sistemdir. Sıcak su veya soğutulmuş su göndermek suretiyle mahal içinde ısıtma ve soğutma yapmak amacıyla kullanılır. İçerisinde bir fan ve ısı geçişini sağlayan serpantin yüzeyler bulunur. Soğutma yapılmak isteniyorsa soğuk su, ısıtma yapılmak isteniyorsa serpantinde sıcak su dolaştırılır. ısını mahale bırakıp soğuyan veya mahalden ısı alarak ısınan su tekrar ısı merkezine gönderilerek sistem sirküle ettirilir. Bu amaçla sirkülasyon pompaları kullanılır. Özellikle otel, hastane, ofis ve yüksek katlı konutlarda kullanılmaktadır. Fan coil üniteleri cam önlerine, asma tavan içlerine ya da

tavan altına ve döşeme içlerine konabilir. Buna göre farklı fan coil tipleri geliştirilmiştir.

Fan coil cihazlarının kullanım yerine ve serpantin sayısına göre farklı tipleri vardır. Cihaz konumlandırmasına göre kaset tipi fan coil, döşeme tip fan coil veya asma tavan içinde kullanılacaksa gizli tavan tipi fan coil olarak çeşitleri vardır. Serpantin sayısı tekse iki borulu fan coil, serpantin sayısı çiftse dört borulu fan coil olarak isimlendirilirler. Dört borulu fan coilde farklı mahallerde aynı anda ısıtma ve soğutma işlerini eş zamanlı olarak yapmak mümkünken, iki borulu tiplerde ise bina içinde sadece ısıtma veya sadece soğutma yapılabilmektedir.

Çalışmamızda ısıtma sistemi olarak tabandan ısıtma seçildiği için fan coiller sadece soğutma amacıyla kullanılacaktır dolayısıyla 2 borulu fan coil sistemi yeterli olacaktır.



Şekil 1.3 : Döşeme tipi fan coil cihazı.

1.2.4 Güneş kolektörleri

Günümüzde dünyaya ulaşan güneş enerjisinden faydalanmak için ısıya dönüştürme ve elektrik enerjisine çevirme olarak iki yol izlenmektedir: Güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürmede kolektörler, doğrudan elektriğe dönüştürmede de güneş hücreleri-güneş pilleri kullanılmaktadır (Şeker, 2016).

Erden'e göre (2011) güneş kolektörleri 3 sınıfa ayrılabilirler. Bunlar,

- Düz yüzeyli güneş toplayıcıları
- Vakumlu güneş toplayıcıları
- Odaklamalı güneş toplayıcıları olarak sınıflandırılabilir.

Bunun yanında içerisinde dolaşan akışkan cinsine göre ise,

- Sıvılı güneş kolektörleri

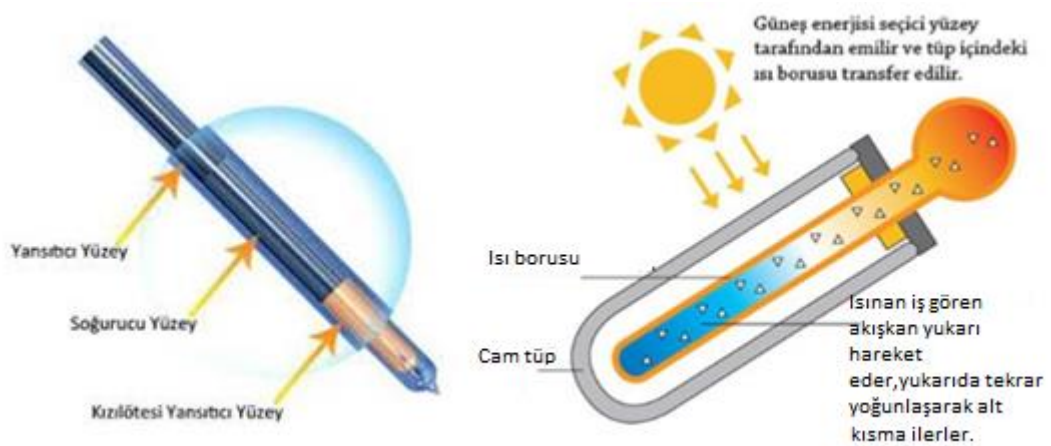
- Gazlı veya havalı güneş kolektörleri olarak da sınıflandırılırlar.

Geometrik yapıları ve enerji üretme yöntemleri farklılık gösterse de temel prensip olarak güneş ışınlarını ısı enerjisine çevirmeleri açısından aynı amaca hizmet ederler.

Vakum tüplü güneş kolektörleri ile 80°C'yi aşan sıcaklıklarda düzlemsel güneş kolektörlerine kıyasla daha yüksek ısı verimi elde edilebilmektedir (Sarbu ve Sebarchievic, 2017). Yapılan çalışmada düz kolektörlere göre yüksek verimle çalıştığından vakum tüplü güneş kolektörleri kullanılacaktır.

1.2.4.1 Vakum tüplü güneş kolektörleri

Sistem, iç içe geçmiş iki cam tüpten oluşmaktadır. İki tüp arasındaki vakum sayesinde ısı kaybı minimum düzeye indirilmiştir. Dıştaki cam tüp, her türlü hava şartlarına dayanıklıdır. İçteki cam tüp ve dayanıklı olan özel bileşimli bir camdan üretilmiş olup, üzeri siyah renkli özel seçici yüzeye kaplanmıştır. Siyah renkli özel seçici yüzey sayesinde tüpe gelen ışınların %93'ü mükemmel şekilde absorbe edilerek ısıya çevrilmekte ve güneş ışını yansımaları minimuma indirilmektedir. İki tüp arasında vakum olduğundan iletim ve taşınım ile olan ısı kaybı ihmal edilebilecek düzeydedir. Soğuk, yağmurlu, karlı ve rüzgarlı havalarda cam tüp içindeki vakum sayesinde tüplerdeki ısı kaybı maksimum düzeyde önlenmiştir. Bundan dolayı sistem uygun şartlar dahilinde zorlanmış taşınım sistemlerinde antifriz gerektirmeden -40°C hava sıcaklıklarında dahi sıcak su üretebilmektedir (Öz ve diğ., 2007).



Şekil 1.4 : Isı borulu vakum tüplü sistemin çalışma prensibi.

Vakum tüplü güneş kolektörlerinin geometrik yapısı gereği güneş ışınlarını dik alma potansiyeli daha iyi olduğundan soğurucu yüzey performansı çok daha yüksektir.

Vakum tüplü güneş kolektörleri doğal taşınımlı ve zorlanmış taşınımlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal taşınımlı sistemlerde sirkülasyon pompası kullanılmaz, doğal taşınım söz konusudur. Isınan suyun yoğunluğu azaldığından yoğunluk farkından dolayı yukarı yönlü hareket ederek depoya ulaşır. Kurulum ve işletim maliyetleri daha düşüktür. Fakat kış aylarında donma problemleri yaşanabilmektedir.

Zorlanmış taşıyıcılı sistemlerde kolektör ile depo arasında sirkülasyon pompası kullanılır. Yatırım ve işletim maliyetleri daha yüksek olmasına rağmen, daha yüksek sıcaklıklar elde edilebilmesi depo konumlandırmasının rahatlığı ve daha az ısı kaybı yaşanması zorlanmış sistemlerin avantajlarındandır.



Şekil 1.5 : Vakum tüplü doğal taşınımlı güneş kolektörleri.

Vakum tüplü güneş kolektörleri ile düzlemsel güneş kolektörleri arasındaki farklar Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 Vakum tüplü kolektörler ile düzlemsel kolektörler arasındaki farklar.

Özellik	Vakum Tüplü Kolektör	Düzlemsel Kolektör
Isı Kaybı	Düşük	Yüksek
Donma	-35 °C'ye kadar dayanıklı	0°C'nin altında riskli
Depolama	Uzun süre depolama	Isı kaybından dolayı uzun süre depolanamaz
Hijyen	Sıvı metalle temas etmediğinden daha hijyeniktir.	Sıvı metalle temas ettiğinden az hijyeniktir.
Absorbsiyon Katsayısı	0,93	0,92
Yansıtma Katsayısı	0,03	0,3
Soğ. Yüzey Performansı	15,5	2,3
Yatırım Maliyeti	Yüksek	Düşük

Görüldüğü gibi yatırım maliyeti dışında diğer parametrelerde vakum tüplü kolektörler çok daha avantajlı konumdadır. Bu sebeple tez çalışmamızda vakum tüplü kolektörler kullanılmıştır.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada incelenen güneş destekli absorpsiyonlu soğutma ve ısıtma sisteminin çalışma prensibi Ek - E’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi ısıtma sezonunda güneş kolektörlerinden elde edilen sıcak su boyler vasıtasıyla yerden ısıtma sistemini beslemektedir. Kolektörlerden gelen enerjinin yetersiz kaldığı durumlarda ilave bir ısıtıcı bulunmaktadır. Bu ısıtıcı elektrikli olabildiği gibi gazlı da olabilmektedir. Yapılan çalışmada ısıtıcı olarak doğalgazlı kombi kullanılmıştır. Soğutma sezonunda ise boylerdeki sıcak su absorpsiyonu soğutma ünitesine yönlendirilmektedir. Yine aynı şekilde kolektörlerin yetersiz kaldığı durumlarda ısıtıcı devreye girmektedir.

2.1 Binaya Ait Mimari Özellikler

Bina dıştan dışa 20 m eninde, 10 m boyunda ve 12 m yüksekliğinde ve 4 normal kattan oluşup, Antalya il sınırları içerisinde bir villadır.

Pencere Alanı; $A_P= 60 \text{ m}^2$

Dış Duvar Alanı; $A_D= 690 \text{ m}^2$

Tavan Alanı; $A_T= 145 \text{ m}^2$

Toprak Temaslı Taban Alanı; $A_t= 200 \text{ m}^2$

Toplam Alan; $A_{\text{top}}=700$

$V_{\text{brüt}}= 2100 \text{ m}^3$

Her Yön İçin Toplam Pencere Alanı; $A_g= 8 \text{ m}^2$ $A_k= 22 \text{ m}^2$

$A_b= 15 \text{ m}^2$ $A_d= 15 \text{ m}^2$

2.2 Isı Yalıtım Hesapları

Binanın enerji simülasyonunun yapılabilmesi için izlenmesi gereken ilk adım binaya ait yapı bileşenlerinin ısı iletim katsayılarının bulunması olmalıdır. 1. Bölgede yer alan

Antalya ili için tavsiye edilen U değerleri TS825 Standartları'na göre belirlenmiştir. Yapı elemanlarının kalınlıkları ve ısı iletim katsayılarına göre toplam ısı geçiş katsayıları (U değerleri) hesaplanmıştır. U değerlerinin tavsiye edilen 1. Bölge değerlerini aşmamasına dikkat edilmiştir.

Isı yalıtım hesapları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Binanın özgül ısı kaybı.

Binadaki Yapı Elemanları	Yapı elemanı kalınlığı L (m)	Isı iletim katsayısı λ_h (W/mK)	$L/\lambda, 1/\alpha$ (m^2K/W)	Toplam Isı Geçiş Katsayısı U (W/m^2K)	Isı Kaybeden Yüzey A (m^2)
			$1/\alpha_i$	0,130	
Dış Duvar Yüzeyleri	Kireç Harcı	0,05	0,870	0,005	
	Yalıtım Tuğlası	0,14	0,450	0,31	
	Poliüretan Köpük	0,05	0,035	1,42	
	Çimento Harcı	0,005	1,4	0,05	
	$1/\alpha_d$			0,040	
Toplam			1,91	0,52	690
			$1/\alpha_i$	0,17	
Toprak Temaslı Taban	Karo Mozaik	0,03	1,3	0,594	
	Cam Köpüğü	0,004	0,05	0,800	
	XPS	0,042	0,035	9,120	
	Donatısız Beton	0,2	1,65	0,029	
	Kum, Kum-Çakıl	0,15	2	0,08	
$1/\alpha_d$			0,04		
Toplam			1,7	0,59	200
			$1/\alpha_i$	0,13	
Tavan	İç Sıva	0,04	0,87	0,045	
	Donatılı Beton	0,15	2,1	0,07	
	XPS	0,1	0,035	2,85	
	Çimento Harcı	0,001	1,4	0,014	
	$1/\alpha_d$			0,04	
Toplam Pencere			3,15	0,31	145
Kapı				2	60
				3	2

Bulunan değerler Çizelge 2.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2 : Binanın özgül ısı kaybı (özet).

Binadaki Yapı Elemanları	Toplam Isı Geçiş Katsayısı U(W/m ² K)	Isı Kaybeden Yüzey Alanı A(m ²)	U.A(W/K)
Dış Duvar Yüzeyleri	0,52	0,52	359,56
Toprak Temaslı Taban	0,59	200	117,00
Tavan	0,31	145	45,90
Pencere	2	60	120,00
Toplam $\Sigma AU =$			648,47

Yapı bileşenleri için hesaplanan U değerleri için bazı sınırlamalar getirilmiştir. TS825 Standartları'nda tavsiye edilen bölgelere göre en fazla U değerleri Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 : Tavsiye edilen maksimum U değerleri.

Bölge	U _D (W/m ² K)	U _T (W/m ² K)	U _t (W/m ² K)	U _p (W/m ² K)
1. Bölge	0,70	0,45	0,70	2,4
2. Bölge	0,60	0,40	0,60	2,4
3. Bölge	0,50	0,30	0,45	2,4
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,4

Antalya ili 1. Bölge sınırları içerisinde olduğundan belirlenen U değerleri sınır değerlerin altında kalmıştır.

Dış Duvar için (U_D); 0,52 < 0,70

Tavan için (U_T); 0,31 < 0,45

Taban için (U_t); 0,59 < 0,70

Pencere için (U_p); 2 < 2,4

2.3 Isı Kaybı ve Isıtma Enerji İhtiyacı Hesabı

Binanın ısıtma tesisatının tasarlanabilmesi için ısı kaybının, yıllık enerji ihtiyacının bulunabilmesi için de ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanması gerekir. Isı kaybı hesabı için tasarım dış hava sıcaklığı, mahal içi sıcaklıklar ve hesap yöntemi aşağıdaki taboda belirtilmiştir. Isıtma enerjisi ihtiyacı ise yılın tüm günlerinde yaşanan ısı kayıplarına göre elde edilen enerji değeridir. Binayı yıl boyu ısıtmak için gerekli enerji olarak tanımlanabilir. Meteoroloji verilerinden HDD (ısıtma derece gün değeri) değerleri kullanılarak hesaplanır. Isı kaybı hesabı için FineHVAC programına kat bazında mimari proje tanımlanmış, U değerleri girilmiş ve ısı kaybı hesaplanmıştır. Isı kaybı hesabı için tasarım kriterleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Isı kaybı hesabı tasarım şartları.

Şehir	Antalya
Seçilen Dış Hava Sıcaklığı (°C)	3
Seçilen İç Hava Sıcaklığı (°C)	19
Isıtılmayan Hacim Sıcaklığı (°C)	10
Toprak Sıcaklığı (°C)	10
Kat Adedi	4
Toprak Üstü İlk Kat	1
Hesap Yöntemi	EN12831
Birim Sistemi	Kcal/h

Yukarıdaki tasarım şartlarına göre FineHVAC programından elde edilen mahallerde hesaplanan ısı kayıpları Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 : Mahal ısı kayıpları.

Mahal Adı	Q_h Isı Kaybı (Kcal/h)
Bodrum Kat	4.358,00
Zemin Kat	4.539,00
1. Kat	4.396,00
2. Kat	4.377,00
Toplam	17.640,00

$$\dot{Q}_h = 17.640,00 \text{ kcal/h} = 20,50 \text{ kW'tır.}$$

Isıtma enerjisi ihtiyacı hesabı için derece gün yöntemi kullanılmıştır. Derece-gün yöntemi ısıtma ve soğutma hesaplamalarında uzun yıllardır kullanılan basit, kullanışlı ve etkili bir yöntemdir. Uygulaması basit olduğundan ve hızlı sonuçlar elde edilebildiğinden ilk değerlendirmeleri yapabilmek için tercih edilen etkili bir yöntemdir (Pusat ve Akkoyunlu, 2018).

Isıtma derece gün değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden 2009-2018 tarihleri arasında her yıla ait değerlerin ortalaması alınarak bulunmuştur. Bulunan değerler Çizelge 2.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 : Antalya ili ortalama ısıtma derece gün sayıları.

Antalya İli Ortalama (10 Yıllık) Isıtma Derece Gün Sayıları (HDD)											
Aylar	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Ort.
Ocak	253	219	237	295	226	160	222	223	240	216	227,1
Şubat	182	149	190	257	160	122	166	78	145	126	157,5
Mart	148	70	151	158	128	84	93	64	73	61	103
Nisan	6	7	31	7	15	4	35	4	0	0	10,9
Mayıs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Haziran	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temmuz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ağustos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eylül	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ekim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kasım	48	0	138	41	7	43	0	11	60	27	37,5
Aralık	153	141	228	187	198	95	139	212	170	193	171,6

Binanın aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı şu formülle hesaplanır,

$$L_{h,ay} = 86400 \times \frac{\dot{Q}_h \times HDD}{(\Delta T_d)_h} \times 10^{-9} \quad (2.1)$$

Burada;

$L_{h,ay}$: Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı [J/ay]

\dot{Q}_h : Isı kaybı [W]

$(\Delta T_d)_h$: İç konfor ve dış tasarım sıcaklıkları farkı [°C]'dir.

