

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DUVARDAN ISITMA VE SOĞUTMALI TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

ASLIHAN BAŞKAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. OLCAY KINCAY**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DUVARDAN ISITMA VE SOĞUTMALI TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

ASLIHAN BAŞKAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. OLCAY KINCAY**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DUVARDAN ISITMA VE SOĞUTMALI TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ
PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Aslıhan BAŞKAL tarafından hazırlanan tez çalışması 25.03.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Olcay KINCAY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Olcay KINCAY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Galip TEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Esen BOLAT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün (27-06-01-03, 2007) numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Enerji, geçmişte olduğu gibi günümüzde de çok önemli ve stratejik bir kavramdır. Sanayi ve teknolojinin hızla gelişmesi, dünya nüfusunun ve yaşam standartlarının artması enerjiye olan talebi de sürekli arttırmakta, dolayısıyla enerji üretiminin yanısıra enerjiyi etkin ve verimli ve aynı zamanda çevreye en az zarar verecek şekilde tüketme zorunluluğu, günümüzün ve geleceğin çözülmesi gereken en önemli problemlerinden biri olmaktadır.

Hem Dünya hem de Türkiye için enerjinin etkin ve verimli kullanılması vazgeçilemez bir zorunluluk olmuştur. Enerji mevcut talebi karşılamakla beraber ihtiyaçtan fazla tüketimi engellenmeli, daha az enerji ile daha çok iş yapılabilmesi, daha çok ürün ve hizmet elde edilmelidir, aynı zamanda enerji üretim ve tüketiminin çevreye vereceği zarar minimuma indirilmelidir. Bunun için özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ile beraber kullanılacak alternatif teknolojiler geliştirilmeli ve bu sistemlerin sanayi ve günlük yaşamda kullanılabilirliğini sağlayacak çalışmalar yapılmalıdır.

Bu tez çalışmam boyunca öncelikle bilgi ve tecrübesi ile yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof.Dr. Olcay KINCAY'a, kendi çalışmaları için ayırdığı zamandan fedakarlıkta bulunarak büyük bir içtenlikle bilgi ve manevi destekte bulunan Dr.Müh. Sayın Yılmaz YÖRÜ ve Arş.Gör. Sayın Uğur AKBULUT'a, her zaman maddi ve manevi destekçim sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs, 2011

Aslıhan BAŞKAL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	ix
KISALTIMA LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	6
BÖLÜM 2	
ISIL KONFOR.....	7
2.1 Ortalama Radyant Sıcaklık (MRT)	8
2.2 Operatif Sıcaklık (OT)	9
2.3 Radyant Asimetri.....	10
BÖLÜM 3	
İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ	11
3.1 İklimlendirme Sistemlerinin Sınıflandırılması	12
3.1.1 Merkezi İklimlendirme Sistemleri	12
3.1.1.1 Tamamen Havalı İklimlendirme Sistemleri	12
3.1.1.2 Tamamen Sulu İklimlendirme Sistemleri	13
3.1.1.3 Hava ve Sulu İklimlendirme Sistemleri.....	13
3.1.1.4 Değişken Soğutucu Akışkan Debili İklimlendirme Sistemleri.....	14
3.1.2 Bireysel İklimlendirme Sistemleri	14
3.1.2.1 Paket Tipi İklimlendirme Sistemleri	14

3.1.2.2	Split Tip İklimlendirme Sistemleri	14
BÖLÜM 4		
	PANEL ISITMA ve SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	15
4.1	Radyant Hidronik Panel Sistemler	16
4.1.1	Radyant Hidronik Duvar Panelleri.....	17
4.1.2	Hidronik Sistemlerde Enerji Kaynakları.....	18
4.2	Isıl Radyasyonun İlkeleri.....	18
4.3	Panel Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	19
4.3.1	Panel Sistemlerin Avantajları	19
4.3.2	Panel Sistemlerin Dezavantajları	21
4.4	Panel Yüzeylerde Isı Transferi	21
4.4.1	Isıl Radyasyonla Isı Transferi	21
4.4.2	Doğal Konveksiyonla Isı Transferi	24
4.4.3	Birleşik Isı Akısı (Isıl Radyasyon ve Doğal Konveksiyon).....	27
BÖLÜM 5		
	ISI POMPASI (IP) SİSTEMLERİ	30
5.1	Isı Pompasının Çalışma Prensipleri.....	30
5.2	Isı Pompası Çevrimleri.....	31
5.2.1	İdeal Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Çevrimi.....	31
5.2.2	Gerçek Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Çevrimi	33
5.3	Isı Pompasının Çalışma Düzeni.....	34
5.4	Isı Pompasında Sıcak ve Soğuk Kaynaklar	35
5.4.1	Hava	35
5.4.2	Su.....	36
5.4.3	Toprak	36
5.4.4	Güneş	36
5.5	Isı Pompası Türleri.....	37
5.5.1	Havadan Havaya Isı Pompaları.....	37
5.5.2	Havadan Suya Isı Pompaları.....	38
5.5.3	Sudan Suya Isı Pompaları	39
5.5.4	Sudan Havaya Isı Pompaları.....	40
5.5.5	Yer Devreli Isı Pompaları	40
5.6	Isı Pompasında Enerji Analizi	40
BÖLÜM 6		
	TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI (TKIP) SİSTEMLERİ	45
6.1	Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Özellikleri.....	46
6.2	Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulamaları	49
6.2.1	Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulaması	49
6.2.2	Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulaması	50
6.3	Dikey Tip Toprak Isı Değiştiricisinin Boyutlandırılması.....	52
6.3.1	Ortalama Toprak Sıcaklığı	52
6.3.2	Sisteme Su Giriş Sıcaklığı	53

6.3.3	Toprağın Isıl Direnci	53
6.3.4	Boru Isıl Direnci	53
6.3.5	Çalışma Faktörü	53
6.3.6	Toprak Isı Değiştiricisi Boyu Hesabı	54

BÖLÜM 7

DUVARDAN ISITMA ve SOĞUTMALI DİKEY TİP TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ KÜTLE ve ENERJİ ANALİZİ	55
---	----

7.1	Duvardan Isıtma ve Soğutmalı DTKIP Sistemini Oluşturan Alt Sistemlerin Kütle ve Enerji Analizi	59
7.1.1	Toprak Altı Isı Değiştirici Sisteminin Kütle ve Enerji Analizi	59
7.1.2	Isı Pompası Cihazının Kütle ve Enerji Analizi	61
7.1.2.1	Kompresörün Kütle ve Enerji Analizi	62
7.1.2.2	Kondenserin Kütle ve Enerji Analizi	63
7.1.2.3	Genleşme (Kısılma) Vanasının Kütle ve Enerji Analizi	64
7.1.2.4	Evaporatörün Kütle ve Enerji Analizi	65
7.1.3	Isıl Deponun Kütle ve Enerji Analizi	67
7.1.4	Duvar Serpantinlerinin Kütle ve Enerji Analizi	68

BÖLÜM 8

UYGULAMA	70
----------------	----

8.1	Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi	70
8.2	YYEE'nin Mimari Özellikleri	71
8.2.1	YYEE'nin Yapı Elemanları	73
8.2.1.1	Duvarlar	73
8.2.1.2	Tavan (Çatı)	75
8.2.1.3	Toprak Tabanlı Döşeme (TTT)	77
8.2.1.4	Katlar Arası Döşeme	77
8.2.1.5	Kapılar	78
8.2.2	YYEE Kapı ve Pencere Ölçüleri	79
8.2.3	YYEE Konteyner Ölçü Detayı	80
8.2.3.1	YYEE Konteyner Brüt Hacmi	81
8.2.3.2	YYEE Konteyner Kullanım Alanı	81
8.2.4	YYEE'nin Isı Kaybeden Yüzeyleri ve Özellikleri	82
8.2.4.1	Dış Kapılar	82
8.2.4.2	Pencereler	82
8.2.4.3	Tavan	82
8.2.4.4	Toprak Temaslı Taban	83
8.2.4.5	Isıtılmayan Düşük Sıcaklıktaki Ortama Bakan Döşeme	83
8.2.4.6	Dış Duvarlar	84
8.2.4.7	YYEE Toplam Isı Kaybeden Yüzey Alanı	84
8.2.4.8	YYEE Her Yön İçin Toplam Pencere Alanı	85
8.2.4.9	YYEE Isı Kaybeden Yüzeylerin Isı Geçiş Katsayıları	85
8.3	YYEE'nin TS 825 Standardına Uygunluğunun İncelenmesi [EK-A]	85

8.3.1	YYEE'nin TS 825'e Göre Olması Gereken Yıllık Maksimum Isıtma Enerjisi İhtiyacı	86	
8.3.2	YYEE Özgül Isı Kaybı	86	
8.3.3	YYEE Isı Kazançları	87	
8.3.3.1	YYEE Aylık Ortalama İç Isı Kazancı	87	
8.3.3.2	YYEE Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Isı Kazancı.....	87	
8.3.3.3	YYEE Aylık Kazanç Kayıp Oranı	88	
8.3.3.4	YYEE Aylık Kazanç Kullanım Faktörü.....	89	
8.3.3.5	YYEE Aylık Isıtma Enerjisi İhtiyacı	90	
8.3.3.6	YYEE Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı	90	
8.4	YYEE Isı Kayıp ve Kazançlarının Hesaplanması.....	91	
8.4.1	YYEE Isı Kayıplarının Hesaplanması [EK-B]	91	
8.4.2	YYEE Isı Kazançlarının Hesaplanması [EK-C].....	94	
8.5	YYEE Duvardan Isıtma ve Soğutmalı DTKIP'nin Performansının İncelenmesi	95	
8.5.1	Isıtma Sezonunda YYEE DTKIP ile Duvardan Isıtma Sisteminin Performansının İncelenmesi	102	
8.5.1.1	Isı Pompasından Elde Edilen Isı Enerjisinin Duvardan Isıtma Sisteminin İhtiyacını Karşılama Kontrolü.....	103	
8.5.2	Soğutma Sezonunda YYEE DTKIP ile Duvardan Soğutma Sisteminin Performansının İncelenmesi	107	
8.5.2.1	Isı Pompasına Transfer Olan Isı Enerjisinin Duvardan Soğutma Sisteminin İhtiyacını Karşılama Kontrolü.....	108	
BÖLÜM 9			
SONUÇ VE ÖNERİLER			113
KAYNAKLAR.....			116
EK-A.....			120
EK-B.....			142
EK-C.....			151
EK-D.....			160
ÖZGEÇMİŞ.....			162

SİMGE LİSTESİ

A_j	Paneller dışındaki yüzeylerin alanı [m^2]
A_p	Panel yüzeyinin alanı [m^2]
A_r	Düşümsel yüzeyin alanı [m^2]
$C_{p_{su}}$	Suyun sabit basınçta özgül ısısı [$4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$]
COP_C	Soğutmada etkinlik katsayısı [Boyutsuz]
COP_H	Isıtmada etkinlik katsayısı [Boyutsuz]
D_e	Panelin eşdeğer çapı [m]
E	Bir sisteme giren veya çıkan toplam enerji [kJ]
\dot{E}	Bir sisteme birim zamanda giren veya çıkan toplam enerji [kW]
F_C	Soğutmada çalışma faktörü [Boyutsuz]
F_H	Isıtmada çalışma faktörü [Boyutsuz]
F_{pj}	Panel yüzeyi ile odadaki diğer bir yüzey arasındaki açı faktörü [Boyutsuz]
F_{p-r}	Panelden hayali yüzeye olan açı faktörü [Boyutsuz]
F_r	Radyasyon değişim (alıp verme) faktörü [Boyutsuz]
H	Duvar panelinin yüksekliği [m]
h	Isı taşınım katsayısı [$\text{W/m}^2\text{K}$], Entalpi [kJ/kg]
J_j	Mahaldeki bir cisme gelen veya cisimden çıkan radyosite (Işınım) [W/m^2]
J_p	Panele ulaşan veya panelden çıkan toplam radyosite (Işınım) [W/m^2]
L_C	Soğutma konumu için toprak ısı değiştirici boru boyu [m]
L_H	Isıtma konumu için toprak ısı değiştirici boru boyu [m]
\dot{m}	Kütleli debi [kg/s]
Q	Bir sisteme giren veya çıkan toplam ısı enerjisi [kJ]
\dot{Q}	Bir sisteme birim zamanda giren veya çıkan toplam ısı enerjisi [kW]
Q_H	Yüksek sıcaklıktaki ortama verilen ısı enerjisi [kJ/kg]
Q_L	Düşük sıcaklıktaki ortamdan çekilen ısı enerjisi [kJ/kg]
q	Bir sistemin birim kütlesi için giren veya çıkan ısı enerjisi [kJ/kg]
q_r	Isıl radyasyonla gerçekleşen ısı akı [W/m^2]
q_c	Doğal konveksiyondan kaynaklanan ısı akı [W/m^2]
$q_{r,c}$	Isıl radyasyon ve doğal konveksiyondan kaynaklanan ısı akı [W/m^2]
R_b	Boru ısı direnci faktörü
R_t	Toprak ısı direnci faktörü
T	Sıcaklık [K]
T_{DT}	Yılın en düşük toprak sıcaklık değeri [$^\circ\text{C}$]
T_H	Yüksek sıcaklıktaki ısı atılan ortamın sıcaklığı [K]