Tüm aylar için bulunan ısıtma enerjisi ihtiyacı Çizelge 2.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.7 : Aylara göre hesaplanan ısıtma enerjisi.

Aylar	HDD	L_{h,ay} (GJ/ay)
Ocak	227,1	24,52
Şubat	157,5	16,96
Mart	103	11,12
Nisan	10,9	1,19
Mayıs	0	0
Haziran	0	0
Temmuz	0	0
Ağustos	0	0
Eylül	0	0
Ekim	0	0
Kasım	37,5	4,00
Aralık	171,6	18,47

Binanın ısınması için yıllık toplam gerekli enerji ihtiyacı $L_h = 78,33$ GJ/yıl olarak hesaplanmıştır.

2.4 Kullanım Sıcak Suyu Hesabı

Kullanım sıcak suyu enerji ihtiyacının belirlenmesi için iki hesap yöntemi vardır. Sıcak su enerji ihtiyacı meskende var olan lavabo, evye, duş gibi sıcak su tüketilen armatürlerin adedinden hesaplanabildiği gibi, kişi başına günlük tüketilen sıcak su miktarından da hesaplanabilmektedir.

Sıcak su gereksinimi iki etkene bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Bu etkenlerden biri sıcak kullanma suyu debisi, diğeri sıcak kullanma suyu sıcaklığıdır. Bu iki etken sıcak su kullanımının yapıldığı alana bağlı olarak değişim gösterir. Banyolarda 45 (°C)'lik bir su sıcaklığı yeterli olduğu halde mutfaklarda 60 (°C)'lik bir sıcak kullanma suyuna gerek olduğu belirtilmektedir. Hesaplarımızda 45 (°C)'lik değer kullanılmıştır.

Konutlarla ilgili muhtemel kullanım alanları ve bunlara tekabül eden tüketim miktarları Çizelge 2.8'de gösterilmiştir. (Köktürk, Sıhhi Tesisat Tekniğinde Su Tüketimi Hesabı).

Çizelge 2.8 : Konutlarda sıcak su tüketim miktarları.

Konut Tipi	Hacim Kapasitesi [Litre]
1 Kişilik Konutlar	100 Lt/gün
2 Kişilik Konutlar	150 Lt/gün
3 Kişilik Konutlar	200 Lt/gün
4 Kişilik Konutlar	250 Lt/gün
Çok Kişilik Konutlar	300 Lt/gün

5 kişilik bir ailenin kullanım sıcak suyu (300lt/gün) için gerekli yıllık enerji miktarını hesaplamak için her ay için hesap yapılarak toplanmıştır.

$$L_w = m_s \times c_p \times Ssdg \times 10^{-9} \quad (2.2)$$

Burada;

L_w : Kullanım sıcak suyu enerjisi [J]

m_s : Sıcak su ihtiyacı [lt/gün]

c_p : Suyun özgül ısısı [4,19 kJ/kgK]

$Ssdg$: Sıcak su derece gün sayısı [$^{\circ}\text{C-gün/ay}$] 'dır.

Aylık Sıcak su derece gün sayısı aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$Ssdg = NM(T_y - \bar{T}_s) \quad (2.2a)$$

Burada;

NM: Ayın gün sayısı

T_y : Kullanım suyu sıcaklığı

\bar{T}_s : aylık ortalama şebeke suyu sıcaklığıdır.

Tüm aylar için aynı hesap yapılarak bulunan sonuçlar Çizelge 2.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.9 : Aylara göre hesaplanan sıcak su enerjisi.

Aylar	Ssdg [$^{\circ}\text{C-gün/ay}$]	L_w [GJ/ay]
Ocak	967,20	1,22
Şubat	904,40	1,14
Mart	964,10	1,21
Nisan	867,00	1,09
Mayıs	790,50	0,99
Haziran	645,00	0,81
Temmuz	564,20	0,71
Ağustos	511,50	0,64
Eylül	516,00	0,65
Ekim	613,80	0,77
Kasım	705,00	0,89
Aralık	868,00	1,09

Yukarıdaki değerler 45°C kullanım sıcaklığına göre Ssdg değerleridir.

Her ay için bulunan değerler toplanarak sıcak su eldesi için gerekli yıllık enerji miktarı hesaplanır.

$$L_{w,toplam} = 11,21 \text{ GJ/yıl}$$

2.5 Isı Kazancı ve Soğutma Enerjisi Hesabı

Binanın soğutma sisteminin tasarlanabilmesi için binanın ısı kazancı, soğutmaya harcanacak 1 yıllık enerjinin bilinebilmesi için de soğutma enerjisi ihtiyacı hesapları yapılmalıdır.

Binanın ısı kazancı hesabı için birkaç yöntem vardır. Hesaplamalarda CLTD (Cooling Load Temperature Difference) metodu kullanılmıştır. CLTD metodu hem ışınlama kazanılan ısıyı hem de yapı bileşenlerinden kaynaklanan ısı kazancını tek adımda yapabilmesi açısından kullanışlı ve doğru sonuçlar veren bir yöntemdir. (Erkmen ve Gedik, 2007). Isı kazancı hesabı için FineHVAC programına kat bazında mimari proje tanımlanmış, U değerleri girilmiş ve yılın en fazla ısı kazancı hesaplanmıştır.

Isı kazancı hesabı için tasarım kriterleri Çizelge 2.10'da şu şekilde gösterilmiştir;

Çizelge 2.10 : Isı kazancı hesabı için tasarım kriterleri.

Şehir	Antalya
Seçilen Dış Hava Sıcaklığı (°C)	37
Seçilen İç Hava Sıcaklığı (°C)	26
İç Ortam Nemi (%)	%50
Kat Adedi	4
Hesap Yöntemi	ASHRAE CLTD
Birim Sistemi	Kcal/h

FineHVAC çıktılarına göre katların ısı kazançları hesaplanmış ve Çizelge 2.11'de listelenmiştir.

Çizelge 2.11 : Mahallere göre ısı kazançları.

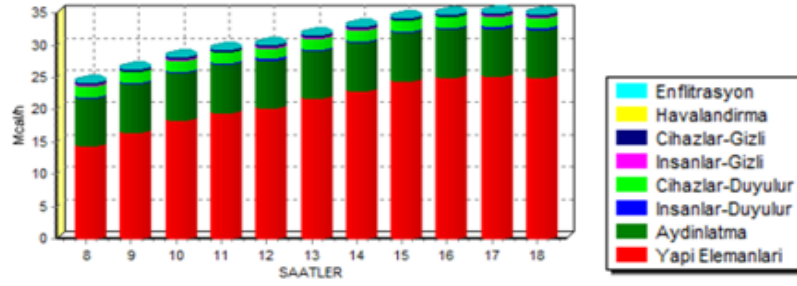
Mahal Adı	Isı Kazancı (Kcal/h)
Bodrum Kat	6.450,70
Zemin Kat	12.476,90
1. Kat	10.300,50
2. Kat	5.972,60
Toplam	35.200,80

Soğutma yüklerinin dağılımı Çizelge 2.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.12 : Isı kazançlarının dağılımı.

Mahal Yükleri	Isı Kazancı (Kcal/h)
Yapı Elemanları	25.950,00
İç Yükler (Aydınlatma, cihaz, insan vb.)	9.250,80
Toplam	35.200,80

Pik yükte saatlere göre yaşanan ısı kazançları ve detayları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Saatlere göre ısı kazançlarının dağılımı.

Program yıllık meteorolojik sıcaklık ve ışınım değerlerine göre ısı kazancının pik yaptığı günü hesaplamaktadır. Program simülasyonuna göre tasarım günü 24 Ağustos tarihi olarak bulunmuştur.

$$\dot{Q}_c: 35.200,80 \text{ kcal/h} = 40,3 \text{ kW'tır.}$$

Soğutma enerjisi ihtiyacı hesabında da ısıtma enerjisi hesabında olduğu gibi derece gün yöntemi kullanılmıştır.

Soğutma derece gün değerleri (CDD) Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden 2009-2018 tarihleri arasında her yıla ait değerlerin ortalaması alınarak bulunmuştur. Bulunan değerler Çizelge 2.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.13 : Antalya ili ortalama soğutma derece gün değerleri.

Antalya İli Ortalama (10 Yıllık) Soğutma Derece Gün Sayıları (CDD)											
Aylar	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Ort.
Ocak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Şubat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mart	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nisan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mayıs	18	25	10	2	44	3	10	2	17	60	19,1
Haziran	144	92	95	133	105	107	61	147	134	114	113,2
Temmuz	238	184	205	243	206	177	196	242	262	228	218,1
Ağustos	224	263	236	251	238	223	223	232	217	221	232,8
Eylül	89	148	141	121	108	112	132	132	146	154	128,3
Ekim	0	0	0	31	12	25	35	42	25	25	19,5
Kasım	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aralık	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$$L_{c,b,ay} = 86400 \times \frac{\dot{Q}_c \times CDD}{(\Delta T_d)_c} \times 10^{-9} \quad (2.3)$$

Burada;

$L_{c,b,ay}$: Binanın Aylık soğutma enerjisi ihtiyacı [J/ay]

$L_{c,ay}$: Kolektörlerin Absorpsiyonlu soğutma ünitesine sağlaması gereken aylık enerji ihtiyacı [J/ay]

COP_{SS} : Absorpsiyonlu soğutma grubu performans katsayısı [0,7]

\dot{Q}_c : Isı kazancı [W]

$(\Delta T_d)_c$: Dış tasarım sıcaklığı ve iç konfor sıcaklığı farkıdır.

$$L_{c,ay} = L_{c,b,ay}/COP_{SS} \quad (2.3a)$$

Tüm aylar için bulunan soğutma enerjisi Çizelge 2.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.14 : Aylara göre hesaplanan soğutma enerjisi.

Aylar	CDD	$L_{c,b,ay}$ (GJ/ay)	$L_{c,ay}$ (GJ/ay)
Ocak	0,	0	0
Şubat	0	0	0
Mart	0	0	0
Nisan	0	0	0
Mayıs	19,1	5,97	8,53
Haziran	113,2	35,50	50,72
Temmuz	218,1	68,49	97,85
Ağustos	232,8	73,20	104,58
Eylül	128,3	40,22	57,45
Ekim	19,5	5,97	8,53
Kasım	0	0	0
Aralık	0	0	0

Binanın soğutulması için yıllık toplam gerekli enerji ihtiyacı $L_{c,b,toplam} = 229,35$ GJ/yıl olarak hesaplanmıştır. Binanın soğutulması için güneş kolektörlerinden elde edilmesi gereken yıllık toplam gerekli enerji ihtiyacı $L_{c,toplam} = 327,65$ GJ/yıl olarak hesaplanmıştır.

2.6 Işınım Hesapları

Bu bölümde Antalya ili için gerekli ışınlam hesapları ve Ø-f chart metoduyla gerekli güneş kolektörü alanı hesabı yapılacaktır. Antalya bölgesi güneş potansiyeli açısından Türkiye'nin en verimli yerlerindedir. Ø-f chart metodunda kullanılan güneş kolektörlerinin özellikleri, binanın ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu için enerji ihtiyacı hesaba katılarak aylık faydalanma oranları ve yıllık karşılama oranları

hesaplanacaktır. Bu metot güneş destekli ısı sistemleri için geliştirilmiş olup bu sistemlerin performansının incelenmesi için kullanışlı bir yöntemdir (Klein ve Duffie, 1982).

Yapılan hesaplamalar aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.

Antalya için yataya (36° enlem) düşen aylık ortalama ışınım şiddetleri (\bar{H}) ve aylık ortalama dış sıcaklık değerleri (\bar{T}_a) TS 3817'den (1994) Çizelge 2.15'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.15 : Aylara yatay düzleme gelen ışınım değerleri (1).

Aylar	\bar{H} (MJ/m ²)	\bar{T}_a (°C)
Ocak	7,07	10,1
Şubat	8,96	10,7
Mart	12,18	12,8
Nisan	15,57	16,4
Mayıs	18,58	20,5
Haziran	20,59	25
Temmuz	20,72	28,2
Ağustos	19,17	28,1
Eylül	15,74	24,9
Ekim	11,34	20,3
Kasım	8,41	15,6
Aralık	6,36	11,9

Kolektör açısı yaz şartlarında en verimli çalışacak açığa göre (Enlem-11°) yerleştirilmiştir.

2.6.1 Atmosfer öncesi yatay düzleme gelen aylık ortalama ışınım hesabı

$$\bar{H}_0 = \frac{24 \times 3600 \times G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \times N}{365} \right) \right) \times [\cos(\phi) \times \cos(\delta) \times \sin(h_{ss}) + \frac{\pi \times h_{ss}}{180} \times \sin(\phi) \times \sin(\delta)] \quad (2.4)$$

Burada;

\bar{H}_0 : Atmosfer dışı yatay düzleme düşen aylık ortalama ışınım

N : 1 ocaktan itibaren ayın ortalama günü

ϕ : Enlem derecesi: 36 °

δ : Aylık ortalama deklinasyon açısı

G_{sc} : Güneş sabiti [1367 W/m²]

h_{ss} : günbatımı saati açısı [°]'dir.

$$h_{ss} = \cos^{-1}[-\tan(\phi) \tan(\delta)] \quad (2.5)$$

Tüm aylar için bulunan sonuçlar Çizelge 2.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.16 : Aylara göre hesaplanan ışıınım değerleri (2).

Aylar	Enlem (ϕ)	Kol. Açısı (β)	G_{sc}	N	δ (°)	h_{ss}	\bar{H}_0 (MJ/m ²)
Ocak	36	25	1367	17	-20,92	73,88	17,66
Şubat	36	25	1367	47	-13,29	80,38	22,78
Mart	36	25	1367	75	-2,42	88,24	29,20
Nisan	36	25	1367	105	9,41	96,92	35,62
Mayıs	36	25	1367	135	18,79	104,31	39,94
Haziran	36	25	1367	162	23,09	108,04	41,61
Temmuz	36	25	1367	198	21,18	106,35	40,70
Ağustos	36	25	1367	228	13,45	100,01	37,21
Eylül	36	25	1367	258	2,22	91,61	31,47
Ekim	36	25	1367	288	-9,6	82,94	24,62
Kasım	36	25	1367	318	-18,91	75,59	18,84
Aralık	36	25	1367	344	-23,05	71,99	16,23

2.6.2 Kolektör birim yüzeyine gelen aylık ortalama günlük ışıınım hesabı

\bar{R}_B : Aylık ortalama direkt ışıınım eğim faktörü;

$$\bar{R}_B = \frac{\cos(\phi-\beta) \cos(\delta) \sin(h'_{ss}) + \left(\frac{\pi}{180}\right) h'_{ss} \sin(\phi-\beta) \sin(\delta)}{\cos(\phi) \cos(\delta) \sin(h_{ss}) + \left(\frac{\pi}{180}\right) h_{ss} \sin(\phi) \sin(\delta)} \quad (2.6)$$

\bar{K}_T : Aylık ortalama saydamlık indeksi;

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (2.7)$$

Aylık ortalama günlük difüz ışıınım Erbs ve diğ (1982) tarafından verilen aşağıdaki korelasyonla hesaplanır,

$h_{ss} \leq 81,4^\circ$ ve $0,3 \leq \bar{K}_T \leq 0,8$ için,

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = 1,391 - 3,560\bar{K}_T + 4,189\bar{K}_T^2 - 2,137\bar{K}_T^3 \quad (2.8)$$

$h_{ss} > 81,4^\circ$ ve $0,3 \leq \bar{K}_T \leq 0,8$ için,

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = 1,311 - 3,022\bar{K}_T + 3,427\bar{K}_T^2 - 1,821\bar{K}_T^3 \quad (2.9)$$

\bar{R} : Aylık ortalama toplam ışınım eğim faktörü Denklem (2.10) ile hesaplanır.

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_t}{\bar{H}} = \left(1 - \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}\right) \bar{R}_B + \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right] + \rho_G \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2}\right] \quad (2.10)$$

Burada;

ρ_G : Yeryüzü aklık derecesi [0,2]

\bar{H}_t : Kolektör birim yüzeyine gelen aylık ortalama ışınım,

$$\bar{H}_t = \bar{R} \times \bar{H} \quad (2.11)$$

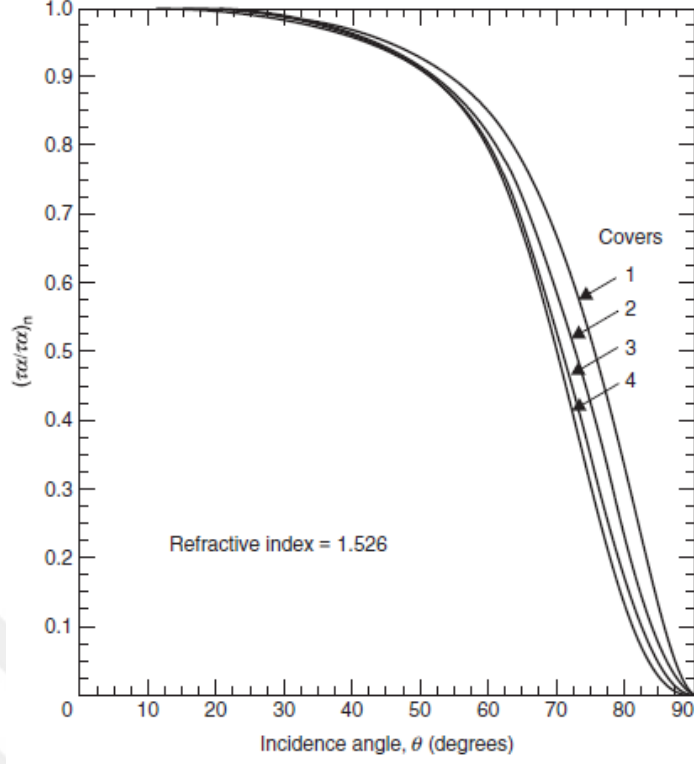
Tüm aylar için bulunan sonuçlar Çizelge 2.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.17 : Aylara göre hesaplanan ışınım hesapları (3).

Aylar	\bar{R}_B	\bar{K}_T	$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}$	\bar{R}	\bar{H}_t
Ocak	1,74	0,40	0,50	1,36	9,59
Şubat	1,49	0,39	0,51	1,23	10,99
Mart	1,26	0,42	0,51	1,11	13,53
Nisan	1,07	0,44	0,49	1,02	15,88
Mayıs	0,95	0,47	0,46	0,96	17,81
Haziran	0,90	0,49	0,43	0,93	19,15
Temmuz	0,92	0,51	0,42	0,94	19,52
Ağustos	1,01	0,52	0,41	1,00	19,11
Eylül	1,18	0,50	0,43	1,09	17,15
Ekim	1,41	0,46	0,47	1,20	13,66
Kasım	1,67	0,45	0,45	1,36	11,43
Aralık	1,83	0,39	0,51	1,39	8,84

2.6.3 Aylık ortalama yutma-geçirme çarpımı hesabı

$(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$ değerini hesaplamak için Kalogirou (2014) tarafından verilen Şekil 2.2’deki grafikten faydalanılır.



Şekil 2.2 : $(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$ grafiği.

Bu maksatla direkt, difüz ve yansıyan ışınım bileşenleri için aylık ortalama efektif geliş açıları belirlenmelidir. Difüz ve yansıyan ışınımlar için efektif geliş açıları aşağıdaki formüllerle hesaplanır (Brandemuehl ve Bechman, 1980).

$$\bar{\theta}_{e,D} = 59,68 - 0,1388\beta + 0,001497\beta^2 \quad (2.12)$$

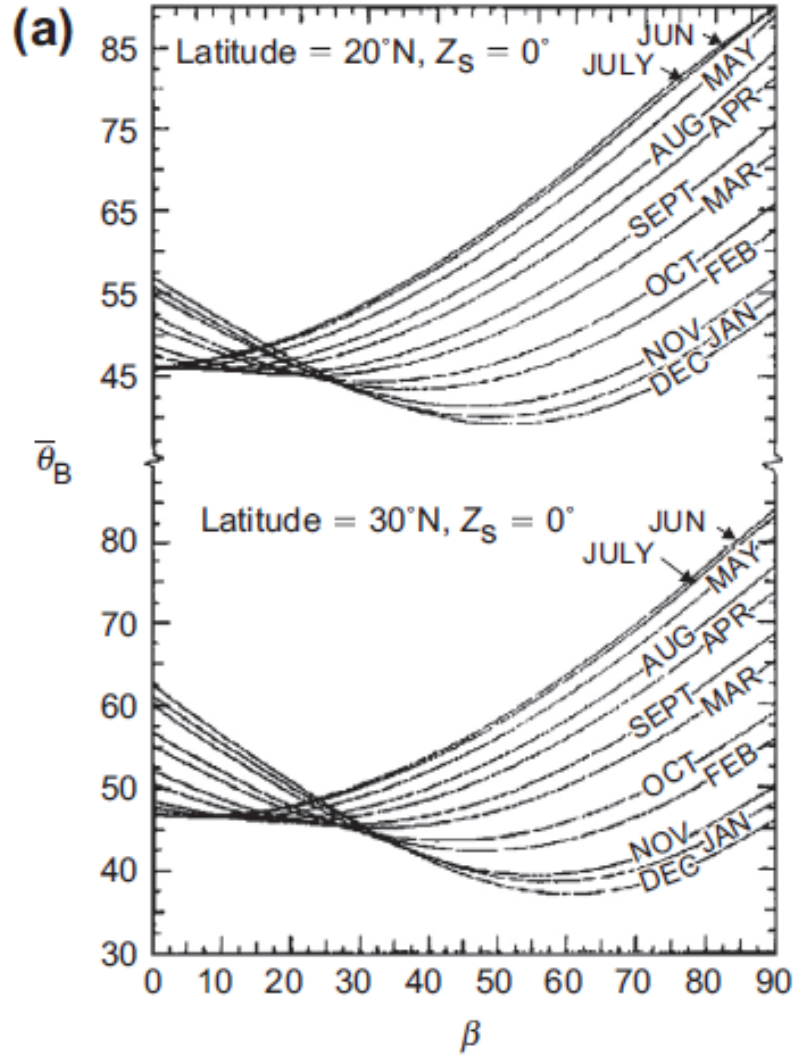
$$\bar{\theta}_{e,G} = 90 - 0,5788\beta + 0,002693\beta^2 \quad (2.13)$$

Deklem (2.12) ve (2.13)'den hesaplanan difüz ve yansıyan ışınımlar için efektif geliş açıları tüm aylar için sabittir, çünkü sadece kolektör eğim açısına bağlıdır. Buna göre Eşitlik (2.12) ve (2.13)'ten,

$$\bar{\theta}_{e,D} = 57^\circ \text{ ve } \bar{\theta}_{e,G} = 71^\circ$$

Olarak hesaplanmıştır.

Aylık ortalama direkt ışınım geliş açısı $\bar{\theta}_{e,B}$ değerlerini bulmak için ise Şekil 2.3'deki grafikten faydalanılır (Kalogirou, 2014).



Şekil 2.3 :Aylık ortalama direkt ışınlım geliş açısı grafiği.

Çift camlı kolektör yüzeyi için Şekil-2.2'den

$$(\overline{\tau\alpha})_D / (\tau\alpha)_n = 0,87$$

$$(\overline{\tau\alpha})_G / (\tau\alpha)_n = 0,57 \text{ olarak okunur.}$$

Çift camlı kolektörler için $(\tau\alpha)_n = 0,96$ alınırsa,

$$(\overline{\tau\alpha})_D = 0,96 \times 0,87 = 0,83$$

$$(\overline{\tau\alpha})_G = 0,96 \times 0,65 = 0,547$$

olarak hesaplanır.

Şekil 2.3'ten okunan aylık $\bar{\theta}_{e,B}$ değerlerine göre Şekil 2.2'den $(\overline{\tau\alpha})_B / (\tau\alpha)_n$ değerleri okunmuş ve $(\overline{\tau\alpha})_B$ benzer şekilde hesaplanmıştır.

Tüm aylar için bulunan değerler Çizelge 2.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.18 : Aylara göre hesaplanan ışınlım değerleri (4).

Aylar	$\theta_{e',B}$	$\theta_{e',D}$	$\theta_{e',G}$	$(\overline{\tau\alpha})_D /$ $(\tau\alpha)_n$	$(\overline{\tau\alpha})_G /$ $(\tau\alpha)_n$	$(\overline{\tau\alpha})_D$	$(\overline{\tau\alpha})_G$	$(\overline{\tau\alpha})_B /$ $(\tau\alpha)_n$	$(\overline{\tau\alpha})_B$
Ocak	40	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,96	0,92
Şubat	42	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,96	0,92
Mart	44	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,95	0,91
Nisan	47	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,93	0,89
Mayıs	50	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,92	0,88
Haziran	51	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,91	0,87
Temmuz	51	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,91	0,87
Ağustos	49	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,92	0,88
Eylül	46	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,93	0,89
Ekim	43	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,95	0,91
Kasım	40	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,96	0,92
Aralık	40	57,14	77,21	0,87	0,65	0,84	0,55	0,96	0,92

Yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük difüz ve direk ışınlımı aşağıdaki formüllerle hesaplanır,

$$\overline{H}_D = \overline{H} \frac{\overline{H}_D}{\overline{H}} \quad (2.14)$$

$$\overline{H}_B = \overline{H} - \overline{H}_D \quad (2.15)$$

Burada;

\overline{H}_D : Aylık ortalama günlük difüz ışınlım [MJ/m²]

\overline{H}_B : Aylık ortalama günlük direkt ışınlım [MJ/m²]

olarak tanımlanmıştır.

Kolektör yutucu yüzeyi tarafından yutulan aylık ortalama ışınlım \overline{S} aşağıdaki eşitlikten hesaplanır,

$$\overline{S} = \overline{H}_B \overline{R}_B (\overline{\tau\alpha})_B + \overline{H}_D (\overline{\tau\alpha})_D \left[\frac{1+\cos(\beta)}{2} \right] + \overline{H} \rho_G (\overline{\tau\alpha})_G \left[\frac{1-\cos(\beta)}{2} \right] \quad (2.16)$$

Aylık ortalama yutma-geçirme çarpımı aşağıdaki eşitlikten hesaplanır,

$$(\overline{\tau\alpha}) = \frac{\overline{S}}{\overline{H}_t} \quad (2.17)$$

Tüm aylar için hesaplanan değerler Çizelge 2.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.19 : Aylara göre hesaplanan ışınım değerleri (5).

Aylar	\bar{H}_D	\bar{H}_B	\bar{S}	$(\tau\alpha)$
Ocak	3,54	3,53	8,52	0,89
Şubat	4,56	4,40	9,72	0,88
Mart	6,25	5,93	11,84	0,87
Nisan	7,65	7,92	13,71	0,86
Mayıs	8,58	10,00	15,28	0,86
Haziran	8,90	11,69	16,34	0,85
Temmuz	8,67	12,05	16,67	0,85
Ağustos	7,91	11,26	16,46	0,86
Eylül	6,72	9,02	14,89	0,87
Ekim	5,29	6,05	12,03	0,88
Kasım	3,75	4,66	10,19	0,89
Aralık	3,25	3,11	7,86	0,89

Buraya kadar yapılan hesaplar coğrafi bölgeye göre yapılan ışınım hesaplarıdır. Bundan sonraki kısımda kullanılan güneş kolektörlerinin özellikleri, binanın ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu için gerekli enerji ihtiyacının da hesaba katıldığı Ø-f chart metoduyla aylık faydalanma oranları ve yıllık faydalanma oranları hesaplanacaktır.

Ø-f chart yöntemi güneş destekli ısı sistemlerinin performansının incelenmesi için geliştirilmiş kullanışlı bir yöntemdir.

2.6.4 Ø-f chart hesapları

r_n : Gün Öğlesinde Saatlik Toplam Işınımın Günlük Toplam Işınımına Oranı,

$$r_n = \frac{\pi}{24} [a + b \cos(h)] \frac{\cos(h) - \cos(h_{SS})}{\sin(h_{SS}) - \left(\frac{2\pi h_{SS}}{360}\right) \cos(h_{SS})} \quad (2.18)$$

Burada a ve b katsayıları aşağıdaki korelasyonlarla hesaplanır,

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(h_{SS} - 60) \quad (2.19)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin(h_{SS} - 60) \quad (2.20)$$

$r_{d,n}$: Gün Öğlesinde Saatlik difüz ışınımın günlük difüz ışınımına oranı

$$r_{d,n} = \frac{\pi}{24} \frac{\cos(h) - \cos(h_{SS})}{\sin(h_{SS}) - \left(\frac{2\pi h_{SS}}{360}\right) \cos(h_{SS})} \quad (2.21)$$

Burada;

h_{ss} : Gün batımı saat açısı ($^{\circ}$)

h : Gün öğlesinde derece cinsinden saat açısı (0°)

$R_{B,n}$ Gün öğlesinde ortalama direkt ışınım eğim faktörü olarak tanımlanmıştır ve aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$R_{B,n} = \frac{\sin(\phi-\beta)\times\sin(\delta)+\cos(-\beta)\times\cos(\delta)\times\cos(h)}{\sin(\phi)\times\sin(\delta)+\cos(\phi)\times\cos(\delta)\times\cos(h)} \quad (2.22)$$

Bulunan tüm sonuçlar Çizelge 2.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.20 : Aylara göre hesaplanan ışınım değerleri (6).

Aylar	δ	h_{ss}	a	b	r_n	$r_{d,n}$	$R_{B,n}$
Ocak	-20,92	73,90	0,53	0,55	0,17	0,16	1,56
Şubat	-13,29	80,13	0,58	0,49	0,16	0,15	1,39
Mart	-2,42	88,24	0,65	0,44	0,14	0,13	1,24
Nisan	9,41	96,91	0,71	0,37	0,13	0,12	1,12
Mayıs	18,79	104,29	0,76	0,33	0,13	0,12	1,04
Haziran	23,09	108,02	0,78	0,31	0,12	0,11	1,00
Temmuz	21,18	106,33	0,77	0,32	0,12	0,11	1,02
Ağustos	13,45	99,99	0,73	0,35	0,13	0,12	1,08
Eylül	2,22	91,61	0,67	0,41	0,14	0,13	1,19
Ekim	-9,6	82,95	0,60	0,48	0,15	0,14	1,34
Kasım	-18,91	75,61	0,54	0,53	0,17	0,15	1,51
Aralık	-23,05	72,02	0,51	0,56	0,17	0,16	1,61

Bir ayın ortalama gününde gün öğlesinde kolektör yüzeyine gelen anlık ışınımın yataya gelen anlık ışınımına oranı için (2.23) eşitliğinden yararlanılır.

$$R_n = \left(\frac{I_t}{I}\right)_n = \left(1 - \frac{r_{d,n}H_D}{r_n H}\right) R_{B,n} + \left(\frac{r_{d,n}H_D}{r_n H}\right) \left[\frac{1+\cos(\beta)}{2}\right] + \rho_G \left[\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right] \quad (2.23)$$

Denklem (2.23)'deki $\frac{H_D}{H}$ oranı aşağıdaki korelasyonlarla hesaplanır,

$$h_{ss} \leq 81,4^{\circ};$$

$$\frac{H_D}{H} = \begin{cases} 1 - 0,2727K_T + 2,449K_T^2 - 11,95K_T^3 + 9,3879K_T^4 & K_T < 0,722 \\ 0,143 & K_T \geq 0,722 \end{cases} \quad (2.24)$$

$$h_{ss} > 81,4^\circ;$$

$$\frac{H_D}{H} = \begin{cases} 1 + 0,2832K_T - 2,5557K_T^2 + 0,8448K_T^3 & KT < 0,722 \\ 0,175 & KT \geq 0,722 \end{cases} \quad (2.25)$$

Burada R_n günlük toplam ışınımın aylık ortalama günlük toplam ışınımına eşit olduğu gün için, yani $H = \bar{H}$ için hesaplandığına dikkat edilmelidir, dolayısıyla Denklem (2.24) ve (2.25)' de $K_T = \bar{K}_T$ alınmalıdır.

Tüm aylar için bulunan sonuçlar Çizelge 2.21 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.21 : Aylara göre hesaplanan ışınım değerleri (7).

Aylar	$\frac{H_D}{H}$	R_n
Ocak	0,76	1,14
Şubat	0,77	1,09
Mart	0,73	1,06
Nisan	0,71	1,02
Mayıs	0,66	1,00
Haziran	0,62	0,98
Temmuz	0,59	0,99
Ağustos	0,58	1,02
Eylül	0,61	1,07
Ekim	0,67	1,11
Kasım	0,68	1,17
Aralık	0,77	1,15

Aylık ortalama kritik radyasyon oranı;

$$\bar{X}_{c,min} = \frac{\frac{F_R U_L (T_{min} - \bar{T}_a)}{F_R (\tau \alpha)_n}}{r_n R_n \bar{K}_T \bar{H}_0} = \frac{\frac{F_R U_L (T_{min} - \bar{T}_a)}{F_R (\tau \alpha)_n (\tau \alpha)_n}}{r_n R_n \bar{K}_T \bar{H}_0} \quad (2.26)$$

Burada;

$F_R U_L$, Kolektör verim eğrisinin eğimidir.