T_j	Paneller dışındaki yüzeylerin sıcaklığı [K]
T_L	Düşük sıcaklıktaki ısı çekilen ortamın sıcaklığı [K]
T_{max}	Sisteme girecek en yüksek akışkan sıcaklık değeri [°C]
T_{min}	Sisteme girecek en düşük akışkan sıcaklık değeri [°C]
T_p	Panel yüzeylerinin etkin ısıtma/soğutma sıcaklığı [K]
T_r	Düşünsel yüzeyin sıcaklığı [K]
T_{YT}	Yılın en yüksek toprak sıcaklık değeri [°C]
t	Sıcaklık [°C]
t_a	İç mahal kuru termometre sıcaklığı [°C]
t_o	Dış mahal tasarım kuru termometre sıcaklığı [°C]
t_p	Panel yüzeylerinin efektif sıcaklığı [°C]
t_u	Dış mahale bakan duvarın iç yüzey sıcaklığı [°C]
U	Isı iletim katsayısı [W/m ² K], İç enerji [kJ]
u	Sistemin birim kütleinin iç enerjisi [kJ/kg]
V	Hacim [m ³]
W	Bir sisteme giren veya çıkan iş [kJ]
\dot{W}	Bir sisteme birim zamanda giren veya çıkan iş [kW]
w	Bir sistemin birim kütlesi için giren veya çıkan iş [kJ/kg]
ϵ_{Sistem}	Sistem etkinliği [Boyutsuz]
ϵ_j	Panel yüzeyler dışındaki yüzeylerin yayıcılığı [Boyutsuz]
ϵ_p	Panel yüzeylerin yayıcılığı [Boyutsuz]
ϵ_r	Düşünsel yüzeyin yayıcılığı [Boyutsuz]
η_{th}	Isıl verim
Θ	Akışkanın birim kütleinin toplam enerjisi [kJ/kg]
λ	Isı iletim katsayısı [W/mK]
σ	Stephan Boltzman katsayısı [5,67x10 ⁸ W/m ² K ⁴]

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASHRAE	American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
AUST	Area-weighted Unheated Temperature, Alan ağırlıklı Ortalama Sıcaklık
COP	Coefficient of Performance, Etkinlik Katsayısı
DTKIP	Dikey Toprak Kaynaklı Isı Pompası
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
HVAC	Heatin Ventilating and Air Conditioning, Isıtma Havalandırma İklimlendirme
IP	Isı Pompası
MRT	Mean Radiant Temperature, Ortalama Radyant Sıcaklık
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development, Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
OSB	Oriented Strand Board, Yönlendirilmiş Ahşap Levha
OT	Operative Temperature, Operatif Sıcaklık
PEX	Crosslinked Polyethylene, Çapraz Bağlı Polietilen
SM	Soğutma Makinesi
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
XPS	Ekstürde Polistren Ser Köpük
YTKIP	Yatay Toprak Kaynaklı Isı Pompası
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi
YYEE	Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	MRT'nin görsel ifadesi [15] 8
Şekil 2.2	Radyant asimetrinin ısı konfor üzerindeki etkisi [15]..... 10
Şekil 4. 1	Radyant hidronik duvar paneli [20]..... 17
Şekil 4. 2	Bir yüzeye gelen ışınımın yansımaları, yutulması ve geçirilmesi 19
Şekil 4. 3	Isıtılan duvar, döşeme ve tavan yüzey panellerinde radyasyon ısı akışı [14] 23
Şekil 4. 4	Soğutulmuş tavan veya duvar panelinde radyasyonla ısı çekimi [14] 24
Şekil 4. 5	Döşeme, tavan veya duvar panel yüzeylerinden doğal konveksiyonla ısı transferi [14] 26
Şekil 4. 6	Doğal konveksiyonla tavan soğutma panelleri tarafından çekilen ısı için ampirik data [14] 27
Şekil 4. 7	İç yüzey sıcaklığı ile toplam ısı transferi katsayısı arasındaki ilişki [14]... 28
Şekil 4. 8	Havanın kuru termometre sıcaklığının 21°C'den farklı değerleri için iç yüzey sıcaklığı düzeltimi [14]..... 28
Şekil 4. 9	İnfiltrasyon ve iç ısı kaynaklarının bulunmadığı üniform bir çevrede soğutulmuş tavan panellerinin performansı [14]..... 29
Şekil 5. 1	İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin düzeni ve T-s diyagramı [29]..... 32
Şekil 5. 2	Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin düzeni ve T-s diyagramı [29]..... 33
Şekil 5. 3	Isıtma modunda ısı pompası sisteminin çalışma düzeni [31]..... 34
Şekil 5. 4	Soğutma modunda ısı pompası sisteminin çalışma düzeni [31] 34
Şekil 5. 5	Havadan havaya ısı pompasının ısıtma ve soğutma durumunda çalışması [28] 38
Şekil 5. 6	Havadan suya ısı pompası [35]..... 38
Şekil 5. 7	Sudan suya ısı pompası açık ve kapalı çevrim uygulaması [32], [36] 39
Şekil 5. 8	Sudan havaya ısı pompası [37] 40
Şekil 5. 9	Isı pompasının çalışma prensibi [25] 42
Şekil 6. 1	TKIP sistemini oluşturan bileşenler [41]..... 47
Şekil 6. 2	Yıllık toprakaltı sıcaklık değişimleri [43] 48
Şekil 6. 3	TKIP toprak altı devresinin soğutma ve ısıtma sezonunda toprakla yaptığı ısı alış-verişi [44] 48

Şekil 6. 4	Yatay toprak kaynaklı ısı pompası uygulaması [45]	49
Şekil 6. 5	YTIP düz ve spiral borulu sistem [46]	50
Şekil 6. 6	YTIP’da seri ve paralel akış düzeni [47]	50
Şekil 6. 7	Dikey toprak kaynaklı ısı pompası uygulaması [45]	51
Şekil 6. 8	DTIP düz ve spiral borulu sistem [46].....	51
Şekil 6. 9	YTIP’da seri ve paralel akış düzeni [49]	52
Şekil 7. 1	DTKIP Sisteminin şematik görünümü	56
Şekil 7. 2	DTKIP Sisteminde toprak altı ısı değiştiricisine enerji ve kütle giriş çıkışı	60
Şekil 7. 3	Isı pompası cihazında enerji ve kütle giriş çıkışı	61
Şekil 7. 4	Isı pompası cihazının kompresörüne kütle ve enerji giriş çıkışı	62
Şekil 7. 5	Isı pompası cihazının kondenserine kütle ve enerji giriş çıkışı.....	63
Şekil 7. 6	Isı pompası cihazının kısılma vanasına kütle ve enerji giriş çıkışı.....	64
Şekil 7. 7	Isı pompası cihazının evaporatörüne kütle ve enerji giriş çıkışı.....	66
Şekil 7. 8	Isıl depoaya kütle ve enerji giriş çıkışı	67
Şekil 7. 9	Duvar serpantinlerine kütle ve enerji giriş çıkışı	68
Şekil 8. 1	Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi	71
Şekil 8. 2	YYEE’nin ön cephesinin şematik görünümü.....	72
Şekil 8. 3	YYEE Zemin ve üst katta bulunan odaları ve giriş holü	73
Şekil 8. 4	YYEE İç duvarlarının kesiti	74
Şekil 8. 5	YYEE Serpantinli ve serpantinsiz dış duvarlarının kesiti	75
Şekil 8. 6	YYEE Çatı detayı.....	76
Şekil 8. 7	YYEE Tavan kesiti	76
Şekil 8. 8	YYEE Toprak tabanlı döşeme kesiti	77
Şekil 8. 9	Katlar arası döşeme kesiti	78
Şekil 8. 10	YYEE İç kapılarının kesiti	78
Şekil 8. 11	YYEE Dış kapılarının kesiti.....	79
Şekil 8. 12	YYEE Kapı ölçüleri	80
Şekil 8. 13	YYEE Pencere ölçüleri	80
Şekil 8. 14	YYEE Konteyner ölçüleri	80
Şekil 8. 15	YYEE DTKIP Toprak devresinin sondaj ve yerleştirme çalışmaları [50]	97
Şekil 8. 16	YYEE DTKIP Toprak devresi sondaj lokasyonları.....	97
Şekil 8. 17	YYEE DTKIP Isıtma ve soğutma konumunda toprak ısı değiştiricisi.....	97
Şekil 8. 18	YYEE Isı pompası cihazı ve akümülasyon tankı.....	98
Şekil 8. 19	Akümülasyon tankından duvar serpantinlerine gidiş ve dönüş bağlantısı	99
Şekil 8. 20	YYEE Duvar serpantinlerinin monte edilişi [9]	100
Şekil 8.21	YYEE Duvar serpantinlerinin üstü sıvanmadan önce ve sonraki görüntüsü [9]	100
Şekil 8. 22	YYEE DTKIP ile duvardan ısıtma/soğutma sisteminin tesisat şemesi....	101
Şekil 8. 23	Isı pompası çevriminin lnP-h diyagramı	102
Şekil 8. 24	12.03.2010 günü farklı saatlerde YYEE ısı pompası cihazının COP değeri	106

Şekil 8. 25	12.03.2010 günü farklı saatlerde YYEE DTKIP ile duvardan ısıtma sisteminin etkinliği.....	106
Şekil 8. 26	05.07.2010 günü farklı saatlerde YYEE ısı pompası cihazının COP değeri	108
Şekil 8. 27	05.07.2010 günü farklı saatlerde YYEE DTKIP ile duvardan soğutma sisteminin etkinliği.....	112

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 8. 1	YYEE Konteyner içten içe ölçüleri..... 81
Çizelge 8. 2	YYEE aylık ortalama güneş enerjisi ısı kazancı..... 88
Çizelge 8. 3	2.Derece gün bölgesi için aylık ortalama dış sıcaklık değerleri..... 88
Çizelge 8.4	YYEE Aylık kazanç kayıp oranı..... 89
Çizelge 8. 5	YYEE Aylık kazanç kullanım faktörü..... 89
Çizelge 8. 6	YYEE Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı 90
Çizelge 8. 7	YYEE Zemin kat ısı kaybı 92
Çizelge 8. 8	YYEE 1.kat ısı kaybı 93
Çizelge 8. 9	YYEE 2,3 ve 4 No'lu odaların ısı kazançları 96
Çizelge 8. 10	12.03.2010 saat 12.00.00'da YYEE ısı pompası verileri..... 102
Çizelge 8. 11	12.03.2010 saat 12.00.00'da YYEE test odası verileri 104
Çizelge 8. 12	05.07.2010 saat 11:40:00'da YYEE ısı pompası verileri..... 107
Çizelge 8. 13	05.07.2010 saat 11:40:00'da YYEE test odası verileri 109
Çizelge 8. 14	05.07.2010 saat 11:40:00'da YYEE test odası duvar sıcaklıkları 109

DUVARDAN ISITMA VE SOĞUTMALI TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Aslıhan BAŞKAL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Olcay KINCAJ

Bu çalışmada dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası kullanılarak elde edilen enerjinin duvardan ısıtma ve soğutma sistemindeki etkinliği incelenmiştir. Bu amaçla Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'nde kurulu Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'nde mevcut olan dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası ile duvardan ısıtma ve soğutma sisteminden yararlanılmıştır. Sistemin toprak devresi aralarında 7,5 metre bulunan 2 adet 60 metre derinlikte kuyudan oluşmaktadır. Isıtma ve soğutma enerji dağıtım sistemi ise Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'nin 3 odasının duvarlarına gömülü halde bulunan radyant hidronik duvar serpantinleridir. Sistemden alınan veriler hesaplanarak, nihai olarak elde edilen ısıtma ve soğutma enerjisi ile sistemin çalışması için dışardan verilen enerji karşılaştırılmış ve sistem performansı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası, toprak kaynaklı ısı pompası, radyant hidronik duvardan ısıtma, radyant hidronik duvardan soğutma.