Proje hesaplarında kullanılacak olan kolektörlere ait verim parametreleri aşağıdaki gibidir;

$F_R U_L$: 1,334 (W/m² °C)

$F_R (\tau \alpha)_n$: 0,481

Aylara göre T_{min} sırasıyla;

$T_{\min} = [45^{\circ}\text{C}, 45^{\circ}\text{C}, 45^{\circ}\text{C}, 45^{\circ}\text{C}, 45^{\circ}\text{C}, 80^{\circ}\text{C}, 80^{\circ}\text{C}, 80^{\circ}\text{C}, 80^{\circ}\text{C}, 45^{\circ}\text{C}, 45^{\circ}\text{C}, 45^{\circ}\text{C}]$ olarak alınmıştır. Kış aylarında döşemeden ısıtma sistemi ve tüketim amaçlı sıcak su için 45°C yeterlidir, yaz aylarında absorpsiyonlu soğutma ünitesi için 80°C kaynak sıcaklığı hedeflenmiştir.

$$A = 2,943 - 9,271\bar{K}_T + 4,031\bar{K}_T^2 \quad (2.27)$$

$$B = -4,345 + 8,853\bar{K}_T - 3,602\bar{K}_T^2 \quad (2.28)$$

$$C = -0,170 - 0,306\bar{K}_T + 2,936\bar{K}_T^2 \quad (2.29)$$

$\bar{\Phi}$: Günlük Kullanılabilirlik Katsayısı

$$\bar{\Phi}_{max} = \exp \left\{ \left[A + B \left(\frac{R_n}{R} \right) \right] [\bar{X}_c + C\bar{X}_c^2] \right\} \quad (2.30)$$

Kullanım sıcak suyu yükü, ısıtma yükü ve soğutma yükleri yukarıda hesaplanmıştır.

L_t : Aylık Toplam yük [GJ]

$$L_t = L_w + L_h + L_c \quad (2.31)$$

$$\bar{\Phi}_{max} Y = \bar{\Phi}_{max} \frac{A_c F_R (\bar{\tau}\bar{\alpha}) N \bar{H}_t}{L_t} \quad (2.32)$$

Burada;

A_c : Toplam kolektör alanı [m^2]

olarak tanımlanmıştır.

$$\bar{\Phi}_{max} Y = \bar{\Phi}_{max} \frac{A_c F_R (\bar{\tau}\bar{\alpha}) N \bar{H}_t}{L_t} = \bar{\Phi}_{max} \frac{A_c F_R (\bar{\tau}\bar{\alpha}) \frac{(\bar{\tau}\bar{\alpha})}{(\bar{\tau}\bar{\alpha})_n} N \bar{H} \bar{R}}{L_t} \quad (2.33)$$

Burada;

A_c : 125 m^2 olarak seçilmiştir.

$$X' = \frac{A_c F_R U_L (100) \Delta t}{L_t} \quad (2.34)$$

Burada Y ve X' ifadeleri Φ -f chart yönteminde kullanılan boyutsuz parametrelerdir.

Yukarıda bahsedilen formüller tüm aylar için ayrı ayrı uygulanmıştır. Çıkan sonuçlar tablo haline getirilmiştir.

Tüm aylar için bulunan değerler Çizelge 2.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.22 : Aylara göre hesaplanan ışınlım hesapları (8).

Aylar	$\bar{X}_{c,min}$	A	B	C	L_t	$\bar{\Phi}_{max}$	$\bar{\Phi}_{max}Y$	X'
Ocak	0,28	-0,12	-1,38	0,18	25,73	0,69	0,44	1,74
Şubat	0,24	-0,08	-1,42	0,16	18,09	0,71	0,67	2,23
Mart	0,19	-0,22	-1,28	0,21	12,34	0,75	1,40	3,62
Nisan	0,15	-0,34	-1,16	0,26	2,28	0,79	8,92	18,97
Mayıs	0,12	-0,50	-1,01	0,32	9,52	0,83	2,57	4,69
Haziran	0,25	-0,66	-0,85	0,40	51,53	0,65	0,39	0,84
Temmuz	0,23	-0,73	-0,77	0,44	98,55	0,68	0,22	0,45
Ağustos	0,23	-0,76	-0,74	0,45	105,22	0,68	0,21	0,42
Eylül	0,26	-0,69	-0,82	0,41	58,10	0,65	0,31	0,74
Ekim	0,14	-0,47	-1,03	0,31	9,30	0,81	2,03	4,80
Kasım	0,19	-0,39	-1,11	0,28	4,88	0,76	2,97	8,85
Aralık	0,28	-0,07	-1,43	0,16	19,56	0,69	0,54	2,28

Aylık faydalanma oranı için denklem (2.35)’den yararlanılır.

$$f = \bar{\Phi}_{max}Y - 0,015[\exp(3,85f) - 1][1 - \exp(-0,15X')]R_s^{0,76} \quad (2.35)$$

$$R_s = \frac{350}{\frac{MC_p}{A_c}} \quad (2.36)$$

Burada;

f : Aylık faydalanma oranı

R_s : toplayıcı birim alan başına standart ısı depolama kapasitesi

M : Depo kapasitesi (kg)

olarak tanımlanmıştır.

Depo kapasitesi ortalama olarak kolektör birim alanı başına 70 lt. alınarak 8750 kg. kabul edilmiştir.

Burada eşitliğin her iki tarafı da f değişkenine bağlı olduğu için iterasyon yapılarak sonuca yaklaştırmaya çalışılmıştır. Yapılan iterasyon işleminde ilk tahmini değer atanarak işlemler tekrar edilmiş ve sonuca yakınsanmıştır. Nisan, Mayıs, Ekim ve Kasım aylarında bulunan f değeri 1’den büyük hesaplanmıştır. Faydalanma oranı 1’den büyük olan bu aylar için f değeri 1 olarak alınmıştır.

Tüm aylar için bulunan sonuçlar Çizelge 2.23’te gösterilmiştir.

Çizelge 2.23 : Aylara göre hesaplanan faydalanma oranları.

Aylar	f
Ocak	0,43
Şubat	0,62
Mart	1,00
Nisan	1,00
Mayıs	1,00
Haziran	0,38
Temmuz	0,22
Ağustos	0,21
Eylül	0,31
Ekim	1,00
Kasım	1,00
Aralık	0,51

Yıllık faydalanma oranı (F) değerini hesaplamak için denklem (2.37) kullanılır.

F: Yıllık Faydalanma Oranı

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{L_i} \quad (2.37)$$

$$F = \frac{0,43 \times 25,73 + 0,62 \times 18,09 + \dots + 0,51 \times 19,56}{25,73 + 18,09 + \dots + 19,56} = \frac{151,21}{415,1} = 0,36$$

olarak hesaplanmıştır.

Soğutma aylarında (mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül, ekim) faydalanma oranı,

$$F_y = \frac{1 \times 8,53 + 0,38 \times 50,72 + \dots + 1 \times 8,53}{8,53 + 50,72 + \dots + 8,53} = \frac{99,67}{332,22} = 0,30$$

olarak hesaplanmıştır.

Isıtma aylarında (ocak, şubat, mart, kasım, aralık) faydalanma oranı,

$$F_k = \frac{0,43 \times 24,52 + 0,62 \times 16,96 + \dots + 0,51 \times 18,47}{24,52 + 16,96 + \dots + 8,53} = \frac{51,6}{82,87} = 0,62$$

olarak hesaplanmıştır.

Görülüyor ki 125 m²'lik bir kolektör yüzey alanıyla örnek mimarinin yaz aylarında soğutma yükü ve kullanım sıcak suyu yükü %30 oranında, kış aylarında ısıtma yükü ve kullanım sıcak suyu yükü %62 oranında güneşten karşılanmaktadır. Yıl boyu karşılama oranına bakılacak olursa örnek evin tüm ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu yükünün %36'sı güneş tarafından karşılanmaktadır.

2.7 Amortisman Hesabı

Tasarlanan güneş enerjisi destekli ısıtma ve absorpsiyonlu soğutma sisteminin geleneksel sistemlere göre kurulum maliyeti daha yüksektir. Ancak bu sistemin işletim maliyetinde sağladığı fayda oldukça yüksektir. Yapılan ilk yatırım maliyetinin geleneksel sistemlere göre geri dönüş süresi hesaplanacaktır.

İlk olarak geleneksel ısıtma-soğutma sistemleri ve güneş enerjisi destekli ısıtma-soğutma sisteminin ilk yatırım maliyetleri arasındaki yatırım farkı hesaplanmalıdır. Geleneksel sistem olarak binanın ısıtma ve sıcak su ihtiyacının doğalgaz yakıtlı yoğunmalı kombi-yerden ısıtma-boylar, soğutma ihtiyacının da duvar tipi split klimalarla sağlandığı kabul edilmiştir. Geleneksel sistem ve güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu ısıtma ve soğutma sistemi için gerekli ilk yatırım maliyetleri Çizelge 2.24'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.24 : Klasik sistem ve güneş absorpsiyonlu sistem yatırım maliyetleri.

İş Kalemi	Stand. Sist.	Abs. Sist.	Birim	Birim Maliyet (TL)	Stand. Top. Maliyet (TL)	Abs. Top. Maliyet (TL)
Yoğ. Kombi 24 kW	1	1	Ad.	4.634,00	4.634,00	4.634,00
Güneş Kolektör Seti	0	125	M ²	1.134,00	0	141.750,00
Güneş Abs. Soğutma Grubu 40 kW	0	1	Gr.	264.000,00	0	264.000,00
Soğutma Sirkülasyon Pomp. 6 m ³ /h-7 mSS	0	2	Ad.	1.840,86	0	3.681,72
Borulama	1	1	Gr.	-	1.300,00	1.950,00
Vanalar	1	1	Gr.	-	650,00	1.300,00
İzolasyon	1	1	Gr.	-	585,00	1.040,00
Yerd. Isıtma Borusu Ø16x2 mm.	3000	3000	Mt.	4,29	12.858,30	12.858,30
İzolasyon Bandı	3000	3000	Mt.	1,69	5.070,00	5.070,00
Strafor	600	600	M ²	20,80	12.480,00	12.480,00
Kolektör Seti	7	7	Gr.	692,71	4.849,00	4.849,00
Yer Tipi F.coil 2,7 kW	0	6	Ad.	1.914,41	0	11.486,48
Yer Tipi F.coil 3,4 kW	0	7	Ad.	1.982,00	0	13.874,00
9.000 BTU/H Duvar Tipi Split Klima	6	0	Ad.	3.221,36	19.328,14	0
12.000 BTU/H Duvar Tipi Split Klima	7	0	Ad.	3.567,84	24.974,87	0
İşçilik	1	1	Gr.	-	7.150,00	9.100,00
Kaynaklı İmalat İşleri	100	150	Kg.	9,10 TL	910,00	1.365,00
Toplam					94.789,00 TL	489.400,00 TL

Geleneksel sistemlerle kurulacak olan ısıtma-soğutma sistemi için yatırım maliyeti 94.789,00 TL olarak hesaplanırken, güneş absorpsiyonlu ısıtma-soğutma sisteminin yatırım maliyeti 489.400,00 TL olarak hesaplanmıştır. Bu sistem için 394.611,00 TL fazladan yatırım yapılması gerekmektedir.

Geleneksel sistemin ve tasarlanan sistemin işletim maliyetleri hesaplanmış ve sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

2.7.1 Doğalgaz işletim maliyeti

Geleneksel sistemde ödenecek doğalgaz faturasını hesaplamak için daha önce hesaplanan toplam ısıtma ve sıcak su yıllık yük değerini karşılamak için tüketilmesi gereken doğalgaz tüketimi (m^3) bulunur. Yapılan hesaplamalar aşağıda anlatılmıştır.

$$Q_g = L_{hw}/\eta_k \times Q_d \quad (2.38)$$

Burada;

Q_g : Tüketilen toplam doğalgaz debisi [m^3]

Q_d : Doğalgaz fiili üst ısıl değer = 37,3 MJ/ m^3

η_k : Kombi verimi = 0,90

L_{hw} : Toplam ısıtma ve sıcak su enerji ihtiyacı = 87,46 GJ/yıl

olarak tanımlanmıştır.

$Q_g = (87,46 \times 10^6) / (0,9 \times 37,3 \times 10^3) = 2605 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

Gaz dağıtım şirketi doğalgaz birim fiyatı = 1,27 TL/ m^3

$T_{d,k}$: Klasik sistem toplam doğalgaz işletim maliyeti [TL]

$T_{d,k} = 2605 \times 1,27 = 3.308,35$ TL olarak hesaplanmıştır.

Alternatif güneş enerjisi ve absorpsiyonlu ısıtma-soğutma sisteminde faydalanma oranı 1'den küçük olduğu için kış aylarında ısıtma ve yaz aylarında absorpsiyonlu sistemin jeneratöre giren akışkana ısı vermek için doğalgaz işletim maliyeti olacaktır.

Alternatif sistemin doğalgaz işletim maliyeti hesapları aşağıda gösterilmiştir.

Isıtma sistemi faydalanma oranı %62 olduğundan %38'lik ısıtma ihtiyacı doğalgazdan karşılanacaktır.

Alternatif sistemin doğalgaz işletim kapasitesi,

$$Q_{g,alt} = (87,46 \times 10^6 \times 0,38) / (0,9 \times 37,3 \times 10^3) = 989,9 \text{ m}^3 \text{ olarak bulunur.}$$

Soğutma sisteminin karşılama oranı %30 olduğundan %70'lik soğutma ihtiyacı doğalgazla karşılanacaktır.

$$\text{Tüketilen gaz debisi} = (327,65 \times 10^6 \times 0,7) / (0,9 \times 37,3 \times 10^3) = 6832,15 \text{ m}^3$$

$$\text{Toplam tüketilen gaz debisi} = 989,9 + 6832,1 = 7822 \text{ m}^3$$

$T_{d,a}$: Alternatif sistem toplam doğalgaz işletim maliyeti [TL]

$$T_{d,a} = 7822 \times 1,27 = 9.934,00 \text{ TL olarak hesaplanmıştır.}$$

2.7.2 Elektrik işletim maliyeti

Örnek binanın geleneksel sistemle soğutulması için 6 adet 9.000 BTU/h ve 7 adet 12.000 BTU/h kapasitelerinde split klimalar seçilerek yıllık elektrik tüketimi hesaplanmıştır.

$$L_{c,b,top} = 229,35 \text{ GJ/yıl}$$

$$1 \text{ kWh} = 3.600.000 \text{ joule}$$

$$1 \text{ GJ} = 277,78 \text{ kWh}$$

$$229,35 \text{ GJ} = 63.708,84 \text{ kWh}$$

Antalya elektrik dağıtım şirketinin 3 zamanlı fiyat tarifesine göre fiyatlar Çizelge 2.25'de gösterilmiştir. Soğutma yükü gündüz vakitlerinde pik yaptığından klima kullanımının zaman dilimlerine göre yüzdesi aşağıdaki gibi öngörülmüştür.

Çizelge 2.25 : Elektrik fiyat tarifesi.

Birim Fiyat (TL/kWh)	Gündüz	Puant	Gece
Tarife Grubu: Üç Zamanlı	06:00-17:00	17:00-22:00	22:00-06:00
Mesken	0,4463	0,6769	0,2797
Ticarethane	0,4501	0,6807	0,2835

Kullanım oranları, gündüzde %50, puantta %25, gecede %25 olarak öngörülmüştür.

Ortalama birim fiyat, $0,44 \times 0,5 + 0,68 \times 0,25 + 0,28 \times 0,25 = 0,46 \text{ TL/kWh}$ olarak hesaplanır.

Yaklaşık %27 oranında kullanım bedeline ilave KDV, elektrik tüketim vergisi, enerji fonu, dağıtım bedeli ve TRT payı eklenirse elektrik birim fiyatı yaklaşık olarak;

$0,46 \times (1 + 0,27) = 0,58$ TL/kWh olarak bulunur.

Klimalar için COP değeri ortalama 2,5 olarak kabul edilerek hesaplarda kullanılmıştır.

$T_{s,k}$: Klasik sistem toplam soğutma sistemi işletim maliyeti [TL]

$T_{s,k} = (63.708,84/2.5) \times 0,58 = 14.780,45$ TL olarak bulunur.

Yıllık toplam enerji tasarrufu miktarı (2.39) numaralı denklemlerle bulunur.

$$T_e = T_{s,k} + T_{d,k} - T_{d,a} \quad (2.39)$$

$T_e = 14.780,45 + 3.308,35 - 9.934,00 = 8.154,80$ TL olarak hesaplanmıştır.

Bulunan sonuçlar aşağıdaki Çizelge 2.26'da özetlenmiştir.

Çizelge 2.26 : Hesaplanan yatırım ve tasarruf miktarı sonuçları.

Geleneksel Sistem Yatırım Maliyeti	Abs. Sistem Yatırım Maliyeti	Yatırım Farkı	Yıllık Enerji Tasarrufu (TL/yıl)
94.789,00 TL	489.400,00 TL	394.611,00 TL	8.154,80 TL/yıl

2.7.3 Yatırım geri dönüş hesabı

394.611,00 TL tutarındaki fazladan yatırımın enerji verimliliği projelerine yönelik verilen uzun vadeli ve düşük faizli kredilendirme sistemiyle nakit olarak temin edildiği varsayımıyla P1,P2 metoduna göre amortisman hesabı yapılmıştır.

Yapılan fazladan yatırım: 394.611,00 TL

1.yıl enerji tasarrufu: 8.154,80 TL

Kredi faiz oranı (d_m) : %7,93

Reeskont oranı (d) : %18,75

Kredi yılı (n_L) : 7

Yakıt maliyeti artış oranı yıllık enflasyona (i) eşit alınmıştır (%29)

Peşinat oranı : %20

Sistem ömrü: 20 yıl

$$PWF(n_L, 0, d_m) = \frac{1}{d_m} \left[1 - \left(\frac{1}{1+d_m} \right)^{n_L} \right] \quad (2.40)$$

$$Yıllık periyodik ödeme = \frac{M}{PWF(n_L, 0, d_m)} \quad (2.41)$$

M = Kredi miktarı = Yapılan fazladan yatırım × (1-peşinat oranı)

Yıllık periyodik ödeme ilk 2 yıl ödemesiz son 5 yıl geri ödemelidir ve ilk ödeme 3. yıldan itibaren başlayacaktır. Yakıt tasarrufu 1. Yıl 8.154,80 TL'dir ve her yıl enflasyon oranınca artacaktır.

Yapılan fazladan yatırımın tamamı kredilendirilebileceği gibi bir kısmı peşinat olarak verilerek kalan kısım kredilendirilebilir. Çalışmada fazladan yatırımın %20'sinin peşinat olarak, %80'inin de krediyle karşılanması hedeflenmektedir.

$$Peşinat miktarı = Yatırım miktarı \times Pesinat oranı \quad (2.42)$$

Peşinat miktarı = 394.611,00 × 0,20 = 78.922,20 TL olarak bulunur.

Güneşten elde edilen yıllık toplam tasarrufu hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır.

$$Güneş tasarrufu = T_e - Yıllık periyodik ödeme \quad (2.43)$$

Burada,

T_e : Yakıt tasarrufudur.

Güneşten elde edilen tasarruf her yıl için gider ve tasarrufların toplamı olarak bulunmaktadır. Her yıl için bu değer enflasyon ve faiz oranlarına göre farklılık göstermektedir. Elde edilen tasarrufun bugünkü değerini hesaplamak için kullanılan eşitlik şu şekildedir;

$$Güneş tasarrufu güncel değer = \sum_{n=1}^n \frac{Güneş tasarrufu}{(1+d)^n} \quad (2.44)$$

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 2.27'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.27 : Amortisman hesabı özet sonuçları (1).

Yıllar	Periyodik Ödeme (TL)	Yakıt Tasarrufu (TL)	Güneş Tasarrufu (TL)	Güneş Tasarrufunun Şimdiki Değeri (TL)
0	-	-	-78.922,20 ₺	-78.922,20 ₺
1	0,00 ₺	8.154,80 ₺	8.154,80 ₺	6.881,69 ₺
2	0,00 ₺	10.567,81 ₺	10.567,81 ₺	7.525,72 ₺
3	-78.920,48 ₺	13.694,82 ₺	-65.225,66 ₺	-39.197,96 ₺
4	-78.920,48 ₺	17.747,12 ₺	-61.173,36 ₺	-31.023,37 ₺
5	-78.920,48 ₺	22.998,49 ₺	-55.921,99 ₺	-23.932,66 ₺
6	-78.920,48 ₺	29.803,74 ₺	-49.116,74 ₺	-17.738,60 ₺
7	-78.920,48 ₺	38.622,67 ₺	-40.297,81 ₺	-12.281,55 ₺
8	0,00 ₺	50.051,11 ₺	50.051,11 ₺	12.872,62 ₺
9	0,00 ₺	64.861,24 ₺	64.861,24 ₺	14.077,32 ₺
10	0,00 ₺	84.053,68 ₺	84.053,68 ₺	15.394,77 ₺
11	0,00 ₺	108.925,16 ₺	108.925,16 ₺	16.835,51 ₺
12	0,00 ₺	141.156,12 ₺	141.156,12 ₺	18.411,09 ₺
13	0,00 ₺	182.924,21 ₺	182.924,21 ₺	20.134,12 ₺
14	0,00 ₺	237.051,49 ₺	237.051,49 ₺	22.018,40 ₺
15	0,00 ₺	307.195,02 ₺	307.195,02 ₺	24.079,03 ₺
16	0,00 ₺	398.094,03 ₺	398.094,03 ₺	26.332,50 ₺
17	0,00 ₺	515.890,05 ₺	515.890,05 ₺	28.796,86 ₺
18	0,00 ₺	668.541,92 ₺	668.541,92 ₺	31.491,86 ₺
19	0,00 ₺	866.363,47 ₺	866.363,47 ₺	34.439,07 ₺
20	0,00 ₺	1.122.720,42 ₺	1.122.720,42 ₺	37.662,11 ₺

Sistemin ömrü boyunca çeşitli maliyetler ve tasarruflar hesaplanan değerler Çizelge 2.27’de görülmektedir. 0 yılı sadece peşinatı içermekte olup takip eden yıllar için elde edilen tasarruf değerleri olumlu (+), maliyet değerleri ise olumsuzdur (-).

Güneşten elde edilen tasarruf her yıl artmakla birlikte elde edilen değerlerin maddi karşılığı bugünkü değer için hesaplanmıştır.

$$\text{İlk Yıl Faiz ödemesi} = M \times \text{Faiz Oranı} (d_m) \quad (2.45)$$

$$\text{İlk Yıl Anapara Ödemesi} = \text{Periyodik Ödeme} - \text{Faiz Ödemesi} \quad (2.46)$$

$$\text{Denge Noktası} = M - \text{Anapara Ödemesi} \quad (2.46a)$$

Anapara ödemesi 2 yıl geri ödemesiz kredi kullanıldığından 3. Yıldan itibaren başlayacaktır dolayısıyla 1. ve 2. Yıllarda 0 olacaktır.

$$\text{Denge noktası}_{i+1} = \text{Denge Noktası}_i - \text{Anapara Ödemesi}_{i+1} \quad (2.47)$$

$$\text{Kümülatif Güneş Tasarrufu} = \sum_{i=0}^n \text{Güneş Tas. Şimdiki Değeri}_i \quad (2.48)$$

Bulunan tüm değerler Çizelge 2.28’de listelenmiştir.

Çizelge 2.28 : Amortisman hesabı özet sonuçları (2).

Yıllar	Faiz Ödemesi (TL)	Anapara Ödemesi (TL)	Denge Noktası (TL)	Kümülatif Güneş Tasarrufu (Bugünkü Değer) (TL)
0	0,00 ₺	0,00 ₺	315.688,80 ₺	-78.922,20 ₺
1	0,00 ₺	0,00 ₺	315.688,80 ₺	-72.040,51 ₺
2	0,00 ₺	0,00 ₺	315.688,80 ₺	-64.514,79 ₺
3	25.034,12 ₺	53.886,36 ₺	261.802,44 ₺	-103.712,75 ₺
4	20.760,93 ₺	58.159,55 ₺	203.642,90 ₺	-134.736,12 ₺
5	16.148,88 ₺	62.771,60 ₺	140.871,30 ₺	-158.668,77 ₺
6	11.171,09 ₺	67.749,39 ₺	73.121,91 ₺	-176.407,38 ₺
7	5.798,57 ₺	73.121,91 ₺	0,00 ₺	-188.688,92 ₺
8	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-175.816,30 ₺
9	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-161.738,98 ₺
10	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-146.344,21 ₺
11	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-129.508,70 ₺
12	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-111.097,61 ₺
13	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-90.963,49 ₺
14	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-68.945,09 ₺
15	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-44.866,06 ₺
16	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	-18.533,56 ₺
17	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	10.263,30 ₺
18	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	41.755,16 ₺
19	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	76.194,24 ₺
20	0,00 ₺	0,00 ₺	0,00 ₺	113.856,35 ₺

Sistem ömrü 20 yıl olarak öngörüldüğü için 20 yıllık tablo hazırlanmıştır. 20. yılın sonunda kümülatif güncel güneş tasarrufu 113.856,35 TL olarak hesaplanmıştır. Kümülatif tasarrufun pozitif geçtiği yıl amortisman süresidir. Buna göre sistemin amortismanı 16 yıldır.

Uzun vadeli kredilendirme uygulanmayıp peşin olarak yatırım yapılsaydı sistemin amortisman süresi yaklaşık olarak;

$$394.611,00/8.154,00 = 48,4 \text{ yıl olacaktır.}$$

Enerji verimliliğine yönelik düşük faizli kredilerden faydalandığında anapara üzerinden yapılan hesaplamada sistemin 8. Yılda pozitif geçtiğini görüyoruz. Faiz ödemeleri de göz önüne katıldığında sistemin 16. Yılda pozitif geçtiği görülmüştür. 20 yılda toplam enerji tasarrufu bugünkü değeriyle 113.856,35 TL olarak hesaplanmıştır.

Sistemin ithalata dayalı ürünlerden oluşması yatırım maliyetini yükselttiğinden amortisman süreleri güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu ısıtma ve soğutma sistemlerinde yüksek çıkmaktadır. Yapılan çalışmaya göre amortisman sürelerinin azaltılması için yatırım maliyetlerinin düşürülmesi, güneş kolektörlerinde verim artışının sağlanması, enerji verimliliğini destekleyici uzun vadeli ve düşük faizli kredilendirme sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Isıtma ve Soğutma Yüklerine Ait Bulgular

Materyal ve yöntem bölümünde hesap detayları verilen ısıtma ve soğutma yüklerine ait bazı bulgular ve değerlendirmeler yapılmıştır. Antalya iklim olarak Akdeniz iklimi etkisi altında bulunduğundan hesaplanan soğutma enerjisinin ısıtma enerjisinden yaklaşık olarak 3 kat daha büyük olduğu görülmüştür. Tasarım değerlerine bakılacak olursa ısı kazancı değeri ise ısı kaybı değerinin yaklaşık olarak 2 katı olduğu hesaplanmıştır. Faydalanma oranı toplam ısıtma, soğutma ve sıcak su yükü değerleri için direk çarpan olduğu için faydalanma oranının artırılması için ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması gerekmektedir. Bina yapı bileşenlerinin seçiminde U değeri daha düşük olan malzemeler kullanmak, iç ortam konfor sıcaklık değerlerini soğutma aylarında daha yüksek, kış aylarında daha düşük tutmak, alternatif hesap metodlarıyla enerji miktarlarını daha hassas hesaplamak amortisman süresini kısıltacaktır. Derece-gün sayısı metodunda enerji ihtiyacı hesaplanırken pik yük esas alınmaktadır. Bu nedenle enerji ihtiyacı olması gerekenden daha yüksek çıkmaktadır. Enerji ihtiyacının saatlik yöntemle göre enerji simülasyonu yapılarak hesaplanması daha düşük değerli sonuçlar vereceğinden hesap metodunun değiştirilmesi de amortisman süresini kısıltan bir diğer etken olacaktır.

3.2 Güneş Hesaplarına Ait Bulgular

36° kuzey enleminde bulunan Antalya bölgesinin ışınlam şiddeti Türkiye ortalamasının üstünde olan bir konumdadır. Bu sebeple soğutma yükünün ısıtma yükünün 3 katı olmasından dolayı faydalanma oranının da 3 katı düşük olması beklenebilir fakat yaz aylarında ışınlam şiddetinin yüksek mertebelerde olması ve kolektör eğim açısının 25° olması soğutma faydalanma oranının ısıtma faydalanma oranından 2 kat daha düşük olmasını sağlamıştır. Nisan ve mayıs aylarında faydalanma oranları 1'den büyük olmasına rağmen 1 alınmıştır. Bu aylarda güneşten ihtiyacın çok daha fazlası enerji

üretilmektedir. Nisan ve mayıs aylarında üretilen fazladan enerji depolama yöntemleriyle haziran ve temmuz aylarında kullanılabilirse faydalanma oranı artacaktır.

3.3 Amortisman Hesaplarına Ait Bulgular

Hesaplanan fazladan yatırım miktarı ve enerji tasarrufu değerleri ilk bakışta değerlendirildiğinde amortisman süresi çok uzun gibi görülmektedir (53,4 yıl). Ancak yatırım bedeline uzun vadeli ve düşük faizli kredilendirme uygulanıp detaylı hesaplar yapıldığında amortisman süresinin oldukça makul olduğu ve yatırımın 20 yıl sonunda kendisini ödedikten sonra bugünkü değeriyle yaklaşık 120.000,00 TL para kazandığı görülmüştür. Ülkemizde uygulanmakta olan AB destekli enerji verimliliği projelerine verilen düşük faizli kredilendirme sayesinde enflasyon oranı yüksek (%29) kredi faizi düşük (%8) olduğu için elde edilen tasarruf miktarı/ödenen kredi oranı her yıl artmaktadır. Bu oranın artışı yatırımın amortisman süresini kısaltmaktadır.

Tez boyunca bulunan kritik sonuçlar Çizelge 2.29'da özetlenmiştir.

Çizelge 2.29 : Genel sonuçlar özeti.

Parametreler	Sonuçlar
Coğrafi Konum	Antalya
Bina Ölçüsü (A)	700 m ²
UA Değeri	647,47 W/K
Isı Kaybı (Q _h)	20,50 kW
Isıtma Yüğü (L _h)	76,25 GJ/yıl
Sıcak Su Yüğü (L _w)	11,21 GJ/yıl
Isı Kazancı (Q _c)	40,30 kW
Soğutma Yüğü (L _c)	327,65 GJ/yıl
Soğutma Yüğü (L _{c,b})	229,35 GJ/yıl
Kolektör Açısı (β)	25°
Yaz Karşılama Oranı (F _{yaz})	0,30
Kış Karşılama Oranı (F _{kış})	0,62
Toplam Karşılama Oranı (F)	0,36
Ekstra Yatırım Maliyeti (TL)	394.611,00 TL
1.Yıl Yakıt Tasarrufu (TL)	8.154,80 TL
20 Yıllık Kümülatif Yakıt Tasarrufu	113.856,35 TL
Yatırımın (+)'ya Dönüş Yılı (Denge Noktası)	16. Yıl

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde enerji konusu her ülke için ilk sıralarda yer alan bir konudur. Ekonomik kalkınmışlık, üretebilme kabiliyeti ve temiz çevre direkt olarak enerjiyle ilişkilidir. Mahallerde tüketilen toplam enerjinin %60-70'i ısıtma ve soğutma sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Enerji tüketiminin azaltılmasının ve enerji üretiminin daha az maliyetle yapılmasının önemi oldukça artmış durumdadır. Bu kapsamda ısıtma ve soğutma sistemlerinde enerji verimliliği yüksek uygulamalar yapılması ve enerjinin yenilenebilir yöntemlerle üretilmesi çok önemlidir (BP Statistical Review of World Energy, 2018). Enerji tüketimini sıfıra indirmek mümkün olmasa da ihtiyaç olan tüm enerjiyi ücretsiz bir şekilde elde etmek mümkündür. Sıfır enerjili binalar veya yaklaşık sıfır enerjili bina olarak tanımlanan sistemlerde enerji tüketimi azaltılarak ihtiyaç enerjisinin yenilenebilir kaynaklarla elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Yapılan çalışmada Antalya ilinde bulunan bir villanın yıllık ısıtma enerjisi 76,25 GJ, yıllık soğutma enerjisi 229,35 GJ ve yıllık sıcak su enerjisi 11,21 GJ olarak hesaplanmıştır. Kıyaslama yapılması açısından geleneksel sistem olarak 24 kW yoğunlaşmalı kombi seçilmiş ve yerden ısıtma sistemi öngörülmüştür. Soğutma tesisatı olarak geleneksel sistemde 6 adet 9.000 btu/h duvar tipi split klima ve 7 adet 12.000 btu/h duvar tipi split klima kullanılacağı varsayılmıştır. Güneş destekli absorpsiyonlu sistemde ise 125 m² vakum tüplü güneş kolektörü, 40 kW absorpsiyonlu soğutma grubu, ısıtma tesisatı için yerden ısıtma, soğutma tesisatı için fan coil sistemi seçilmiştir. Toplam güneş faydalanma oranı hedefi 0,5 olarak hedeflenmiştir ve 125 m² güneş kolektörü alanıyla toplam faydalanma oranı 0,36 olarak hesaplanmıştır. Absorpsiyonlu sistem için fazladan 394.611,00 TL yatırım yapılması gerektiği hesaplanmıştır. Enerji verimliliği projeleri için verilen AB destekli düşük faizli kredilendirme sistemleri araştırılmıştır. Ülkemizde bulunan bir devlet bankasından örnek kredilendirme hesaplaması istenmiş ve 2 yıl ödemesiz, 5 yıl geri ödemeli yıllık faiz oranı %7,93 olacak şekilde hesaplama yapılmıştır. Güncel enflasyon oranı olarak %29 değeri hesaplarda kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sistemin faiz dâhil

16 yılda pozitive geçtiği ve 20 yıl sonunda yaklaşık 113.000,00 TL para kazandığı hesaplanmıştır.