**PERFORMANCE ANALYSIS OF THE GROUND SOURCE HEAT PUMP WITH
WALL HEATING AND COOLING**

Aslıhan BAŞKAL

Department of Mechanical
MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Olcay KINCAI

In this study, the efficiency of energy that is generated by means of vertical type ground source heat pump in the wall heating and cooling system have been examined. For this purpose, the vertical ground source heat pump and the wall heating and cooling system of the Yildiz Renewable Energy House at the Yildiz Technical University Davutpaşa Campus have been made use of... The ground line of system is composed of 2 wells which are 60 meters deep each and with 7,5 meters between them. The heating and cooling energy distribution system consists of radiant hydronic wall coils that are embedded in the walls of the 3 rooms of the Yildiz Renewable Energy House. Data obtained from the system has been used to calculate the final heating and cooling energy and compared with the energy introduced from outside for the system to work and the system performance has been determined.

Key words: Vertical type ground source heat pump, ground source heat pump, radiant hydronic wall heating, radiant hydronic wall cooling.

1.1 Literatür Özeti

Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) sistemi, ev ve ticari binaların ısıtılma ve soğutulmasında, yeryüzünde depolanmış doğal ısıl enerjiyi kullanır. TKIP bu enerjiye ek olarak az miktar elektrik enerjisine ihtiyaç duyar. Konvansiyonel enerji sistemleri ısı enerjisi elde edebilmek için kimyasal yanma işlemi gerçekleştirmek dolayısıyla da fosil yakıt kullanmak zorundadır. TKIP ise yeraltında depolanmış doğal enerjiyi yine yeraltına döşenen boruların içinden geçen ısı taşıyıcı akışkan yardımıyla kapalı bir çevrim ile istenilen ortama taşır [1].

Isı pompası uygulaması için yeraltının ısı kaynağı olarak kullanılmasının patenti ilk olarak 1912 yılında İsviçre’de Zoelly tarafından alınmıştır. 1940’ların sonu ve 1950’lerin ilk yarısında ABD’de yer kaynaklı ısı pompaları ile ilgili birçok deneysel çalışmalar yapılmış ve yayınlanmıştır. Bunun yanında 1950’lerde farklı toprak cinslerinden elde edilebilecek ısı akışının ölçüldüğü deneyler hem ABD hem de Kanada, İngiltere ve Almanya’da yapılmıştır. Bu çalışma ve uygulamalardan sonra yer kaynaklı ısı pompası sistemlerine olan ilgi o zamanlarda fosil kaynakların ucuz olarak elde edilmesi sebebiyle azalmış ancak 1973’te petrol fiyatlarındaki büyük artışla beraber yer kaynaklı ısı pompaları araştırmaları hız kazanmıştır. Bu dönemlerde özellikle Avrupa’da birçok deneysel çalışmalar ve araştırma projeleri yapılmıştır [2]. Franck ve Berntsson, 10-40 m derinliğe kadar düşey borular kullanarak, toprakta mevsimsel depolama ile güneş destekli ısı pompaları alanında İsveç’te yürütülen büyük bir araştırma programı doğrultusunda, iki deneysel tesisten elde edilen bazı ana sonuçları sunmuşlardır [3].

Partin, ısı pompaları için kapalı çevrimli toprak ısı değiştiricisinin boyutlandırılması üzerine bir çalışma yapmış ve belirli bir toprak kaynağı için toplam iletkenliğin lölmesiyle ilgili olarak bir yöntem vermiştir [4]. Kavanaugh, Amerika'nın güney iklimlerinde düşey toprak kaynaklı ısı pompalarının kabul edilebilirliğini ve işletme karakteristiklerini belirlemek üzere çalışmalarda bulunmuştur. Bu amaçla Alabama'daki 150 m² 'lik bir konutta kurulan bir ısı pompasının soğutma ve ısıtma performansı araştırılmıştır. Bi ve diğ., çift spiral kangal halindeki bir yer ısı değiştirgeci tasarlayarak, yer altında iki boyutlu sıcaklık dağılımını kontrol hacim metodu kullanarak belirlemişlerdir. Yeraltına döşenen kangal halindeki boru için ısı transfer modeli geliştirmişler ve kangal etrafındaki sıcaklık dağılımını sayısal olarak çözmüşlerdir [3].

Ülkemizde toprak kaynaklı ısı pompaları yeni yeni tanınmaya başlamıştır. Bu konuda çalışan firma sayısı çok azdır. ısı pompası ve toprağa döşenen borular ithal edilmekte olup henüz ülkemizde sadece tesisatın montajları gerçekleştirilmektedir [5]. TKIP konusunda Türkiye'de akademik çalışmalar ve deneysel uygulamalar yapılmaktadır. Kıncay vd. İstanbul'da yaptıkları bir uygulama ile dikey TKIP'da ısıtma sezonu için etkinlik katsayısının 2,5-3,2 arasında değiştiğini göstermişlerdir. Ayrıca bir villa için hesaplanan yüklere göre de ısıtma ve soğutma amacı ile önce dikey TKIP sistemi sonra hava kaynaklı ısı pompası sistemi için tasarımlar yaparak TKIP sistemin yıllık toplam maliyetinin %19 daha ucuz olduğunu bulmuşlardır. Demir, yatay TKIP kullanarak toprağın zamana bağlı sıcaklık eğrilerini çıkarmıştır [6]. Hepbaşlı vd. İzmir'de 50 m sondajla açılmış toprak kuyusuna gömülü U şeklindeki bir ısı değiştiricili TKIP'nın ısıtma performans katsayısını incelemişlerdir. Ayrıca TKIP'nın performansını ve kurulma maliyetini etkileyen parametreleri belirtmişlerdir. Özgener ve Hepbaşlı, kurmuş oldukları bir güneş enerjisi destekli TKIP sistemi ile yaptıkları deneysel çalışmada bir sera evinin ısıtılmasını gerçekleştirerek sistemin performansını incelemişlerdir. İnallı ve Esen, alan ısıtma için kullanılan yatay TKIP sisteminin performansı üzerine, toprak ısı değiştiricisinin yüzeyden derinliği, topraktan ısı çeken akışkanın (salamura) debisi gibi parametrelerin etkisini incelemişlerdir [7]. Açıkgöz [6], İstanbul'da bir villada ısıtma amaçlı kullanılan TKIP için güneş enerjisi desteğini incelemiştir. Bakırcı vd. [7], güneş-toprak kaynaklı ısı pompasını deneysel olarak incelemişlerdir.

Hidronik radyant sistemler, duvar, döşeme ya da tavana gömülü ve içinden sıcak/soğuk su geçen serpantinler vasıtasıyla ortamda istenilen ısı konfor şartlarını sağlayan sistemlerdir.

Radyant ısıtma ilk olarak Eski Roma'da hamam ve evlerin ısıtılması amacıyla uygulanmıştır. Hypocaust adı verilen bu sistem ile döşemeden sıcak hava geçirilmiştir [8]. Günümüzde radyant sistemler, duvar, döşeme ve tavanlarda hem ısıtma hem de soğutma amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Hidronik radyant ısıtma ve soğutma amaçlı olarak duvarın kullanılması için kısaca duvardan ısıtma ve soğutma ifadesi kullanılabilir. Duvardan ısıtma ve soğutma sistemi ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, Min vd., panellerde doğal konveksiyondan kaynaklanan ısı akısının hesaplanmasında da kullanılabilir, bir odanın doğal konveksiyon katsayılarını belirlemişlerdir. Feustel, hidronik radyant soğutma hakkında birçok çalışmayı incelemiş, konvektif soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında radyant soğutma sistemlerinin, ortamdaki hava sıcaklığının dağılımının ve çevre ile insan vücudu arasında ısı değişiminin homojen olmasından dolayı daha avantajlı olduğunu belirtmiştir [9]. Vangtook ve Chirarattananon [10], sıcak ve nemli iklime sahip olan Tayland'da radyant soğutma sistemini deneysel incelemişlerdir. Bunun için 4 m genişlik ve uzunlukta, 3 m yükseklikte, düzlemsel tavana sahip bir deney odasının tavanına ve duvarına toplamda 7,5 m² alana sahip ve içinden bakır borularla soğuk su geçen yine bakır paneller yerleştirmişlerdir. Sonuç olarak radyant soğutma sisteminin nemli ve sıcak iklime sahip bölgelerde ısı konfor elde etmek için uygulanabileceğini, radyant panellerin ortam havasını fazla etkilemediğini ancak radyant sıcaklığın düşmesine yardımcı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Karadağ ve Teke [11], tabandan ısıtmalı bir sistemde duvar ısı şartlarının taban Nusselt sayısına etkisini incelemişler, bunun için farklı duvar sıcaklıkları ve oda boyutlarında sayısal çözümler yapmışlardır. Sonuç olarak taban Nusselt sayısının hesaplanmasında taban ısı şartları ile birlikte duvar ısı şartlarının da göz önüne alınması gerektiğini ileri sürmüşlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Enerji, geçmişte olduğu gibi günümüzde de çok önemli ve stratejik bir kavramdır. Sanayi ve teknolojinin hızla gelişmesi, dünya nüfusunun ve yaşam standartlarının artması enerjiye olan talebi de sürekli arttırmakta, dolayısıyla enerji üretiminin yanısıra enerjiyi etkin ve verimli ve aynı zamanda çevreye en az zarar verecek şekilde tüketme zorunluluğu, günümüzün ve geleceğin çözülmesi gereken en önemli problemlerinden biri olmaktadır.

Dünyadaki enerji türlerinin kökeni olarak güneş enerjisi gösterilmekte, diğer enerjiler ise güneş enerjisi kökenli “dönüşüm enerjileri” olarak tanımlanmaktadır. Enerji kaynaklarını üç ana başlıkta toplamak mümkündür. Birincisi yerin altında kalan bitkilerin ve canlıların bataklık alanlarda birikmesi sonucu oluşan tabakaların değişime uğramasıyla meydana gelen “fosil yakıtlar”dır. İkincisi potansiyeli mevcut olan ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanımı artan “yeni” enerji kaynaklarıdır. Üçüncüsü ise tükenmeyen, eksilmeyen “yenilenebilir” enerji kaynaklarıdır. Bilinen enerji kaynaklarına alternatif yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, gel-git enerjisi, okyanus ısı enerjisi, hidroelektrik enerji, hidrojen enerjisi, biyokütle ve biyogaz enerjisi tanımlanmaktadır. Tüm yenilenebilir enerjiler ve hatta fosil yakıtlar enerjilerini güneşten almaktadır.