Yapılan bu çalışmada açıkça görülüyor ki kurulan sistem ömrü dahilinde yatırım maliyetini çıkarmış ve sistem ömrünün sonunda para kazanmıştır. Üstelik mühendislik açısından çok daha konforlu ve komplike sistemler kullanılmış, karbon salınımı yaklaşık %36 azaltılarak çevre dostu bir uygulama yapılmıştır. Yapılan bu çalışmanın yenilenebilir enerji kaynakların maddi olarak sağladığı yararı açıkça vurgulaması göz önüne alınacak olursa ülkemizde bu uygulamaların gelişmesi açısından önemli kazanımlar elde edilecektir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarında kurulum maliyetlerinin yüksek olduğu düşüncesi yenilenebilir kaynaklara yapılan yatırımların yaygınlaşması önünde bir engeldir. Bu tip alternatif sistemlerin ilk yatırım maliyetlerini düşürmek için herşeyden önce yukarıda da belirtildiği gibi bina enerji simülasyonunun saatlik analiz metoduyla yapılması önerilir. Saatlik analiz metoduyla hesaplanacak olan enerji ihtiyaçlarını karşılayacak olan kolektör yüzey alanının daha düşük olacağı öngörülmektedir. Ayrıca ilk yatırım maliyetinde önemli bir yere sahip olan absorpsiyonlu soğutma ünitesi pik yükün tamamını değil belli bir kısmını karşılayacak şekilde seçilip geri kalan kısmı geleneksel soğutma sistemleriyle (split klima vb.) karşılanarak ilk yatırım maliyetleri düşürülebilir. Kurulacak hibrit sistemin termoeconomik analizi yapılarak geri ödeme süresi kısaltılabilir. Bu noktada hibrit sistemin tasarımı TRNSYS gibi saatlik analiz yapabilen enerji simülasyon programları kullanılarak daha hassas bir şekilde yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altuntop, N. & Erdemir, D.** (2013). Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisiyle İlgili Gelişmeler, *Mühendis ve Makina*, 54 (639), s. 69-77.
- Babadağlı, A.**, (2005). *Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Termoekonomik Optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Baran, A.** Alternatif Enerji Kaynakları. Erişim Adresi http://www.emo.org.tr/ekler/5b9dc004db52a78_ek.pdf.
- Brandemuehl, M.J., Beckman, W.A.**, (1979). Economic Evaluation and Optimization of Solar Heating Systems, *Solar Energy*, 23 (1), 1–10.
- Değirmencioglu, C. & İlken, Z. (anonim).** *Havalı Güneş Kolektörleri Üzerine Bir Literatür Araştırması ve Temel İlkeler*, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği.
- Erbs, D.G., Klein, S.A., Duffie, J.A.**, (1982). Estimation of diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly average global radiation, *Solar Energy*, 28 (4), 293–302.
- Erden, N.** (2011). *Güneş Enerjili Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Erkmen, F.İ., Gedik G.Z.** (2007). Örnek Bir Konutun Farklı Yöntemlerle Hesaplanan Soğutma Yüklerinin Karşılaştırması; Antalya ve Diyarbakır Örneği, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (11), 143-163.
- Işık, M.** (2007). *Güneş Enerjisi Destekli Mahal Isıtma Sisteminin Van İlinde Sağladığı Enerji Tasarrufunun İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Kalogirou, S.A.** (2014). *Solar Energy Engineering Processes and Systems*, Amerika Birleşik Devletleri.
- Kara, Y.A.** (2019). Kişisel Görüşme. Ocak-Haziran, Bursa, Türkiye.
- Köktürk, U.**, Sıhhi Tesisat Tekniğinde Su Tüketimi Hesabı. Erişim Adresi https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/ed33392d3a48aa1_ek.pdf.
- Krawczyk, D.** (2016). Analyses of Energy Consumption for Heating in a Residential House in Poland, *Energy Procedia*, (95) 216-222.
- Liepert, B.** (2002). Observed Reductions of Surface Solar Radiation at Sites in the United States and Worldwide from 1961 to 1990, *Geophysical Research Letters*, 29 (10), 1421.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü**, Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri. Erişim Adresi <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx>.

- Onan, C. & Özkan, D.** (2009). Güneş Enerjisi Destekli Soğutma Sistemleri ve Örnek Projenin Diğer Uygulamalarla Karşılaştırılması. Erişim Adresi http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/2c7ee4d08c6120c_ek.pdf?dergi=895.
- Öz, E.S., Özbaş, E., DüNDAR, R.** (2007). Vakum Tüplü Güneşli Su Isıtma Sistemi İle Standart Düz Kolektörlü Güneşli Su Isıtma Sistemlerinin Performans ve Verimlerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması, *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, (ss. 991-999) İzmir: Ekim 25-28.
- Özsoy, A.** (2015). Güneş Enerjisinin Isıtma Amaçlı Mevsimlik Depolanması ve Isı Pompası Destekli Kullanımı, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (2), 54-59.
- Pusat, Ş., Akkoyunlu M.T.** (2018). Seçilen Şehirler İçin Isıtma Derece-Saat Hesabı, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2), 314-321.
- Şeker, A.** (2016). Yenilenebilir Enerji, Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Yeşil Pazarlama ve Yenilenebilir Enerjinin Pazarlanması, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9 (46).
- Türk Standartları Enstitüsü**, *TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258f8df3eb7_ek.pdf.
- Uysal, D. & Yılmaz, K. & Taş, T.** (2015). Enerji İthalatı ve Cari Açık İlişkisi:Türkiye Örneği, *Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3 (1), 64.
- Kent, E. F. & Kaptan, İ. N.**, (2009). İzmir İlindeki Elli yataklı Bir Otel için Güneş Enerjisi Destekli Isıtma ve Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Teorik İncelenmesi, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, (ss. 163-170). İzmir : M.M.O, Mayıs 6-9.
- Duffie, J. A. & Beckman, W. A.**, (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*, New Jersey, Wiley.
- Sarbu, I. & Sebarchievici, C.**, (2017). *Solar Heating and Cooling Systems Fundamentals, Experiments and Applications*, İngiltere, Academic Press.
- BP Statistical Review of World Energy.** (June 2018). Erişim: 11 Haziran 2019, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>

EKLER

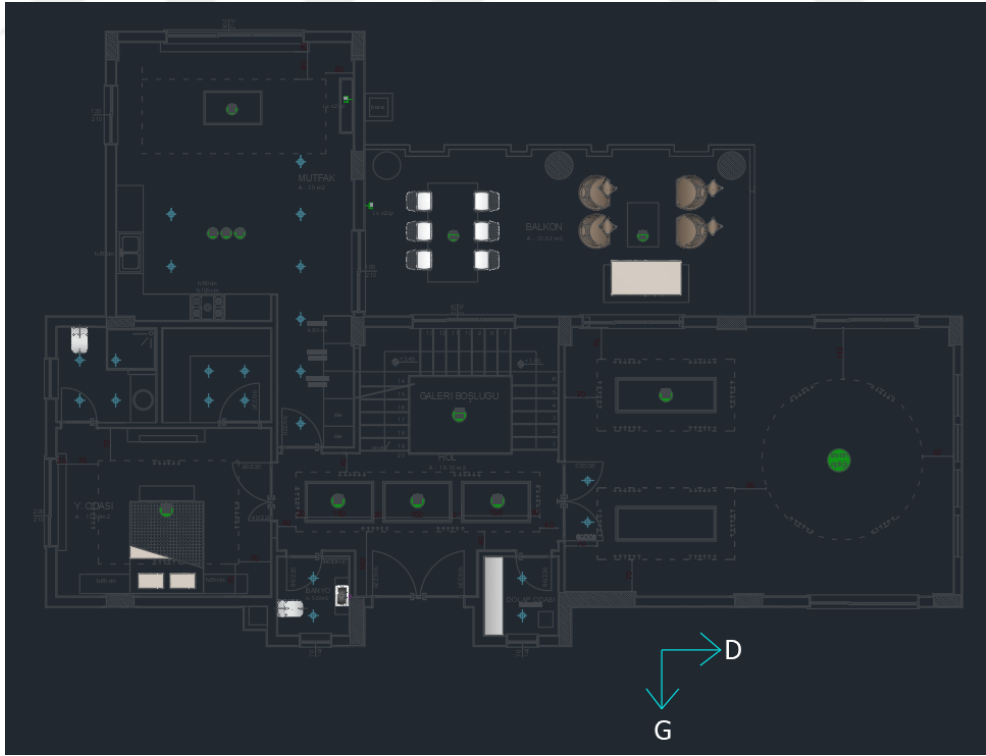
- EK A** : Kat Planları
- EK B** : FineHVAC Isı Kazancı Çıktıları
- EK C** : FineHVAC Isı Kaybı Çıktıları
- EK D** : Matlab Kodları
- EK E** : Sistem Akış Şeması



EK A



Şekil A.1 : Bodrum kat plânı.



Şekil A.2 : Zemin kat plânı.



Şekil A.3 : 1. Kat plânı.



Şekil A.4 : 2. Kat plânı.

EK B

FINE-HVAC		Isı Kazançları									
BINANIN TOPLAM ISI YÜKÜ (HAVALANDIRMA YÜKLERİ DAHİL) HER AY VE SAAT İÇİN (Mcal/h)											
SAATLER	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
23 TEM											
MAHAL YÜKÜ											
Yapı Elemanları	: 15	17	18	19	20	21	23	24	25	25	25
Aydınlatma	: 7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
İnsanlar-Duyulur	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cihazlar-Duyulur	: 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
INFILTRASYON	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
İnsanlar-Gizli	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cihazlar-Gizli	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPL. DUY. ISI	: 24	26	28	29	29	31	32	34	34	35	34
TOPL. GIZLI ISI	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HAVALANDIRMA YÜKLERİ											
Havl. Duyulur İsi Yüğü:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Havl. Gizli İsi Yüğü	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	: 25	27	28	29	30	31	32	34	35	35	35
24 AGU.											
MAHAL YÜKÜ											
Yapı Elemanları	: 14	17	18	20	20	22	23	24	25	25	25
Aydınlatma	: 7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
İnsanlar-Duyulur	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cihazlar-Duyulur	: 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
INFILTRASYON	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
İnsanlar-Gizli	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cihazlar-Gizli	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPL. DUY. ISI	: 24	26	28	29	30	31	32	34	34	35	34
TOPL. GIZLI ISI	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HAVALANDIRMA YÜKLERİ											
Havl. Duyulur İsi Yüğü:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Havl. Gizli İsi Yüğü	: 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	: 24	26	28	29	30	32	33	34	35	35	35

Şekil B.1 : Binanın toplam ısı kazancı sonuçları.

EK C

FINE-HVAC		Isı Kayıpları			
Kat : bodrum Çoklu Rapor : 1					
Mahal Adı b1					
İletim ısı kaybı katsayısı					
Disariya dogrudan ısı kaybı					
Kod	Yapı Elemanı	Ak (m²)	Uk (Kcal/m²hC)	ek	Ak-Uk-ek (KCal/hC)
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	12.96	0.52	1.000	6.74
D7	Dış Duvar 10	1.44	0.56	1.000	0.81
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	2.29	0.52	1.000	1.19
D7	Dış Duvar 10	0.26	0.56	1.000	0.15
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	16.60	0.52	1.000	8.63
D7	Dış Duvar 10	1.85	0.56	1.000	1.04
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	2.29	0.52	1.000	1.19
D7	Dış Duvar 10	0.26	0.56	1.000	0.15
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	22.95	0.52	1.000	11.93
D7	Dış Duvar 10	2.55	0.56	1.000	1.43
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	25.52	0.52	1.000	13.27
D7	Dış Duvar 10	2.83	0.56	1.000	1.58
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	6.47	0.52	1.000	3.36
A1	Tek Camiyi (Ahbap)	5.00	1.72	1.000	8.60
D7	Dış Duvar 10	1.28	0.56	1.000	0.72
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	9.72	0.52	1.000	5.05
D7	Dış Duvar 10	1.08	0.56	1.000	0.60
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	13.75	0.52	1.000	7.15
A1	Tek Camiyi (Ahbap)	1.68	1.72	1.000	2.89
A1	Tek Camiyi (Ahbap)	1.68	1.72	1.000	2.89
A1	Tek Camiyi (Ahbap)	1.68	1.72	1.000	2.89
A1	Tek Camiyi (Ahbap)	4.83	1.72	1.000	8.31
D7	Dış Duvar 10	2.63	0.56	1.000	1.47
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	12.96	0.52	1.000	6.74
A1	Tek Camiyi (Ahbap)	3.78	1.72	1.000	6.50
D7	Dış Duvar 10	1.86	0.56	1.000	1.04
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	7.58	0.52	1.000	3.94
A1	Tek Camiyi (Ahbap)	6.32	1.72	1.000	10.87
D7	Dış Duvar 10	1.55	0.56	1.000	0.87
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	14.01	0.52	1.000	7.29
A1	Tek Camiyi (Ahbap)	2.73	1.72	1.000	4.70
D7	Dış Duvar 10	1.86	0.56	1.000	1.04
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	3.51	0.52	1.000	1.83
D7	Dış Duvar 10	0.39	0.56	1.000	0.22
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	15.79	0.52	1.000	8.21
D7	Dış Duvar 10	1.76	0.56	1.000	0.99
Toplam yapı elemanları Sk Ak-Uk-ek W/K					146.3
Hesaplar					

-11-

Şekil C.1 : Bodrum kat ısı kaybı sonuçları.

FINE-HVAC

Isı Kayıpları

Kod	Isı köprü	Ök (KCal/mhC)	lk (m)	ek	Ök-İk-ek (KCal/hC)		
Toplam ısı köprü Sk Psk-İk-ek W/K						0.00	
Dogrudan dışarıya toplam ısı kayıp katsayısı: $HL_{ie} = Sk Ak-Uk-ek + Sk Psk-İk-ek$						146.3	
Isıtılmayan hacimlere degra ısı kayıpları							
Kod	Yapı Elemanı	Ak (m ²)	Uk (KCal/m ² hC)	bu	Ak-Uk-bu (KCal/hC)		
Toplam yapı elemanları: Sk Ak-Uk-ek W/K						0.00	
Kod	Isı köprü	Ök (KCal/mhC)	lk (m)	bu	Ök-İk-bu (KCal/hC)		
Toplam ısı köprü Sk Psk-İk-bu W/K						0.00	
Isıtılmayan mahallere olan toplam ısı kaybı katsayısı $HL_{iue} = Sk Ak-Uk-bu + Sk Psk-İk-bu$						0.00	
Döşemeden ısı kaybı							
B Hesabı		Ag (m ²)	P (m)	B=2.Ag/P (m)			
		166.2	71.90	4.62			
Kod	Yapı Elemanı	Uk (KCal/m ² hC)	Ueqiv,k (KCal/m ² hC)	Ak (m ²)	Ak-Ueqiv,k (KCal/hC)		
B1	Dış Döş. Mozaik Kaplı Betonarm	0.52	0.274	166.2	45.54		
Toplam esdeğer yapı elemanları: Sk Ak-Ueqiv,k W/K						45.54	
Düzeltilme katsayısı		fg1	fg2	Gw	fg1 fg2 Gw		
		1.45	0.100	1.00	0.145		
Döşemeden olan toplam ısı transfer katsayısı $HL_{ig} = (7k Ak-Ueqiv,k) \cdot fg1 \cdot fg2 \cdot Gw$						6.62	
Farklı sıcaklıklara ısıtılan mahallere ısı kaybı							
Kod	Yapı Elemanı	fj	Ak (m ²)	Uk (KCal/m ² hC)	fj-Ak-Uk (KCal/hC)		
Farklı sıcaklıklara mahallere olan toplam ısı kaybı katsayısı $HL_{ij} = Sk fj-Ak-Uk$						0.00	
Toplam iletim ısı kayıp katsayısı $HL_{ij} = HL_{ie} + HL_{iue} + HL_{ig} + HL_{ij}$ W/K						152.9	
Sıcaklık verileri							
Tasarım dış sıcaklığı		ee	°C	3			
Tasarım iç sıcaklık		eint,i	°C	20.00			
Tasarım sıcaklık farkı		eint,i-ee	°C	17			
Toplam iletim ısı kaybı: $PH_{ij} = HL_{ij} \cdot (THint,i - THe)$ W						2598	
% Artırım						20	
Artırımlarla birlikte toplam tasarım ısı kaybı değeri						3119	
Havalandırma ısı kaybı hesabı							
Oda iç hacmi		Vl	m ³	498.6			
Dış sıcaklık		ee	°C	3			
İç sıcaklık		eint,i	°C	20.00			
Minimum hijyenik hava değişim oranı		nmin,i	1/h	0.5			
Minimum hijyenik hava debisi		Vmin,i	m ³ /h	249.3			
50 Pa'da hava değişim oranı		n50	1/h	0			
Kaplama katsayısı		e		0.02			
Yükseltilmiş düzeltme faktörü		a		1.00			
Enfiltrasyon hava debisi		Vinf,i	m ³ /h	0.00			
Hesaplar için seçilmiş değer		Vl	m ³ /h	249.3			
Tasarım havalandırma ısı kaybı katsayısı		Hv,i	KCal/hC	72.88			
Sıcaklık farkı		eint,i-ee	°C	17			
Tasarım havalandırma ısı kaybı		Öv,i	KCal/h	1239		1239	
İsıtma kapasitesi hesabı							
Tekrar ısıtma katsayısı		İRH	KCal/m ³	23			
Döşeme alanı		Al	m ²	166.2			
İsıtma kapasitesi		ÖRH,i	KCal/h	0.00		0.00	
Toplam tasarım ısı yükü							
Toplam ısı kaybı yükü		ÖHL,i	KCal/h	4358			

Şekil C.1 : Bodrum kat ısı kaybı sonuçları (devam).

Kat : zemin Çoklu Rapor : 1
Mahal Adı z1

İletim ısı kaybı katsayısı						
Disariya doğrudan ısı kaybı						
Kod	Yapı Elemanı	Ak (m ²)	Uk (Kcal/m ² hC)	ek	Ak-Uk-ek (Kcal/hC)	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	2.29	0.52	1.000	1.19	
D7	Dış Duvar 10	0.26	0.56	1.000	0.15	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	3.47	0.52	1.000	1.80	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	0.98	1.72	1.000	1.69	
D7	Dış Duvar 10	0.50	0.56	1.000	0.28	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	2.29	0.52	1.000	1.19	
D7	Dış Duvar 10	0.26	0.56	1.000	0.15	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	7.89	0.52	1.000	4.00	
D7	Dış Duvar 10	0.86	0.56	1.000	0.48	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	2.29	0.52	1.000	1.19	
D7	Dış Duvar 10	0.26	0.56	1.000	0.15	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	3.47	0.52	1.000	1.80	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	0.98	1.72	1.000	1.69	
D7	Dış Duvar 10	0.50	0.56	1.000	0.28	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	2.29	0.52	1.000	1.19	
D7	Dış Duvar 10	0.26	0.56	1.000	0.15	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	17.95	0.52	1.000	9.33	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	5.00	1.72	1.000	8.60	
D7	Dış Duvar 10	2.55	0.56	1.000	1.43	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	8.55	0.52	1.000	4.45	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	1.95	1.72	1.000	3.35	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	1.70	1.72	1.000	2.92	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	1.70	1.72	1.000	2.92	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	1.89	1.72	1.000	3.25	
D7	Dış Duvar 10	1.76	0.56	1.000	0.99	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	21.31	0.52	1.000	11.08	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	4.62	1.72	1.000	7.95	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	4.51	1.72	1.000	7.76	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	4.66	1.72	1.000	8.02	
D7	Dış Duvar 10	3.90	0.56	1.000	2.18	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	13.00	0.52	1.000	6.76	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	3.74	1.72	1.000	6.43	
D7	Dış Duvar 10	1.86	0.56	1.000	1.04	
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	1.30	0.52	1.000	0.68	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	6.30	1.72	1.000	10.84	
A1	Tek Camlı (Ahbap)	6.30	1.72	1.000	10.84	
D71.000					0.87	
Hesaplar						

Şekil C.2 : Zemin kat ısı kaybı sonuçları.

FINE-HVAC

Isı Kayıpları

D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	14.01	0.52	1.000	7.29		
A11.000					4.70		
D71.04						146.3	
D1 Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli						3.51	0.521.0001.83
D7	Dış Duvar 10	0.39	0.56	1.000	0.22		
D11.000					5.01		
A1	Tek Camlı (Ahşap)	4.05	1.72	1.000	6.97		
A11.000					3.61		
D70.99						0.00	
D1 Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli						12.96	0.521.0006.74
D7 Dış Duvar 10					1.44		
Toplam yapı elemanları Sk Ak-Uk-ek W/K						168.3	
Kod	Isıl köprü	Øk (KCal/mhC)	lk (m)	ek	Øk-lk-ek (KCal/hC)		
Toplam ısı köprü Sk Psik-lk-ek W/K						0.00	
Dogrudan dışarıya toplam ısı kayıp katsayısı HT,ie = Sk Ak-Uk-ek + Sk Psik-lk-ek						168.3	
İstisnaya mahallere doğru ısı kayıpları							
Kod	Yapı Elemanı	Ak (m²)	Uk (KCal/m²hC)	bu	Ak-Uk-bu (KCal/hC)		
Toplam yapı elemanları Sk Ak-Uk-ek W/K						0.00	
Kod	Isıl köprü	Øk (KCal/mhC)	lk (m)	bu	Øk-lk-bu (KCal/hC)		
Toplam ısı köprü Sk Psik-lk-bu W/K						0.00	
İstisnaya mahallere olan toplam ısı kayıp katsayısı HT,lue = Sk Ak-Uk-bu + Sk Psik-lk-bu						0.00	
Döşemeden ısı kaybı							
B Hesabı		Ag (m²)	F (m)	B' = 2-Ag/F (m)			
Kod	Yapı Elemanı	Uk (KCal/m²hC)	Uequiv,k (KCal/m²hC)	Ak (m²)	Ak-Uequiv,k (KCal/hC)		
Toplam esdeğer yapı elemanları Sk Ak-Uequiv,k W/K						0.00	
Düzeltilme katsayısı		fg1	fg2	Gw	fg1-fg2-Gw		
		1.45					
Döşemeden olan toplam ısı transfer katsayısı HT,ig = (7k Ak-Uequiv,k)-fg1-fg2-Gw						0.00	
Farklı sıcaklıklara istisnaya mahallere ısı kaybı							
Kod	Yapı Elemanı	fj	Ak (m²)	Uk (KCal/m²hC)	fj-Ak-Uk (KCal/hC)		
Farklı sıcaklıktaki mahallere olan toplam ısı kaybı katsayısı HT,ij = Sk fj-Ak-Uk						0.00	
Toplam iletim ısı kayıp katsayısı HL = HT,ie + HT,lue + HT,ig + HT,ij W/K						168.3	
Sıcaklık verileri							
Tasarım dış sıcaklığı		ëe	°C		3		
Tasarım iç sıcaklık		ëint,i	°C		20.00		
Tasarım sıcaklık farkı		ëint,i-ëe	°C		17		
Toplam iletim ısı kaybı Ft,i = HL.i-(THint,i - THE) W						2860	
% Artırım						20	
Artırımlarla birlikte toplam tasarım ısı kaybı değeri						3432	
Havalandırma ısı kaybı hesabı							
Oda iç hacmi		V	m³		445.5		
Dış sıcaklık		ëe	°C		3		
İç sıcaklık		ëint,i	°C		20.00		
Minimum hijyenik hava değişim oranı		nmin,i	1/h		0.5		
Minimum hijyenik hava debisi		Vmin,i	m³/h		222.8		
50 Pa'da hava değişim oranı		n50	1/h		0		
Kaplama katsayısı		e			0.02		
Yükseklik düzeltme faktörü		â			1.00		
Entilifirasyon hava debisi		Vinf,i	m³/h		0.00		
Hesaplar için seçilmiş değer		V	m³/h		222.8		
Tasarım havalandırma ısı kaybı katsayısı		Hv,i	KCal/hC		65.12		
Sıcaklık farkı		ëint-ëe	°C		17		
Tasarım havalandırma ısı kaybı		Öv,i	KCal/h		1107	1107	
Isıtma kapasitesi hesabı							
Tekrar ısıtma katsayısı		ØRH	KCal/m³h		23		
Döşeme alanı		Ai	m²		148.5		
Isıtma kapasitesi		ØRH,i	KCal/h		0.00	0.00	
Toplam tasarım ısı yükü							
Toplam ısı kaybı yükü		ÖHL,i	KCal/h		4539		

Hesaplar

-14-

Şekil C.2 : Zemin kat ısı kaybı sonuçları (devam).

Kat : 1.kat Çoklu Rapor : 1
Mahal Adı 11

İletim ısı kaybı katsayısı					
Dışarıya doğrudan ısı kaybı					
Kod	Yapı Elemanı	Ak (m ²)	Uk (Kcal/m ² hC)	ek	Ak.Uk-ek (KCal/hC)
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	7.60	0.52	1.000	3.95
A1	Tek Camıy (Ahşap)	6.30	1.72	1.000	10.84
D7	Dış Duvar 10	1.55	0.56	1.000	0.87
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	14.01	0.52	1.000	7.29
A1	Tek Camıy (Ahşap)	2.73	1.72	1.000	4.70
D7	Dış Duvar 10	1.86	0.56	1.000	1.04
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	3.51	0.52	1.000	1.83
D7	Dış Duvar 10	0.39	0.56	1.000	0.22
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	9.85	0.52	1.000	5.12
A1	Tek Camıy (Ahşap)	1.95	1.72	1.000	3.35
A1	Tek Camıy (Ahşap)	1.89	1.72	1.000	3.25
A1	Tek Camıy (Ahşap)	2.10	1.72	1.000	3.61
D7	Dış Duvar 10	1.76	0.56	1.000	0.99
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	9.64	0.52	1.000	5.01
A1	Tek Camıy (Ahşap)	1.66	1.72	1.000	2.86
A1	Tek Camıy (Ahşap)	1.66	1.72	1.000	2.86
D7	Dış Duvar 10	1.44	0.56	1.000	0.81
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	2.29	0.52	1.000	1.19
D7	Dış Duvar 10	0.26	0.56	1.000	0.15
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	3.47	0.52	1.000	1.80
A1	Tek Camıy (Ahşap)	0.98	1.72	1.000	1.69
D7	Dış Duvar 10	0.50	0.56	1.000	0.28
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	2.29	0.52	1.000	1.19
D7	Dış Duvar 10	0.26	0.56	1.000	0.15
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	7.69	0.52	1.000	4.00
D7	Dış Duvar 10	0.88	0.56	1.000	0.48
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	2.29	0.52	1.000	1.19
D7	Dış Duvar 10	0.26	0.56	1.000	0.15
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	3.47	0.52	1.000	1.80
A1	Tek Camıy (Ahşap)	0.98	1.72	1.000	1.69
D7	Dış Duvar 10	0.50	0.56	1.000	0.28
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	2.29	0.52	1.000	1.19
D7	Dış Duvar 10	0.26	0.56	1.000	0.15
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	17.95	0.52	1.000	9.33
A1	Tek Camıy (Ahşap)	5.00	1.72	1.000	8.60
D7	Dış Duvar 10	2.55	0.56	1.000	1.43
		D11.000			6.03
A1	Tek Camıy	4.20	1.72	1.000	7.22

Hesaplar

-15-

Şekil C.3 : 1. kat ısı kaybı sonuçları.

FINE-HVAC

Isı Kayıpları

(Ahbap)							
		D71.000			0.99		
		D110.88				146.3	
A1 Tek Camiy (Ahbap)						4.62	1.721.0007.95
A1	Tek Camiy (Ahbap)	4.51	1.72	1.000	7.76		
		A11.000			2.89		
A1	Tek Camiy (Ahbap)	1.68	1.72	1.000	2.89		
		A11.000			2.89		
		D72.18				0.00	
D1Dyö Duvar YTONG 20 cm Geçmeli						13.00	0.521.0006.76
A1 Tek Camiy (Ahbap)		3.74	1.72	1.000	6.43		
		D71.000			1.04		
Toplam yapı elemanları Sk Ak-Uk-ek W/K						161.2	
Kod	Isil köprü	Øk (KCal/mhC)	lk (m)	ek		Øk-lk-ek (KCal/hC)	
Toplam isil köprü Sk Psik-ik-ek W/K						0.00	
Dogrudan disariya toplam isi kayip katsayisi Ht,ie = Sk Ak-Uk-ek + Sk Psik-ik-ek						161.2	
sitimayan hacimlere dogru isi kayiplari							
Kod	Yapi Elemani	Ak (m²)	Uk (KCal/m²hC)	bu		Ak-Uk-bu (KCal/hC)	
Toplam yapı elemanları Sk Ak-Uk-ek W/K						0.00	
Kod	Isil köprü	Øk (KCal/mhC)	lk (m)	bu		Øk-lk-bu (KCal/hC)	
Toplam isil köprü Sk Psik-ik-bu W/K						0.00	
sitimayan mahallere olan toplam isi kaybi katsayisi Ht,lue = Sk Ak-Uk-bu + Sk Psik-ik-bu						0.00	
Dösemeden isi kaybi							
B Hesabi		Ag (m²)	F (m)	B' = 2·Ag/F (m)			
Kod	Yapi Elemani	Uk (KCal/m²hC)	Uequiv,k (KCal/m²hC)	Ak (m²)		Ak-Uequiv,k (KCal/hC)	
Toplam esdeger yapı elemanları Sk Ak-Uequiv,k W/K						0.00	
Düzeltilme katsayisi		fg1	fg2	Gw		fg1-fg2-Gw	
		1.45					
Dösemeden olan toplam isi transfer katsayisi Ht,ig = (7k Ak-Uequiv,k)-fg1-fg2-Gw						0.00	
Farkli sicakliklara isitilan mahallere isi kaybi							
Kod	Yapi Elemani	fj	Ak (m²)	Uk (KCal/m²hC)		fj-Ak-Uk (KCal/hC)	
Farkli sicaklikta mahallere olan toplam isi kaybi katsayisi Ht,ij = Sk fj-Ak-Uk						0.00	
Toplam iletim isi kayip katsayisi Ht,l = Ht,ie + Ht,lue + Ht,ig + Ht,ij W/K						161.2	
Sicaklik verileri							
Tasarim dis sicakligi		ée	°C	3			
Tasarim iç sicaklik		éint,l	°C	20.00			
Tasarim sicaklik farki		éint,l-ée	°C	17			
Toplam iletim isi kaybi Ft,lj = Ht,l·(THint,l - THe) W						2741	
% Artirim						20	
Artirimlarla birlikte toplam tasarim isi kaybi degeri						3289	
Havalandirma isi kaybi hesabi							
Oda iç hacmi		Vl	m3	445.5			
Dis sicaklik		ée	°C	3			
iç sicaklik		éint,l	°C	20.00			
Minimum hijyenik hava degisim oranı		nmin,i	1/h	0.5			
Minimum hijyenik hava debisi		Vmin,i	m3/h	222.8			
50 Pa'da hava degisim oranı		n50	1/h	0			
Kaplama katsayisi		e		0.02			
Yükseklik düzeltilme faktörü		a		1.00			
Entilrasyon hava debisi		Vinf,j	m3/h	0.00			
Hesaplar için seçilmiş deger		Vl	m3/h	222.8			
Tasarim havalandirma isi kaybi katsayisi		Hv,j	KCal/hC	65.12			
Sicaklik farki		éint-ée	°C	17			
Tasarim havalandirma isi kaybi		Öv,j	KCal/h	1107		1107	
Isitma kapasitesi hesabi							
Tekrar isitma katsayisi		ØRH	KCal/m²h	23			
Döşeme alanı		Ai	m²	148.5			
Isitma kapasitesi		ØRH,i	KCal/h	0.00		0.00	
Toplam tasarim isi yükü							
Toplam isi kaybi yükü		ÖHL,j	KCal/h			4396	

Şekil C.3 : 1. kat ısı kaybı sonuçları (devam).

Kat : çatı Çoklu Rapor : 1
Mahal Adı c1

İletim ısı kayıp katsayısı					
Disariya doğrudan ısı kaybı					
Kod	Yapı Elemanı	Ak (m²)	Uk (Kcal/m²hC)	ek	Ak-Uk-ek (Kcal/hC)
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	10.25	0.52	1.000	5.33
A1	Tek Camlı (Ahbap)	3.92	1.72	1.000	6.74
D7	Dış Duvar 10	1.58	0.56	1.000	0.88
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	18.49	0.52	1.000	9.61
D7	Dış Duvar 10	2.06	0.56	1.000	1.15
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	3.78	0.52	1.000	1.97
D7	Dış Duvar 10	0.42	0.56	1.000	0.24
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	6.65	0.52	1.000	3.46
A1	Tek Camlı (Ahbap)	2.80	1.72	1.000	4.82
D7	Dış Duvar 10	1.05	0.56	1.000	0.59
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	18.09	0.52	1.000	9.41
D7	Dış Duvar 10	2.01	0.56	1.000	1.13
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	5.13	0.52	1.000	2.67
D7	Dış Duvar 10	0.57	0.56	1.000	0.32
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	4.48	0.52	1.000	2.33
A1	Tek Camlı (Ahbap)	2.81	1.72	1.000	4.83
D7	Dış Duvar 10	0.81	0.56	1.000	0.45
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	3.51	0.52	1.000	1.83
D7	Dış Duvar 10	0.39	0.56	1.000	0.22
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	27.67	0.52	1.000	14.39
D7	Dış Duvar 10	3.08	0.56	1.000	1.72
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	6.78	0.52	1.000	3.53
A1	Tek Camlı (Ahbap)	2.80	1.72	1.000	4.82
D7	Dış Duvar 10	1.07	0.56	1.000	0.60
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	14.71	0.52	1.000	7.65
D7	Dış Duvar 10	1.64	0.56	1.000	0.92
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	11.74	0.52	1.000	6.10
D7	Dış Duvar 10	1.31	0.56	1.000	0.73
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	20.25	0.52	1.000	10.53
D7	Dış Duvar 10	2.25	0.56	1.000	1.26
D1	Dış Duvar YTONG 20 cm Geçmeli	8.24	0.52	1.000	4.28
D7	Dış Duvar 10	0.91	0.56	1.000	0.51
T1	Tavan 1	141.1	0.34	1.000	47.97
Toplam yapı elemanları Sk Ak-Uk-ek W/K					163.0
Kod	Isıl köprü	Øk (Kcal/mhC)	lk (m)	ek	Øk-lk-ek (Kcal/hC)
Toplam ısı köprü Sk Psik-lk-ek W/K					0.00
Doğrudan disariya toplam ısı kayıp katsayısı H _{1,le} = Sk Ak-Uk-ek + Sk Psik-lk-ek					163.0
Isıtılmayan hacimlere doğru ısı kayıpları					
Kod	Yapı Elemanı	Ak (m²)	Uk (Kcal/m²hC)	bu	Ak-Uk-bu (Kcal/hC)

Hesaplar

-17-

Şekil C.4 : Çatı katı ısı kaybı sonuçları.