Dünya enerji kaynakları içerisindeki en büyük pay fosil yakıtlara aittir. Alternatif enerji kaynakları konusunda yapılan çok ciddi çalışma ve araştırmalara rağmen fosil yakıtların toplam dünya enerji tüketimi içerisindeki payı %85-90 oranında yer almaktadır. Günümüzde kullandığımız ikincil enerjinin (elektrik vb.) büyük bir kısmı da fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Ancak bu yakıtların rezervlerinin sınırlı ve tükenmek üzere olduğu artık bilimsel çalışmalarla da ispatlanmış olup, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimler artmaktadır.

Fosil yakıtların çevre ve insan sağlığı açısından yarattığı olumsuzluklar her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtlar, yakıldığında sera gazının açığa çıkmasına neden olmaktadır. Sera gazlarının en belirleyici olanı ise karbondioksit ve metan gazıdır. Bunların yanında kükürt, partikül madde, azotoksit, kurum ve kül gibi atıkların da çevreyi aşırı derecede kirlettiği bilinmektedir. Bunun sonucunda insanoğlunun geleceği açısından yeni ve

yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması ve sürekliliğinin sağlanması ihtiyaç olmaktan çıkarak yaşamsal bir zorunluluk halini almaktadır [12].

Türkiye, OECD ülkeleri içerisinde geçtiğimiz 10 yıllık dönemde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke durumundadır. Aynı şekilde ülkemiz, dünyada 2000 yılından bu yana elektrik ve doğalgazda Çin'den sonra en fazla talep artışına sahip ikinci büyük ekonomi konumunda olmuştur [13]. Bunun yanında Türkiye enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü ithal etmektedir. 2006 yılında genel enerji arzı 99,6 MTEP olmuştur. Bu arzı karşılamak için yerli enerji üretimi 26,8 MTEP düzeyinde kalmış olup, net ithalat 72,8 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Yani 2006 yılı itibarıyla enerji tüketimimizin sadece %27'si yerli kaynaklarla karşılanabilmiştir. ETKB tarafından yapılan uzun vadeli projeksiyonlarda dışa bağımlılık oranının 2010'da %71, 2015'te %68 ve 2020 yılı için %70'ler seviyesinde olacağı tahmin edilmektedir. Enerji ithalatı için 2006 yılında 29 milyar dolar ve 2007 yılında ise 33,9 milyar dolar ödenmiştir. Sadece enerji fiyatlarının artma eğiliminde olması değil, aynı zamanda yüksek ithalat bağımlısı olduğumuz ülkelere yönelik arz güvenliği kaygıları da enerji ajandamızın başında yer alan diğer bir husustur [12].

Hem Dünya hem de Türkiye için enerjinin etkin ve verimli kullanılması vazgeçilemez bir zorunluluk olmuştur. Enerji mevcut talebi karşılamakla beraber ihtiyaçtan fazla tüketimi engellenmeli, daha az enerji ile daha çok iş yapılabilmesi, daha çok ürün ve hizmet elde edilmelidir, aynı zamanda enerji üretim ve tüketiminin çevreye vereceği zarar minimuma indirilmelidir. Bunun için özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ile beraber kullanılacak alternatif teknolojiler geliştirilmeli ve bu sistemlerin sanayi ve günlük yaşamda kullanılabilirliğini sağlayacak çalışmalar yapılmalıdır.

Bu çalışmada, fosil yakıtların gittikçe artan maliyetlerinin yanında ömrünün kısa olması ve küresel ısınmaya sebep olan sera gazı etkisi yaratma özelliği sebebiyle yönelinen yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan "toprak kaynaklı ısı pompası" sisteminden elde edilecek ısı enerjisiyle, konvansiyonel iklimlendirme sistemlerine göre daha az enerji kullanılan "duvardan ısıtma ve soğutma" sisteminin enerjisi karşılanacak ve bu birleşik sistemin performansı değerlendirilerek ileride alternatif olarak kullanılabilmesi tartışılacaktır.

1.3 Hipotez

Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) sistemi, çevre dostu yenilenebilir bir enerji elde sistemi olmasının yanında hem konvansiyonel sistemlere ek olarak hem de diğer yenilenebilir enerji elde sistemleri ile birlikte kullanılabilir. Hidronik radyant sistemler gibi özellikle düşük enerjilerle konfor şartları sağlayabilen ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji ihtiyacını karşılamak için ideal olan ve sürekli gelişen enerji elde sistemi TKIP, çevre dostu olması ve fosil yakıtların gün geçtikçe artan fiyatları sebebiyle gelecekte günümüzden daha çok rağbet görecektir.

Konvansiyonel iklimlendirme sistemleri ile karşılaştırıldığında hidronik radyant ısıtma ve soğutma sistemleri oldukça düşük enerji ile konfor ortamı yaratırlar. Bu nedenle özellikle ısı pompası sistemleri ile birlikte kullanılabilirler. Radyant sistemlerde ısı transferinin büyük çoğunluğu radyasyon ile gerçekleşir. Radyasyonla gerçekleşen ısı transferinde ısı enerjisi elektromanyetik dalgalarla hareket eder. İç ortamda hava hareketini sağlamak için fana ihtiyaç duyulmaz. Bu gibi özellikleri ve düşük enerji ihtiyacı sayesinde enerji verimliliği açısından gelecekte hidronik radyant sistemlerin hem ev hem de ticari binalarda tercih edileceği açıktır.

Duvarдан ısıtma ve soğutma sistemi radyatör veya fan coil sistemleri ile yerden ısıtma ve soğutma sisteminin olumlu yönlerine sahip bir ısı konfor oluşturma sistemidir, yıl boyunca sıcaklığında fazla değişim olmayan toprağı ısı kaynağı olarak kullanan toprak kaynaklı ısı pompası ile birlikte uygulanarak, gerekli ısı konforu sağlarken çevreye zararı minimuma indirir, aynı zamanda konvansiyonel iklimlendirme sistemleri ile karşılaştırıldığında daha az enerji ihtiyacı olduğundan ekonomiktir.

BÖLÜM 2

ISIL KONFOR

Isıl konfor, ASHRAE Standart 55'te belirlenen biçimiyle, "ısı çevreden memnuniyet ifade eden ruh durumu" dur [14].

Bir ortamda bulunan kişilerin ısı konforu, kişilerin metabolik ısı üretimine ve kendini çevreleyen ortamlarla arasındaki ısı transferine bağlıdır. Bir kişinin metabolik ısı üretimi o kişinin fiziksel aktivite düzeyi ve vücut büyüklüğüne bağlı olarak oluşur. Kişinin bulunduğu ortam ve ortamdaki cisimlerle arasında gerçekleşen ısı alış veriş konveksiyon ve radyasyon şeklindedir. Konveksiyonla gerçekleşen ısı alışverişi, ortam havasının doğal hareketi veya fan, rüzgar gibi dış bir kaynaktan yönlendirilen hava hareketi ve kişinin cilt sıcaklığı ile ortam havasının sıcaklığı arasındaki farka bağlıdır. Radyasyonla gerçekleşen ısı alışverişinde ise ortam havasının ısı transferine etkisi yoktur. Radyasyonla gerçekleşen ısı transferi öncelikle ortamda bulunan kişilerin konumlarına ve ortamdaki yüzeyler ile aralarındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Hem konveksiyon hem de radyasyonla gerçekleşen ısı transferi, yüksek sıcaklıktaki sistemden düşük sıcaklıktaki sisteme doğrudur. Eğer kişinin cilt sıcaklığı ortam havası ve ortamdaki diğer yüzeylerin sıcaklığından düşükse kişi enerji kazanacaktır, tam tersi durumda ortam havası ve ortamdaki yüzeylerin sıcaklığı kişinin cilt sıcaklığından düşükse kişi enerji kaybedecektir. Bütün bu enerji kazanım ve kayıpları ısı konforu etkileyen faktörlerdir.

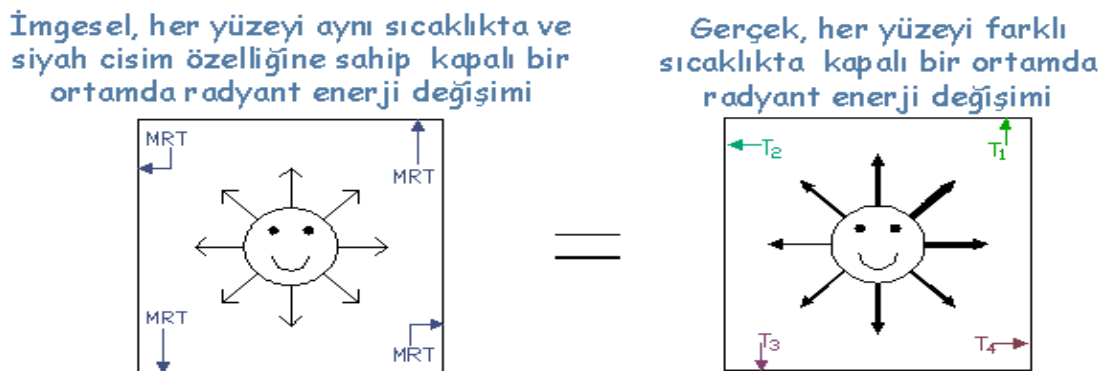
Isıtma ve iklimlendirme sistemlerinin dizayn konseptine bakıldığında, dış hava sıcaklığı için kabul edilebilecek bir iç ortam sıcaklığı oluşturan sistemler üzerinde odaklanılmakta ve iç ortam dizayn sıcaklığına ulaşıldığında, ortamda bulunan kişilerin ısı konforuna ulaştığı düşünülmektedir. Bu yaklaşım, konvektif enerji ve radyant enerji

arasındaki farkı dikkate almamakta, bu nedenle dizayn sıcaklığı kişilerin ısı konforunu tam olarak ifade edememektedir.

Isıl konforun saptanmasında birçok parametre dikkate alınır. Sağlık, psikolojik ve sosyal durum, aktivite düzeyi ve giyim ısı konforu etkileyen kişisel parametrelerdir [15]. Ortam hava hızı ve sıcaklığı, bağıl nem, radyant asimetri, ortalama radyant sıcaklık (MRT), operatif sıcaklıktaki (OT) değişimler ısı konforu etkileyen diğer faktörlerdir [16].

2.1 Ortalama Radyant Sıcaklık (MRT)

Ortalama radyant sıcaklık (MRT), bir ortamda bulunan kişilerin etrafındaki yüzeylerin ortalama sıcaklığı olarak ifade edilebilir. Ortalama radyant sıcaklığın (MRT) teknik olarak ifadesi; farklı yüzey sıcaklıklarına sahip kapalı bir ortamda bulunan bir kişinin yüzeyler ile arasında oluşan radyasyonla ısı transferi değerine eşit miktarda radyasyonla ısı transferi sağlayacak, her yüzeyi eşit sıcaklık değerinde ve siyah cisim özelliğine sahip imgesel kapalı bir ortamdaki yüzeylerin sabit sıcaklık değeridir. Şekil 2.1’de MRT görsel olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2. 1 MRT'nin görsel ifadesi [15]

Şekil 2.1’de sağ resimde her yüzeyi farklı sıcaklık değerine sahip gerçek bir ortamda bulunan bir kişi ile yüzeyler arasında radyasyonla ısı transferi gerçekleşmektedir. Ancak her yüzeyin sıcaklığı farklı olduğu için her yöne doğru farklı miktarlarda radyant enerji değişimi oluşur. Soldaki resimde ise bütün yüzeylerindeki sıcaklıkları eşit ve bütün yüzeyleri siyah cisim özelliğine sahip (yayıcılık = 1) imgesel kapalı bir ortamda bulunan kişi ile yüzeyler arasında radyasyonla ısı transferi gerçekleşmektedir. Bütün yüzeylerin sıcaklığı birbirine eşit olduğu için imgesel ortamda her yöne doğru eşit miktarlarda

Radyant enerji değişimi oluşur. Bu iki farklı ortamda gerçekleşen radyasyonla ısı transferi toplamlarının birbirine eşit olabilmesini sağlayan imgesel ortamın yüzey sıcaklığı MRT sıcaklığıdır. Başka bir değişle gerçek bir ortamda bulunan kişilerle yüzeyler arasında gerçekleşen radyant enerji değişiminin, imgesel kapalı ortamdakinde bulunan aynı kişilerle gerçekleşen radyant enerji değişimine eşit olabilmesi için imgesel ortamın yüzey sıcaklıklarının MRT değerinde olması gerekir.

MRT bir ortamdaki radyant enerji değişimine bağlıdır ve odanın geometrisi, duvarlarının özellikleri, pencerelerin yerleşimi ve tipi, odada bulunan kişilerin yön ve konumları MRT'ye etki eden faktörlerdir.

Bir alandaki ısı konforda MRT'nin kritik rolü vardır. Ortam havasının sıcaklığı ile karşılaştırıldığında MRT, ortamda bulunan kişilerin ısı konforunu daha iyi tanımlar. Isıl konfor dizayn ve hesaplamalarında MRT'nin amacı, bir ortamın özel bir noktasında bulunan bir kişinin radyant enerji değişimini göstermesidir.

Radyant ısı transferinin karmaşık doğası nedeniyle MRT'yi ölçmek ve hesaplamak zordur. MRT'nin ölçülmesinde globe termometre adı verilen özel bir termometre kullanılır, hesaplanmasında ise farklı metodlar vardır [15]. MRT hesaplaması ile ilgili açıklamalar 4. Bölüm'de verilmiştir.

2.2 Operatif Sıcaklık (OT)

Operatif sıcaklık (OT), gerçek ve üniform olmayan (duvar alanları, sıcaklık dağılımı, hava hareketi farklı) bir ortamda bulunan bir kişinin konveksiyon ve radyasyon ile gerçekleşen ısı transferi miktarına eşit değerde konveksiyon ve radyasyonla enerji değişimi sağlayacak, üniform, sabit sıcaklıkta siyah cisim özelliğinde yüzeylere sahip kapalı bir ortamın sıcaklığıdır. OT, ortam hava sıcaklığı ile MRT'yi aynı sayısal değerde birleştirir. OT, konvektif ve radyant enerji değişimine vücudun verdiği tepkinin bir ölçüsüdür. Fiziksel anlamda OT, bir kişinin bulunduğu ortamdaki konvektif ve radyant enerji değişimlerinden dolayı algıladığı sıcaklıktır.

Bir ortamdaki hava sıcaklığı, duvar, pencere ve diğer yüzeylerle gerçekleşen radyant enerji değişiminin, MRT ise ortam havasının sıcaklığının, kişiler üzerindeki etkisini

hesaba katmaz. Operatif sıcaklığın yerel termal konfor üzerinde ortam sıcaklığı ve MRT'den daha etkili bir ölçüt olduğu ilk kez Fanger tarafından öne sürülmüştür [15].

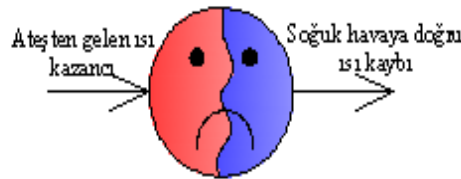
Operatif sıcaklık, ortam hava sıcaklığı ile MRT 'nin ağırlıklı ortalaması olarak hesaplanır. (2.1)'de ASHRAE (1995) tarafından verilmiş OT hesabı görülmektedir.

$$OT = \frac{h_r MRT + h_c T_{ortam}}{h_r + h_c} \quad (2.1)$$

(2.1)'de h_r ve h_c sırasıyla linerleştirilmiş radyant ve konveksiyon ısı transfer katsayılarını göstermektedir [15].

2.3 Radyant Asimetri

Radyant asimetri, MRT ve ortam havasının sıcaklık değerlerinden bağımsız olarak ısı konforu olumsuz etkileyen bir faktördür. Isı kaynağının bulunduğu konum itibariyle, ısı enerjisinin ortamda bulunan kişiye tek bir yönden ulaşması nedeniyle oluşur. Örneğin soğuk bir kış gününde kamp yapan bir kişinin ateş yaktığını ve soğuk havanın verdiği etkiyi dengelemek için ateşe yaklaştığını düşünelim. Ateşten yayılan ısı enerjisi, kampçının vücudunun ateşe yönelen kısmını ısıtacak, vücudun kalan kısmı soğuk havaya doğru ısı enerjisi kaybedecektir. Bu durumda kampçı radyant asimetriden dolayı kendini ısı açıdan rahat hissetmez (Şekil 2.2) [15].



Şekil 2.2 Radyant asimetrinin ısı konfor üzerindeki etkisi [15]

İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

Bir iklimlendirme sistemi, belirli bir mahalde, istenen çevresel koşulların korunmasını sağlar. Hemen her uygulamada, bu temel amacı gerçekleştirmek üzere birçok seçenek göz önünde bulundurulur. Tasarım amacına ilişkin kriterlerin belirlenmesi ve öncelik sırasına konulmasıyla bu amaca uygun ve istenen performansı sağlayan bir veya birkaç sistem uygulanabilir.

Bir mahalde istenen konfor, ısıtma prosesi, soğutma ve havalandırma kriterleri, aşağıdaki etkenler dikkate alınarak değerlendirilebilir;

- Sıcaklık
- Nemlilik
- Hava hareketi
- Hava temizliği veya kalitesi
- Saatteki hava değişimi
- Yerel iklim
- Ortalama radyant sıcaklık
- Mahal basınç gereksinimleri
- Bir yük hesaplama analizine dayanan kapasite gereksinimleri
- Kurulum maliyeti
- İşletme maliyeti

- Bakım maliyeti
- Güvenilirlik

Bu etkenler birbirleri ile ilişkili olduklarından birbirlerini nasıl etkilediklerinin düşünülmesi gerekir. Bu etkenlerin önemlilik derecesi farklı proje özelliklerine göre değişir. İstenen mahal şartlarının sağlanmasının yanısıra ticari, mimari ve kullanabilecek enerji kaynakları da bir iklimlendirme sistemi kurulurken ilave amaç olarak göz önünde bulundurulur [14].

3.1 İklimlendirme Sistemlerinin Sınıflandırılması

İklimlendirme sistemlerinde konvansiyonel ve alternatif enerji kaynakları ayrı ayrı kullanılabilceği gibi beraber kullanılarak hibrit sistemler de oluşturulabilir. İklimlendirme sistemlerini öncelikle merkezi sistemler ve bireysel sistemler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Merkezi sistemler; tamamen havalı, tamamen sulu ve de ayrıca hava+sulu olmak üzere üçe ayrılır. Tamamen havalı sistemler tek veya çok zonlu olabilir. Tamamen sulu sistemler iki ve dört borulu fancoil ve panel sistemleridir. Bunlara taze hava ilave edilince havalı ve sulu sistemler elde edilir. Ayrıca soğuk su yerine doğrudan soğutucu akışkanın dolaştırıldığı merkezi sistemler vardır. Bireysel sistemleri ise paket tipi üniteler, split cihazlar ve kanallı split cihazlar olarak ayırmak mümkündür. Ayrıca evaporatif soğutma sistemleri, nem alma bazlı klima sistemleri, ısı depolu klima sistemleri, tekstil sektöründe kullanılan hava yıkamalı klima sistemleri gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılan çeşitli özel iklimlendirme sistemleri bulunur [17].

3.1.1 Merkezi İklimlendirme Sistemleri

3.1.1.1 Tamamen Havalı İklimlendirme Sistemleri

Isı transfer akışkanı olarak havanın kullanıldığı sistemlerdir. HVAC ekipmanı merkezi olarak yerleştirilmiştir. Tamamen havalı sistemler, soğutulmuş ve nemi alınmış havayı şartlandırılacak odaya yollayarak duyulur ve gizli soğutma, ısıtılmış havayı şartlandırılacak odaya yollayarak ısıtma yaparlar. Tamamen havalı sistemler nem alma, havayı filtreleme ve taze hava sağlama özelliğine sahiptirler. Tamamen havalı sistemler, sabit debili veya değişken debili, merkezi klima santrali içinde seri bataryalı veya paralel

bataryalı, tek kanallı veya çok kanallı, tek zonlu veya çok zonlu olarak sınıflandırılabilirler [17].

3.1.1.2 Tamamen Sulu İklimlendirme Sistemleri

Isı transfer akışkanı olarak suyun kullanıldığı sistemlerdir. Merkezi bir üniteye ısıtma veya soğutma amaçlı olarak hazırlanan su, borularla iklimlendirilecek zonda bulunan cihazlara taşınarak gerekli şartlandırma sağlanır. Tamamen sulu sistemlerin en bilinen örneği fancoil cihazlarıdır. Fancoil cihazları havanın fanla hareket ettiği konvektörlerdir. Fancoil serpantinlerinden merkezde hazırlanan sıcak veya soğuk su akarken cihazın içinde bulunan fan ile ortam havası bu serpantinlerden geçerek istenen iklimlendirme şartları oluşturulur. Fancoil cihazlarının en bilinen örneği iki borulu fancoil sistemleridir. Bu uygulamada kışın sıcak, yazın da soğuk su fancoile gelen tek boru içinden dağıtılır. Dolayısıyla ya ısıtma ya da soğutma yapılabilir. İkisinin aynı anda olması olanaksızdır. Bu nedenle geçiş mevsimlerinde konforsuzluk sorunu yaşanır. Dört borulu fancoil sistemlerinde her cihaza 4 boru bağlanır. Aynı cihaza aynı anda hem soğuk hem de sıcak su gelebilir. Zonun ihtiyacına göre ısıtma veya soğutma yapılır. Aynı anda bazı zonları ısıtmak, bazı zonları soğutmak bu sistemde mümkündür. Diğer özellikleri ve tipleri iki boruluya benzer. Tamamen sulu sistemler içinde panel sistemler de bulunmaktadır. En bilineni, panel radyatörlerle sıcak sulu ısıtma uygulamasıdır. Yapının tavan, döşeme, duvar gibi bir elemanının da panel olarak kullanılması mümkündür. Sadece panel ısıtma ve panel soğutma yapılacağı gibi iki borulu veya dört borulu sistemlerle aynı panelin hem ısıtma hem de soğutma amacıyla kullanılması da mümkündür [17]. Hidronik panel sistemler 4. Bölüm’de daha detaylı ele alınmıştır.

3.1.1.3 Hava ve Sulu İklimlendirme Sistemleri

Hava+sulu iklimlendirme sistemlerinde ısıtma ve soğutma fancoil cihazlarıyla gerçekleştirilir. Buna karşılık her hacime kanallarla taze hava beslenir. Bu % 100 taze hava bir merkezi santralde ön şartlandırılır. Egzoz sistemi de merkezi olarak gerçekleştirilir [17].

3.1.1.4 Değişken Soğutucu Akışkan Debili İklimlendirme Sistemleri

Değişken soğutucu akışkan debili sistemler, doğrudan soğutucu akışkanın dolaştığı merkezi sistemlerdir. Burada bir dış ünite elde edilen sıvı soğutucu akışkan, her bir zonda bulunan iç ünite cihazlarına gönderilir. İç ünite cihazında sıvı akışkan buharlaşırken ortamdan ısı çeker. Zon kontrolü, buharlaştırılan soğutucu akışkan miktarının değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. Akışkanın ters döndürülmesiyle bu ünitelerde ısıtma da yapılabilmektedir [17].

3.1.2 Bireysel İklimlendirme Sistemleri

3.1.2.1 Paket Tipi İklimlendirme Sistemleri

Paket tipi ünitelerde kompresör, kondansör ve evaporatör aynı paketin içindedir. Sadece cihaz dış hava ile irtibatlandırılır veya cihaza soğutma suyu bağlantısı yapılır. Bunların iç ortama yerleştirilen dış duvara veya pencereye monte edilebilen tipleri vardır. Her zonda bir tane cihaz kullanılır [17].

3.1.2.2 Split Tip İklimlendirme Sistemleri

Split cihazlarda kompresör ve kondansör ünitesi bina dışına yerleştirilir. Evaporatör ünitesi ise içeridedir. Arada boru bağlantısı vardır. Isı pompalı split iklimlendirme cihazları ile kışın ısıtma, yazın soğutma yapılabilir [17].

PANEL ISITMA ve SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Panel ısıtma ve soğutma sistemleri, duvar döşeme veya tavanlarda, sıcaklığın kontrol edildiği iç mahal yüzeylerini kullanırken bu sistemlerde sıcaklık, suyu ya da havayı sirküle ederek veya panellere gömme olarak monte edilmiş elektrik devrelerinden akım geçerek korunur.

Panel sistemleri, kontrol edilen yüzey sıcaklığının 150°C'nin altında olması ile karakterize edilir ve tek zonlu, sabit sıcaklıklı, sabit hava hacimli merkezi bir cebri hava sistemiyle veya çift kanallı, tekrar ısıtmalı, çok zonlu yada değişken hacimli sistemlerle, merkezi olmayan konvektif sistemlerle, mahal içi terminal fancoil birimleriyle birlikte çalışabilir. Bu biçimde birleşik çalışan sistemlere yük paylaşımli sistemler (hibrid sistemler) denir.

Isı transferinin % 50'den fazlası radyasyon yoluyla gerçekleşiyorsa sıcaklığın kontrol edildiği yüzey " *radyatif panel*" adını alır [14]. Radyasyon veya ışınım, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı ya da aktarımıdır [18]. Birbirini gören yüzeyler arasında sıcaklık farkı olduğu sürece ışınım ile ısı aktarımı olduğunu söylemek mümkündür [19].

Panel ısıtma ve soğutma sistemleri, iç mahal sıcaklığını olduğu kadar yüzey sıcaklıklarını da kontrol ederek kabul edilebilir bir ısı çevre yaratır. Doğru tasarlanmış bir sistemde, içeride bulunanlar mahalın ısıtıldığını veya soğutulduğunu fark etmezler. İnsanın ısı konforu üzerinde MRT'nin önemli bir etkisi bulunmaktadır. Binayı oluşturan yüzeylerin sıcaklığı, (özellikle aşırı cam yüzeyler içeren dışa bakan duvarlar) çevresel sıcaklıktan önemli miktarda ayrıldığında, konvektif mekanizma soğuk veya sıcak yüzeylerin

yarattığı konforsuzluğu ortadan kaldırmada bazen güçlükle karşılaşır. Isıtma ya da soğutma panelleri bu eksikliği nötralize ederken insan bedeninden radyasyonla ısı kaybı ya da ısı kazancını en aza indirir [14].

Radyant panel sistemler konvansiyonel iklimlendirme sistemlerine göre daha düşük ortam sıcaklıklarında konfor sağlarlar. Radyant sistemlerin özellikleri, konvektif sistemlere göre 2,2 ile 3,3°C düşük kuru termometre sıcaklığında konfor sağlamalarıdır. Amerikan Enerji Departmanı'nın kılavuzuna göre, sıcaklıktaki yaklaşık 0,5°C'lik azalma, enerji gereksinimini de %3 azaltmaktadır. Bu durumda konvektif sistemlerle karşılaştırıldığında radyant sistemler aynı konforu sağlamak için %12 ile %18 oranında daha az enerji gerektirirler.

Radyant panel sistemler konvansiyonel (gaz, petrol, elektrik) ve alternatif enerji kaynaklarıyla çalıştırılabilir [15].

4.1 Radyant Hidronik Panel Sistemler

Radyant hidronik panel sistemler, tüm radyant sistemlerde olduğu gibi ısı transferinin %50 ve daha fazlasının radyasyon yoluyla gerçekleştiği sistemlerdir. Radyant hidronik sistemleri diğer radyant sistemlerden ayıran özellik, ısıyı transfer edebilmek için merkezi bir kaynaktan aldığı ısı transfer akışkanını (genellikle su) istenilen ortamdaki panellere taşımasıdır. Radyant hidronik sistemler, zemin, duvar veya tavanı panel konumlandırması olarak kullanılırlar.

Radyant hidronik sistem teknolojisinin güçlenmesi, yarı sert ve esnek polimerik boru malzemelerindeki gelişmeye dayandırılır. Hidronik radyant sistemlerde metal boruların yerini PEX olarak bilinen çapraz bağlı polietilen borular almıştır. PEX borular toksik olmayan ve kurşunsuz borulardır. Bakır ve diğer metal boruların kimyasal yapısı, ısı transfer akışkanına zarar verebilir.

Radyant hidronik sistemlerde panel yüzey sıcaklığı, panel içi gömülü boruların konumlanmasına bağlıdır ve içindeki ısı transfer akışkanının sıcaklığı ve akış oranının fonksiyonudur.

Radyant hidronik sistemlerle ısıl konfor, panele gömülü borulardaki akışkanın sıcaklığı, panel yüzey sıcaklığı, ortam havasının kuru termometre sıcaklığı, MRT, OT değerlerinin

kontrolü ile sağlanır. Radyant hidronik sistemlerin kontrolü bazen karmaşık olmasına rağmen ısı konfor sağlamada hemen hemen her zaman başarılıdır. Isıl konforu karşılamada MRT önceliklidir. Zorlanmış konvektif sistemlerde kontrol sadece ortam havasının kuru termometre sıcaklığı ile yapılır ve ısı konfor için gerekli OT değerini elde edebilmek için MRT'nin eksikliği kuru termometre sıcaklığını yükselterek elde edilmeye çalışılır.

Radyant hidronik panellerin en önemli avantajı, ısı pompası sistemleriyle birlikte kışın ısıtma yazın soğutma amaçlı kullanılmasıdır [15].

4.1.1 Radyant Hidronik Duvar Panelleri

Radyant hidronik duvar panelleri, duvara gömülü borular ve duvar yüzeyine monte panellerden oluşur (Şekil 4.1). Gömülü radyant duvar sistemleri genellikle düşük sıcaklıktaki radyant uygulamalar için dizayn edilir [15].



Şekil 4. 1 Radyant hidronik duvar paneli [20]

Petekli kalorifer sistemlerinde su sıcaklığı 80-90°C arasındadır. Peteklerin oda içinde bulunduğu bölge çabuk ısınır ve sıcak hava hızla odanın üst kısmına yükselir. Neticede tavan aşırı derecede ısınırken taban kısmı istenilenden daha soğuk kalır. Bu nedenle rahat bir ortam sıcaklığına ulaşabilmek için daha fazla enerji ve zaman harcanır. Radyant hidronik duvardan ısıtma sisteminde, borular içinden geçen suyun sıcaklığı 35-45°C arasındadır. Oda içindeki duvarlara dağıtılan borular, sıcaklığı odanın her tarafına eşit olarak yayar. Böylelikle 18-20°C oda sıcaklığında bile rahat hissedilir. Duvardan ısıtma sistemi, radyatörlü ısıtma sistemi ile yerden ısıtma sisteminin karma şeklidir. Yerden ısıtma sistemindeki bazı dezavantajlar duvardan ısıtma ile bertaraf edilmiştir.

Radyatörlü sistemde yüzeyin az olması nedeniyle oluşan sorunlar duvardan ısıtmada oluşmaz [21].

Hidronik radyant sistem duvardan soğutma amaçlı kullanıldığında, borulardan 18 ile 20°C sıcaklıkta su geçirilir. İstanbul şartları için çığ noktası olan 14°C'nin altında duvar sıcaklığı oluşmadığından duvarlarda nemlenme görülmez. Bu şartlar altında mahalde 20-22°C'lik doğal ortam serinliği elde edilmektedir [22].

Radyant hidronik duvar panelleri diğer radyant hidronik sistemlerde olduğu gibi ısı pompası sistemleriyle kullanılabilirler. Böylece arzuya göre hem ısıtma hem de soğutma sağlarlar [15].

4.1.2 Hidronik Sistemlerde Enerji Kaynakları

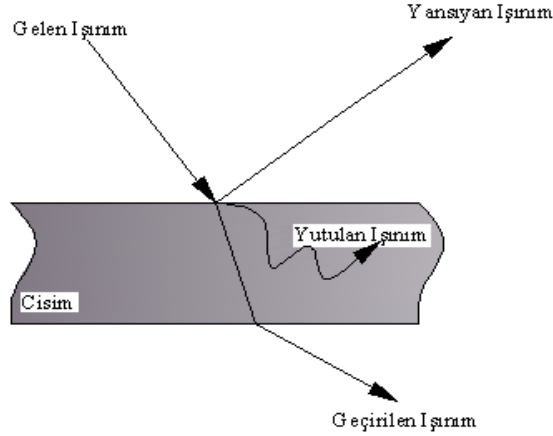
Radyant hidronik sistemlerde ısı taşıyıcı akışkanın enerjisini karşılamak üzere elektrik, gaz, propan, fuel-oil veya alternatif enerji kaynakları kullanılabilir [15].

4.2 Isıl Radyasyonun İlkeleri

Isıl radyasyon, ışık hızıyla iletilir, düz hatlar boyunca hareket eder ve yansıtılabilir, soğurma yoluyla cisimlerin sıcaklığını arttırırken içerisinden geçtiği havayı fark edilecek kadar ısıtmaz ve bir bina çevresindeki bütün cisimler tarafından alınıp verilir. Isıl radyasyonun ortaya çıkış miktarı aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- Radyasyon yayan yüzey ile radyasyon alan yüzeyin sıcaklığı,
- Radyasyon yayan yüzeyin yayıcılığı,
- Radyasyon alan yüzeyin yansıtıcılığı, emiciliği ve geçirgenliği,
- Yayınan ve alan yüzeylerin birbirlerini görme faktörü (içerideki bir insanın radyasyon kaynağını görüş açısı) [14].

Isının radyasyonla transferinde, kaynakta ısı önce elektromagnetik dalgalara dönüşür, sonra bu dalga hareketi bağlantıyı sağlayan hacimden geçer, daha sonra karşıt yüzeyde kısmen veya tamamen tekrar ısı enerjisine dönüşür. Radyasyon (ışınım) yoluyla transfer olan ısı, düştüğü yüzey tarafından kısmen absorbe edilir, kısmen geri yansıtılır ve kısmen de transit şekilde geçirilir [23].



Şekil 4. 2 Bir yüzeye gelen ışınımın yansıması, yutulması ve geçirilmesi

Yüzey pürüzlülüğü ve dokusunun sırasıyla ısı konveksiyon ve ısı radyasyon üzerine ciddi etkileri bulunmaktadır. Radyasyon yüzeyinin yapısı kritik önemdedir. Genellikle pürüzlü yüzeyler düşük yansıtıcılık, yüksek yayıcılık ve emicilik özelliğine sahiptirler. Bunun tersine düzgün ya da parlak metal yüzeyler yüksek yansıtıcılığa, düşük yayıcılık ve emicilik özelliğine sahiptirler.

Isıl radyasyona verilebilecek bir örnek, soğuk ve güneşli bir günde güneş ışınları altında bulunan birinin duyduğu sıcaklık hissidir. Bazı ışınlar direk güneşten gelir ve hemen bütün elektromanyetik spektrumunu içerir. Diğer ışınlar çevredeki cisimler tarafından emilir veya yansıtılır. Bu olay, cisimlerin sıcaklığı tarafından üretilen dalga boyu ile yansıtılan radyasyonun dalga boyunun bileşimi olan ikincil radyasyon ışınları yaratır. Eğer güneşin önünden bir bulut geçerse, ani bir soğuk hissedilir. Bu duyumsama çevre sıcaklığında küçük bir değişme olmasına rağmen daha çok güneş radyasyondan alınan ısı miktarının azalması nedeniyledir [14].

4.3 Panel Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

4.3.1 Panel Sistemlerin Avantajları

- Sadece iç mahal sıcaklığı değil MRT de kontrol edilebildiği için, toplamda insanların duyduğu konfor daha iyi sağlanır.
- İnsanların konforu için gerekli OT, temelde koşullandırılan mahaldeki MRT kontrol edilerek korunabildiği için, kuru termometre sıcaklığı ısıtma ve soğutma

yüklerini düşürecek biçimde olabilir (Isıtmada düşük, soğutmada yüksek).

- Suyla çalışan panel ısıtma sistemleri, diğer sulu ısıtma veya soğutma sistemlerine seri olarak bağlanabilir.
- Isıl yükler doğrudan sağlandığı ve mahaldeki hava hareketi sadece havalandırma gereklerinden kaynaklandığı için konfor düzeyleri diğer mahal koşullandırma sistemlerinin sağladığından daha yüksek olabilir.
- Düşük enerji kaynakları ve ısı pompaları ekipman büyüklüğü ve çalışması yönünden herhangi bir olumsuzluk getirmeksizin panel sistemlere eklenebilir.
- Mahal koşullandırma ekipmanının bir duvara yerleştirme gereği olmadığından, duvar, döşeme ve tavan yapısını basitleştirir.
- Gerekli bütün ekipman bakım ve onarım hizmetlerini kolaylaştıracak biçimde merkezi bir yere kurulabilir.
- Koşullandırılan mahalde, mekanik ekipman için ayrı bir yere gereksinim yoktur. Bu özellikle yer kullanımının birincil önemli olduğu yerlerde, hastanelerdeki hasta odaları gibi maksimum temizliğin yasal bir gereklilik olduğu durumlarda önemlidir.
- Dış duvarlara mahal koşullandırma sistemine temas etmeksizin perde ve diğer kaplama malzemeleri takılabilir.
- Besleme havası gereksinimleri genellikle havalandırma ve nemlendirme için gerekenden fazla değildir.
- Dört borulu sistem kullanıldığında zonlamaya ve mevsimsel dönüşüme gerek kalmaksızın ısıtma ve soğutma aynı anda sağlanabilir.
- Özellikle büyük binalarda, hava hareketinin düşük olması, biyo-terör riskine karşı bir önlem olabilir. Tozların toplanmadığı bir ortam oluşturur.
- Modül halindeki paneller, mahal değişimlerinde kolaylık ve esneklik sağlar.
- Fancoil ve indüksiyon terminal birimlerindeki fan gürültüsü bu sistemde bulunmaz.

- Doğrudan panele bakan duvar ve bölmelerde olduğu kadar panel yapısında ısı enerjinin depolanması nedeniyle pik yükler azalır [14].

4.3.2 Panel Sistemlerin Dezavantajları

Panel sistemlerin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kontroller ve ısıtıcı elemanlar doğru seçilmemişse, yanıt verme süresi yavaşlayabilir.
- Panel ısıtma ya da soğutma boruları veya elektrik elemanlar arasındaki boşluk ve/veya ısıtma soğutma kaynağı boyutlandırması doğru yapılmadığında üniform olmayan yüzey sıcaklıkları ya da yetersiz duyulur ısıtma veya soğutma ortaya çıkabilir.
- Yük paylaşımını kullanılmadığı sürece paneller sadece duyulur ısıtma ve soğutma yüklerini karşılayabilir. Tek başına çalışan bir panel soğutma sisteminde, nem çıkartma ve panel yüzeyinde suyun yoğunlaşması birincil sorunu oluşturabilir. Üniter nem alıcılar ya da bir gizli ısı hava hazırlama sistemi mahalde kullanılmalıdır [14].

4.4 Panel Yüzeylerde Isı Transferi

Duyulur ısıtma ve soğutma panelleri, sıcaklık kontrollü yüzeylerden mahale ve mahali kapatan yapı elemanlarına ısı radyasyon ve doğal konveksiyon ile ısı transferi sağlar [14].

4.4.1 Isıl Radyasyonla Isı Transferi

Gri renkli, yayınan izotermal yüzeylere sahip, çok yüzeyli bir kapalı hacimde temel hesaplama eşitliği, ışık için radyosite formülasyon yöntemlerinden elde edilir.

Bu eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$q_r = J_p - \sum F_{pj} \cdot J_j \quad (j=1,2,3,\dots,n) \quad (4.1)$$

(4.1) no.'lu ifade basit olup farklı yüzey sıcaklıkları ile farklı yayıcılığa sahip karmaşık yüzeylere uygulanabilir. Panel yüzeylerinde ısı radyasyondan kaynaklanan net ısı akı,

yüzeý sayısı az olduęunda J_j bilinmeyenine göre eřitlięi çözürek bulunur. Daha karmařık yapıdaki kapatma yüzeýleri için bilgisayar hesaplamaları gerekir.

Çok yüzeýli bir kapatmayı iki yüzeýli bir yaklařımla ele alarak (4.1)'i basitleřtiren birkaç yöntem geliřtirilmiřtir.

MRT yönteminde bir oda içinde alınıp verilen radyasyon, gerçek ve çok yüzeýli durumdaki ile aynı ısıl akıyı veren yüzeý sıcaklığına ve yayıcılığına sahip, sonlu ve düşünsel bir yüzeýe yayılım yapıldığı varsayılarak modellenir. Ayrıca iki yüzeýli bir kapatmanın değerlendirilmesinde açđ faktörlerinin belirlenmesine de gerek kalmaz.

MRT eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$q_r = \sigma \cdot F_r [T_p^4 - T_r^4] \quad (4.2)$$

Düşünsel yüzeýin sıcaklıęı, panel yüzeý(ler) dıřındaki bütün yüzeýlerin aęırlıklı ortalaması olan bir yayıcılık faktörü ile verilir.

$$T_r = \frac{\sum A_j \epsilon_j T_j}{\sum A_j \epsilon_j} \quad (4.2')$$

Bir kapatma yüzeýin yayıcılıkları yaklaşık olarak eřit ve panele bakan yüzeýler doğrudan ısıtılmıyorsa veya soğutulmuyorsa eşitlik (4.2'), bu yüzeýlerin alan ağırlıklı ortalama sıcaklığı (AUST) olur. Böylece panelle aynı düzlem içerisindeki herhangi bir ısıtılmayan veya soğutulmayan yüzeý AUST'un hesabına girmez. Örneęin döşemenin bir kısmı ısıtılıyorsa, kalan kısmı, diğer tavan ve duvar yüzeýlerine bakıyor olması dışında AUST'un hesabına dahil edilmez. İki yüzeýli radyasyon için radyasyon değişim faktörü Hottel eşitliği ile verilir;

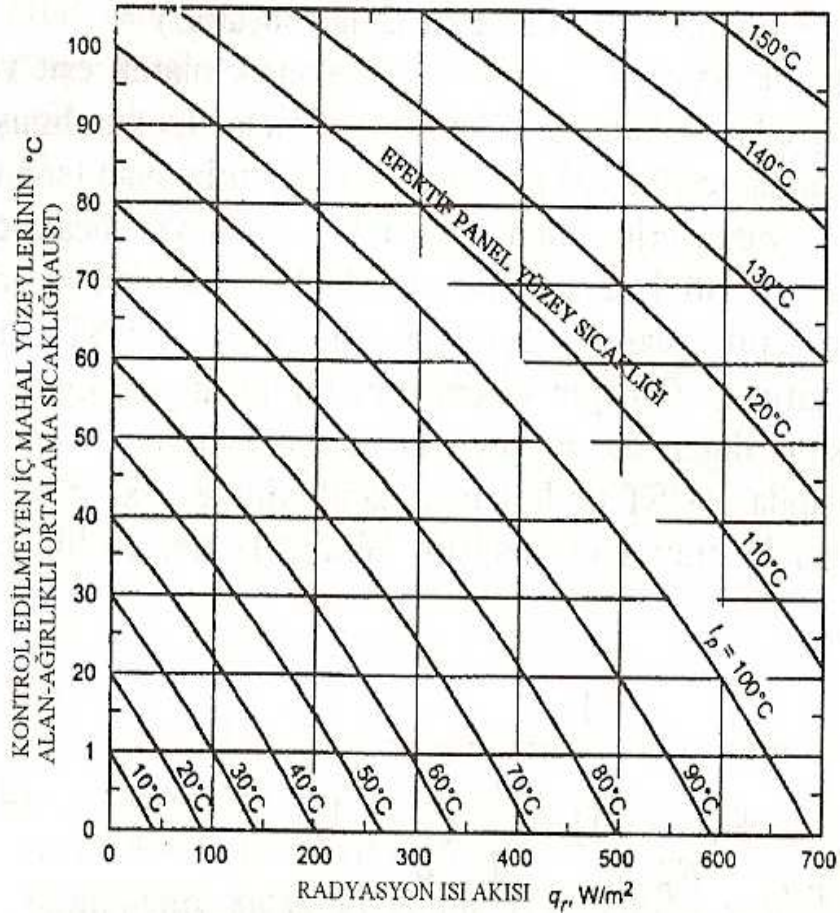
$$F_r = \frac{1}{\frac{1}{F_{p-r}} + \left(\frac{1}{\epsilon_p} - 1\right) + \frac{A_p}{A_r} \left(\frac{1}{\epsilon_r} - 1\right)} \quad (4.2'')$$

Uygulamada, metal olmayan ve boyalı yansıtıcı olmayan yüzeýlerin yayıcılığı 0,9 civarındadır. Bu yayıcılık (4.2'') eşitliğinde kullanıldığında, radyasyon değişim faktörü F_r , iç mahal yüzeýlerinin çoęu için 0,87 elde edilir. Bu değer (4.2)'de yerine konursa; $\sigma \cdot F_r = 4,93 \times 10^{-8}$ olur. Min ve ark. bu katsayının kendi test odalarında $5,03 \times 10^{-8}$

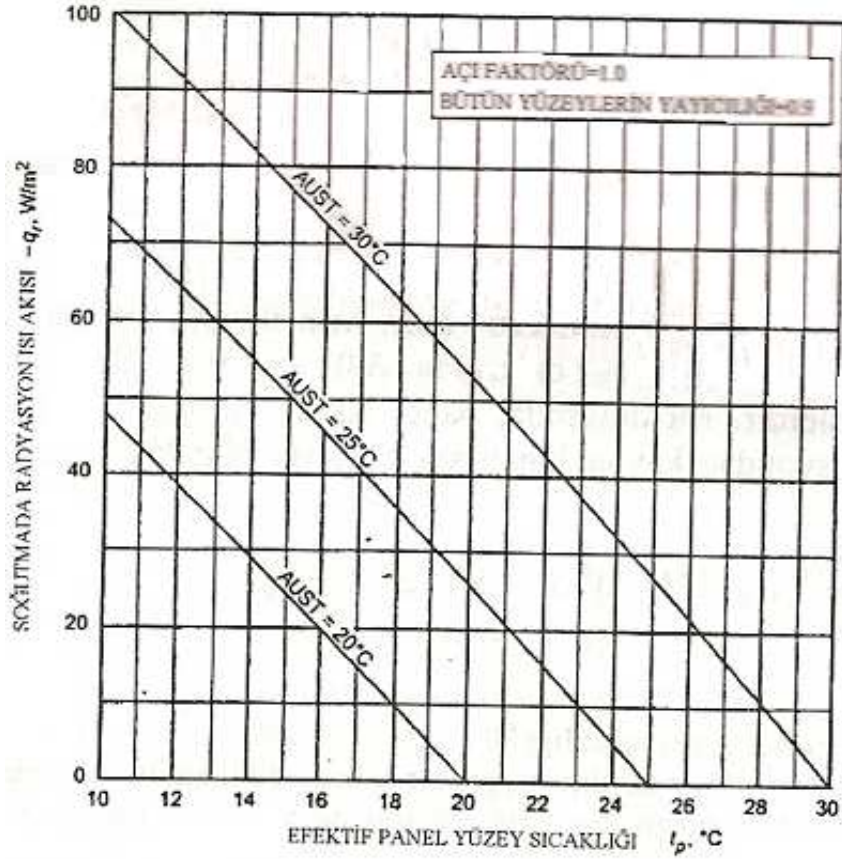
olduğunu göstermişlerdir. Bu durumda panel ısıtma ve soğutma için ısı radyasyondan kaynaklanan akı yaklaşık olarak aşağıdaki gibi olur;

$$q_r = 5 \times 10^{-8} [(t_p + 273,15)^4 - (AUST + 273,15)^4] \quad (4.3)$$

Eşitlik (4.3), panel ısıtmanın pozitif, panel soğutmanın negatif olduğunu ifade ederek bu bölümdeki işaret uygunluğunu da sağlamaktadır. (4.3) kullanılarak hesaplanan radyasyon değişimi (alıp verme) Şekil 4.3 'de gösterilmiştir. Bu değerler, tavan, döşeme ve duvar panel çıktısına uygulanır. Şekil 4.4 'de bir soğutma paneli tarafından normal sıcaklık aralıklarında yutulan radyasyon verilmiştir. Normal çok katlı ticari yapıların ve flüoresan aydınlatmanın kullanıldığı bir durumda, yer düzeyinden 1,5 m yukarıdaki sıcaklık AUST sıcaklığına çok yaklaşıyor [14].



Şekil 4. 3 Isıtılan duvar, döşeme ve tavan yüzey panellerinde radyasyon ısı akısı [14]



Şekil 4. 4 Soğutulmuş tavan veya duvar panelinde radyasyonla ısı çekimi [14]

4.4.2 Doğal Konveksiyonla Isı Transferi

Doğal konveksiyondan kaynaklanan ısı transferi, iç mahal havası ile panel yüzeyleri arasında ortaya çıkar. Isıl konveksiyon katsayıları kolayca elde edilemezler. Doğal konveksiyonda panel yüzeyindeki sınır hava tabakasının ısıtılması veya soğutulması hava hareketi yaratır. Uygulamada, iç mahal düzenleme biçimi gibi birçok faktör doğal konveksiyona etki eder. İnfiltrasyon, eksfiltrasyon, içeride bulunanların hareketi ve mekanik havalandırma sistemleri doğal konveksiyonu bozan bir miktar cebri konveksiyona sebep olur. Bir panel sisteminde, doğal konveksiyon ısı akısı efektif panel yüzey sıcaklığının ve panele doğrudan temas eden hava sıcaklığının bir fonksiyonudur. En doğru sıcaklık ölçümleri, panel yüzeyinden 5~60 mm uzaklıkta tamamen oluşmuş sınır tabakasının başladığı yere yakın bölgedeki kuru termometre sıcaklığının ölçülmesi ile elde edilir. Min vd. 3,66 m x 7,47 m boyutlarındaki bir odanın ($D_e = 4,91m$)¹ merkezinde yerden 1,5 m yükseklikte, doğal konveksiyon katsayılarını belirlemişlerdir.

¹ ($D_e = 4 \times \text{alan} / \text{çevre}$)

Bu araştırmadan elde edilen eşitlikler, panellerde doğal konveksiyondan kaynaklanan ısı akısının hesaplanmasında kullanılabilir.

Her tarafı ısıtılan bir tavan yüzeyi ile iç mahal arasındaki doğal konveksiyon ısı akısı;

$$q_c = 0,20 \frac{(t_p - t_a)^{1,25}}{D_e^{0,25}} \quad (4.4)$$

Isıtılan döşeme ya da soğutulan tavan yüzeyi ile iç mahal havası arasındaki doğal konveksiyon ısı akısı;

$$q_c = 2,42 \frac{|t_p - t_a|^{0,31} (t_p - t_a)}{D_e^{0,08}} \quad (4.5)$$

Isıtılan veya soğutulan bir duvar panel yüzeyi ile iç mahal havası arasında doğal konveksiyon ısı akısı;

$$q_c = 1,87 \frac{|t_p - t_a|^{0,32} (t_p - t_a)}{H^{0,05}} \quad (4.6)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir.

Schutrum ve Humpreys, üniform panel yüzey sıcaklığına sahip olmayan donanımlı test odalarında panel performansını ölçmüşler ve ısıtma pratiği açısından önem arz edecek kadar büyük bir performans değişimine rastlamamışlardır. Schutrum ve Vouris, kendileri için eşitlik (4.4) ve (4.5) 'in kullanıldığı hangar ve depolama alanları gibi çok geniş alanların dışında, oda büyüklüğünün etkisinin genellikle önemsiz olduğunu ifade etmişlerdir. Öte yandan eşitlik (4.4), (4.5) ve (4.6), $D_e = 4.91$ m ve $H = 2,7$ m alınarak basitleştirilebilir.

$$q_c = 0,134 (t_p - t_a)^{0,25} (t_p - t_a) \quad (4.7)$$

Doğal konveksiyon ısı akısı, doğal konveksiyonu başlatmaya yardımcı olacak soğuk şerit yüzeyler bırakarak artırılabilir. Bu durumda (4.7) aşağıdaki şeklini alır;

$$q_c = 0,87 (t_p - t_a)^{0,25} (t_p - t_a) \quad (4.8)$$

Isıtılan veya soğutulan bir tavan paneli ile iç mahal havası arasındaki doğal konveksiyon ısı akısı;

$$q_c = 2,13 |t_p - t_a|^{0,31} (t_p - t_a) \quad (4.9)$$

Isıtılan veya soğutulan bir duvar panel yüzeyi ile iç mahal arasındaki ısı akısı;

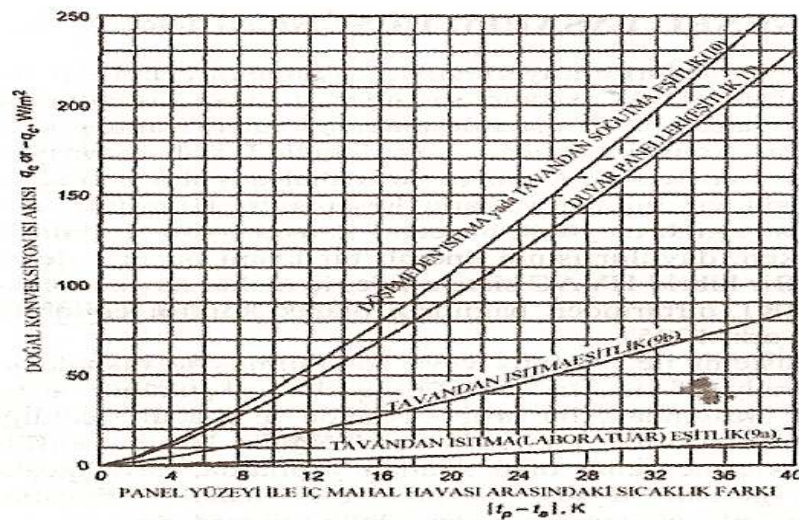
$$q_c = 1,78 |t_p - t_a|^{0,32} (t_p - t_a) \quad (4.10)$$

ile belirlenir.

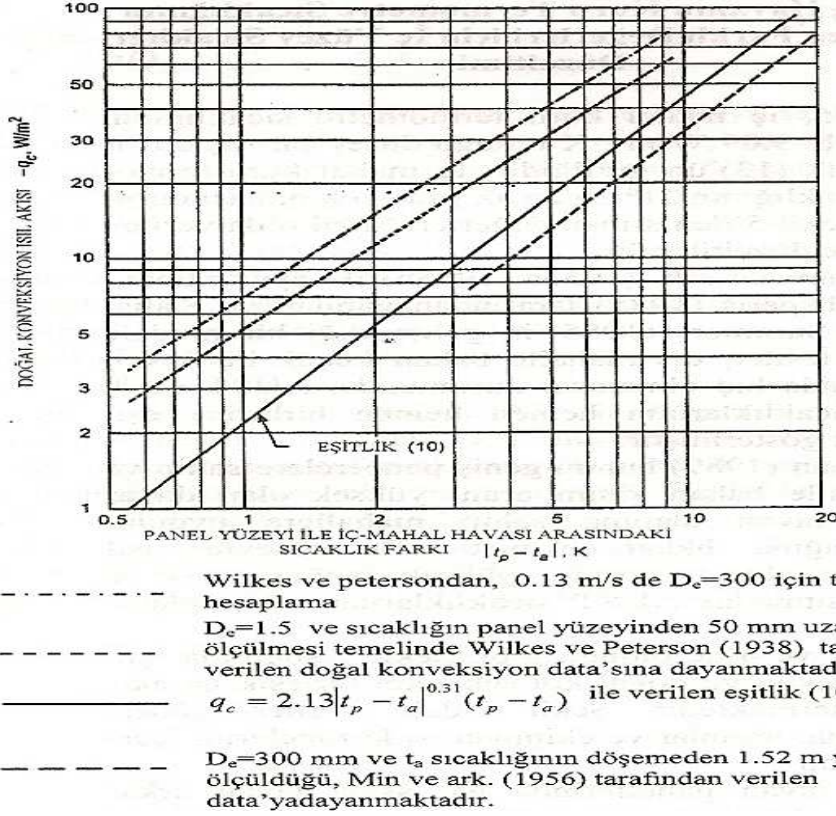
Döşemeden soğutma için doğrulanmış bir veri bulunmamakla birlikte, eşitlik (4.8) yaklaşık hesaplar için kullanılabilir. Normal koşullar altında “ t_a ” iç mahal kuru termometre sıcaklığıdır. Dışarıya bakan pencere oranı yüksek geniş mahallerdeki döşemeden ısıtma ya da tavandan soğutma için t_a , AUST sıcaklığı olarak alınabilir. Soğutmada t_p sıcaklığı t_a ’dan küçük olduğundan q_c negatiftir.

Şekil 4.5, (4.7), (4.8), (4.9), (4.10) ‘dan hesaplanan biçimiyle döşeme, duvar ve tavan ısıtma panellerinden doğal konveksiyon ısı akısını göstermektedir.

Şekil 4.6, belirli panel büyüklüklerine göre, soğutulmuş tavan panel yüzeylerinden doğal konveksiyon yoluyla çekilen ısı miktarlarının (4.9) ‘dan elde edilen hesaplama değerleri ile Wilkes ve Peterson tarafından elde edilen test değerlerinin karşılaştırılmasını vermektedir [14].



Şekil 4. 5 Döşeme, tavan veya duvar panel yüzeylerinden doğal konveksiyonla ısı transferi [14]



Şekil 4. 6 Doğal konveksiyonla tavan soğutma panelleri tarafından çekilen ısı için ampirik data [14]

4.4.3 Birleşik Isı Akısı (Isıl Radyasyon ve Doğal Konveksiyon)

Aktif panel yüzeyi üzerindeki birleşik ısı akısı, eşitlik (4.3) veya Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 'den hesaplanan ısı radyasyon akısı, eşitlik (4.7), (4.8), (4.9) veya (4.10)'dan veya Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 'dan (hangisi uygunsa) hesaplanan konveksiyon ısı akısına eklenmesi ile bulunur.

Eşitlik (4.3) iç mahal için AUST sıcaklığını gerektirir. AUST'u hesaplarken, iç duvar sıcaklıklarının, iç mahal kuru termometre sıcaklığına eşit olduğu varsayılabilir. Dış mahale bakan duvarların ve dış mahalle irtibatlı olan tavan ve döşemelerin sıcaklıkları aşağıdaki ilişkilerden hesaplanabilir.

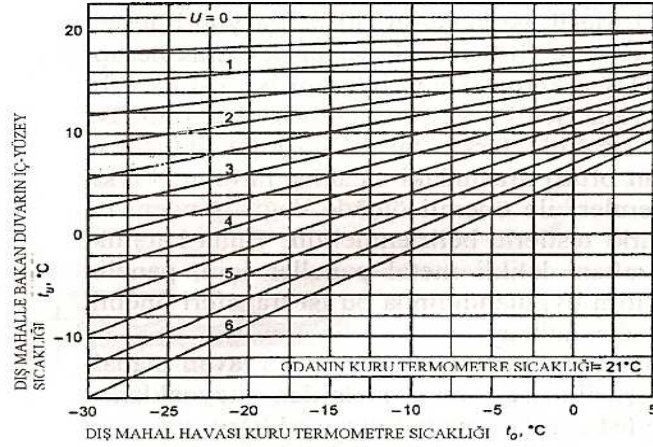
$$h (t_a - t_u) = U (t_a