FINE-HVAC

Isı Kayıpları

Toplam yapı elemanları Sk Ak-Uk-ek W/K						0.00	
Kod	Isıl köprü	Øk (KCal/mhC)	lk (m)	bu	Øk-lk-bu (KCal/hC)		
Toplam ısı köprü Sk Psik-ik-bu W/K						0.00	
Isıtılmayan mahallere olan toplam ısı kaybı katsayısı Ht,lue = Sk Ak-Uk-bu + Sk Psik-ik-bu						0.00	
Döşemeden ısı kaybı							
B Hesabı		Ag (m ²)	P (m)	B'=2-Ag/P (m)			
Kod	Yapı Elemanı	Uk (KCal/m ² hC)	Uequiv,k (KCal/m ² hC)	Ak (m ²)	Ak-Uequiv,k (KCal/hC)		
Toplam eşdeğer yapı elemanları Sk Ak-Uequiv,k W/K						0.00	
Düzeltilme katsayısı		fg1	fg2	Gw	fg1-fg2-Gw		
		1.45					
Döşemeden olan toplam ısı transfer katsayısı Ht,lg = (% Ak-Uequiv,k)-fg1-fg2-Gw						0.00	
Farklı sıcaklıklara ısıtılan mahallere ısı kaybı							
Kod	Yapı Elemanı	fj	Ak (m ²)	Uk (KCal/m ² hC)	fj-Ak-Uk (KCal/hC)		
Farklı sıcaklıktaki mahallere olan toplam ısı kaybı katsayısı Ht,lj = Sk fj-Ak-Uk						0.00	
Toplam iletim ısı kaybı katsayısı Ht,l = Ht,le + Ht,lue + Ht,lg + Ht,lj W/K						163.0	
Sıcaklık verileri							
Tasarım dış sıcaklığı		ée	°C	3			
Tasarım iç sıcaklık		éint,l	°C	20.00			
Tasarım sıcaklık farkı		éint,l-ée	°C	17			
Toplam iletim ısı kaybı Ft,l = Ht,l-(THint,l - THe) W						2771	
% Arırım						20	
Artırımlarla birlikte toplam tasarım ısı kaybı değeri							3325
Havalandırma ısı kaybı hesabı							
Oda iç hacmiVg2		Vi	m3	423.3			
Dis sıcaklık		ée	°C	3			
İç sıcaklık		éint,l	°C	20.00			
Minimum hijyenik hava değişim oranı		nmin,l	1/h	0.5			
Minimum hijyenik hava debisiAk (m ³)		Vmin,l	m3/h	211.7			
50 Pa'da hava değişim oranı		n50	1/h	0			
Kaplama katsayısı		e		0.02			
Yükseklik düzeltme faktörü		a		1.20			
Entfiltrasyon hava debisié		Vinf,l	m3/h	0.00			
Hesaplar için seçilmiş değeriéint,l		Vi	m3/h	211.7			
Tasarım havalandırma ısı kaybı katsayısıéint,l-ée		Hv,l	KCal/hC	61.88			
Sıcaklık farkı		éint,l-ée	°C	17			
Tasarım havalandırma ısı kaybı		Öv,l	KCal/h	1052			1052
Isıtma kapasitesi hesabı							
Tekrar ısıtma katsayısı		RRH	KCal/m ² h	23			
Döşeme alanı		Aj	m ²	141.1			
Isıtma kapasitesi		ÖRH,l	KCal/h	0.00			0.00
Toplam tasarım ısı yükü							
Toplam ısı kaybı yükü		ÖHL,l	KCal/h				4377

Hesaplar

-18-

Şekil C.4 : Çatı katı ısı kaybı sonuçları (devam).

EK D

Contents

- Input Data
- Monthly energy estimation
- solar radiation analysis
- The Fi-f-chart method

```
clear all
clc
global Y Xa Rs i
```

Input Data

```
Qh=20000; Qc=40000; DTh=16; DTc=11; ms=300;
N=[17,47,75,105,135,162,198,228,258,288,318,344]; %number of average day of months from 1st january
NM=[31,28,31,30,31,30,31,31,30,31]; % day number of months
delta=[-20.92,-12.95,-2.42,9.41,18.79,23.09,21.18,13.45,2.22,-9.6,-18.91,-23.05]; %declination angle
HmMJ=[7,07,8,96,12,18,15,57,18,58,20,59,20,72,19,17,15,74,11,34,8,41,6,36]; %monthly average radiation incident on horizontal [MJ/m2]
Hm=HmMJ*1e6;
HDD=[227,157,103,11,0,0,0,0,0,37,171]; %Monthly heating degree day numbers
CDD=[0,0,0,0,19,113,218,233,128,19,0,0]; %Monthly cooling degree day numbers
%HWDD=[1432,1324,1429,1316,1255,1095,1029,976,965,1078,1155,1333]; %monthly service hot water degree day numbers based on Thw=60 C
Tmm=[13,8,12,7,13,9,16,1,19,5,23,5,26,8,28,5,27,8,25,2,21,5,17]; %monthly average mains water temperature
Thw=45; % service hot water temperature
HWDD=NM.*(Thw-Tmm);
Tamm=[10,1,10,7,12,8,16,4,20,5,25,28,2,28,1,24,9,20,3,15,6,11,9]; % monthly average outdoor air temperature
L=36; %altitude
beta=25; % collector tilt angle
Gsc=1367; %solar constant
rhoG=0.2; %albedo
thoalfan=0.96; % transmittance-absorptance product for normal incidence
thoalfaDm=0.835; % monthly average transmittance-absorptance product for diffuse radiation
thoalfaGm=0.547; % monthly average transmittance-absorptance product for ground-reflected radiation
thoalfa_thoalfan=[0.96,0.96,0.95,0.93,0.92,0.91,0.91,0.92,0.93,0.95,0.96,0.96];
thoalfaBm=thoalfan*thoalfa_thoalfan;
FRUL=1.334; % slope of efficiency curve
FRthoalfan=0.48; % intercept of efficiency curve
FR=FRthoalfan*thoalfan;
Tmin=[45,45,45,45,80,80,80,80,45,45,45]; % minimum temperature to load
cp=4.19; % specific heat of water
M=8750; %mass of storage tank
%thoalfaBm=[0.922,0.922,0.912,0.893,0.883,0.874,0.874,0.883,0.893,0.912,0.922,0.922]; % monthly average transmittance-absorptance product for beam radiation
```

Monthly energy estimation

```
Lhm=86400*Qh*HDD/DTh; % heating energy demand of building on monthly basis [J/month]
Lcmb=86400*Qc*CDD/DTc; % building cooling energy demand of building on monthly basis [J/month]
Lcm=Lcmb/0.7; % solar energy demand from collector for cooling. Here is COP of AC is assumed as 0.7
Lwm=ms*cp*(1000)*HWDD; % service hot water energy demand on monthly basis [J/month]
Ltm=Lhm+Lcm+Lwm; % total energy demand of building on monthly basis [J/month]
%LtmG=[16,74,15,12,16,74,16,2,16,74,16,2,16,74,16,2,16,74,16,2,16,74,16,2,16,74];
%Ltm=LtmG*1e9;
```

solar radiation analysis

```
hss=acosd(-tand(L)*tand(delta)); %sunset hour angle
H0m=(24*3600*Gsc/pi).*(1+0.033.*cosd(360*N/365)).*(cosd(L).*cosd(delta)).*sind(hss)+(pi*hss/180).*sind(L).*sind(delta); %monthly average extraterrestrial radiation on horizontal
KTm=Hm/H0m; %monthly average clearness index
%T1113=[Hm',Tam',KTm',H0m'];
%xtwrite('Table_11_13.xls',T1113);
hssa=min(hss,acosd(-tand(L-beta)*tand(delta))); %hss_apostrophe
RBm=(cosd(L-beta).*cosd(delta)).*sind(hssa)+(pi/180).*hssa.*sind(L-beta).*sind(delta))./(cosd(L).*cosd(delta)).*sind(hss)+(pi/180).*hss.*sind(L).*sind(delta)); %monthly mean beam radiation tilt factor
for i=1:12
if hss(i)<=81.4
HDm_Hm(i)=1.391-(3.56*KTm(i))+4.189.*KTm(i).^2-(2.137.*KTm(i).^3);
else
HDm_Hm(i)=1.311-(3.022*KTm(i))+3.42.*KTm(i).^2-(1.821.*KTm(i).^3);
end
end
Rm=((1-HDm_Hm).*RBm)+(HDm_Hm.*((1+cosd(beta))/2)+(rhoG*(1-cosd(beta))/2)); %monthly mean total radiation tilt factor
HDm=Hm.*HDm_Hm; %monthly mean diffuse rad. on horizontal
HBm=Hm.*HDm; % monthly mean beam rad. on horizontal
Htm=Rm.*Hm; % monthly mean insolation on tilted surface
Sm=(HBm.*RBm.*thoalfaBm)+(HDm.*thoalfaDm*((1+cosd(beta))/2)+(Hm.*rhoG.*thoalfaGm*((1-cosd(beta))/2)); %monthly mean absorbed radiation
thoalfam=Sm./(Hm.*Rm);
thoalfam_thoalfan=thoalfam/thoalfan;
```

The Fi-f-chart method

```
h=0; % hour angle at noon
alf=0.409+(0.5016*sind(hss-60));
bet=0.6609-(0.4767*sind(hss-60));
```

Şekil D.1 : Işınım hesapları matlab sonuçları.

```

r=((pi/24).*(alf+(bet.*cosd(h))))./((cosd(h)-cosd(hss))./(sind(hss)-((2*pi*hss/360).*cosd(hss)))); % (I/H)
rd=(pi/24)*((cosd(h)-cosd(hss))./(sind(hss)-((2*pi*hss/360).*cosd(hss)))); % (ID/HD)
m=r; % when h = 0,
rdn=rd; % when h = 0,
RB=(sind(L-beta)*sind(delta)+cosd(L-beta)*cosd(delta)*cosd(h))./(sind(L)*sind(delta)+cosd(L)*cosd(delta)*cosd(h)); %beam radiation tilt factor
RBn=RB; % when h = 0,
for i=1:12
if hss(i)<=81.4
if Ktm(i)<0.722
HD_H(i)=1-(0.2727.*Ktm(i)+(2.4495.*Ktm(i).^2)-(11.9514.*Ktm(i).^3)+(9.3879.*Ktm(i).^4);
else
HD_H(i)=0.143;
end
else
if Ktm(i)<0.722
HD_H(i)=1+(0.2832.*Ktm(i)-(2.5557.*Ktm(i).^2)+(0.8448.*Ktm(i).^3);
else
HD_H(i)=0.175;
end
end
end
Rn=((1-(rdn./m).*HD_H)).*RBn+(((rdn./m).*HD_H).*((1+cosd(beta))/2)+(rhoG*((1-cosd(beta))/2)));
% T1114=[RBm',HDm_Hm',Rm',m',rdn',RBn',HD_H',Rn'];
% xlswrite('Table_11_14.xls', T1114);
Ac=125; %aperture area
Xcomm=((FRUL*3600*(Tmin-Tam))./(FR*thoalfam))./(m.*Rn.*Ktm.*H0m);%monthly mean Xc,min
A=2.943-9.271*Ktm+4.031*Ktm.^2;
B=4.345+8.853*Ktm-3.602*Ktm.^2;
C=-0.17-0.306*Ktm+2.936*Ktm.^2;
Fimax=exp((A+B.*(Rn./Rm)).*(Xcomm+C.*Xcomm.^2));
Y=Fimax.*(Ac*FR*thoalfam.*NM.*Htm)./Ltm;

Xa=(Ac*FRUL*(100)^24*NM*3600)./Ltm;
Rs=350/(M*cp/Ac);
Qum=Ac*FR*thoalfam.*Htm.*Fimax;

x0=[0.3 0.3 0.3 3 3 0.3 0.3 0.3 0.3 4 5 0.3];

for i=1:12

f(i)=fzero('SF_Safa_Orakci',x0(i));
end

fL=f.*Ltm;

Table1=[Hm',Tam',Ktm',H0m',RBm',HDm_Hm',Rm',m',rdn',RBn',HD_H',Rn',Sm',thoalfam',Qum',Xcomm',Fimax',Y',Xa',Ltm',f,fL];
xlswrite('safa_sonuc1.xls', Table1);

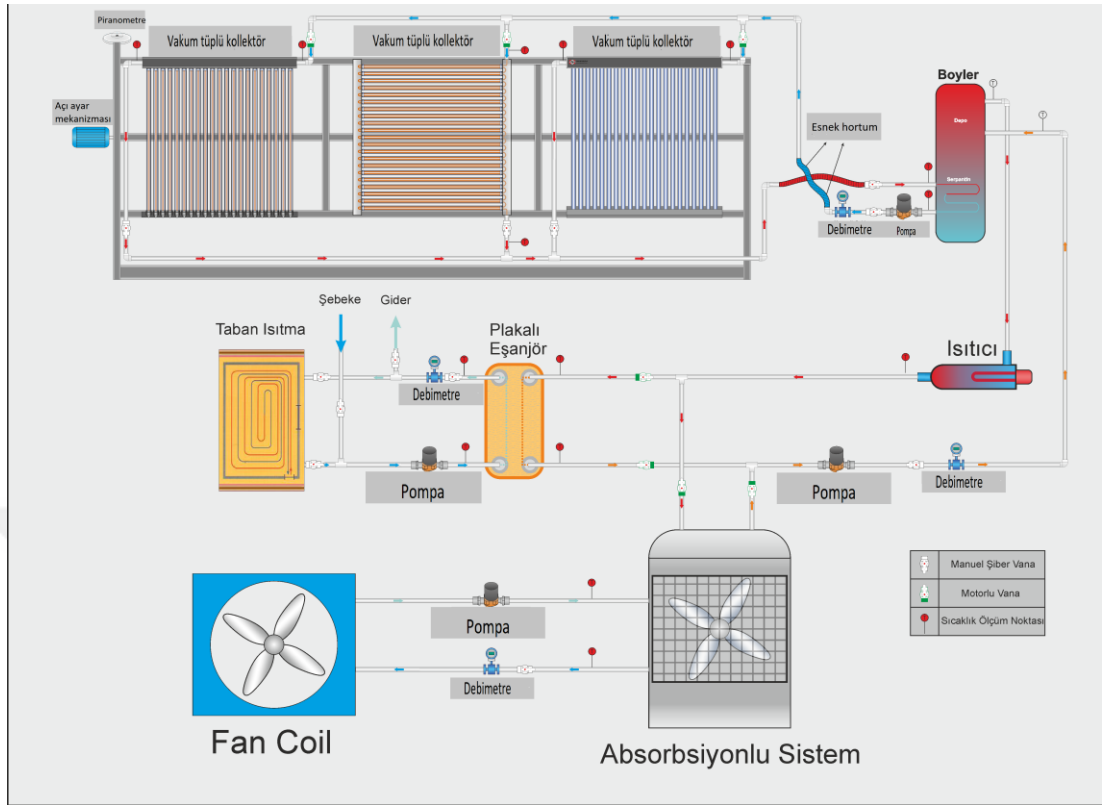
Table2=[Htm',HDm',HBm',A',B',C',hss',alf',bet',thoalfam_thoalfan',Lhm',Lcm',Lomb',Lwm',Ltm'];
xlswrite('safa_sonuc2.xls', Table2);

```

Published with MATLAB® R2014b

Şekil D.1 : Işınım hesapları matlab sonuçları (devam).

EK E



Şekil E.1 : Güneş destekli absorpsiyonlu soğutma ve ısıtma sistem şeması.

ÖZGEÇMİŞ

TARANMIŞ
VESİKALIK
FOTOĞRAF

Ad - Soyad : Mustafa Safa Orakçı
Doğum Tarihi ve Yeri : 07.02.1900 Yıldırım/Bursa
E-posta : safaorakci@ucgem.com

ÖĞRENİM DURUMU

- **Lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü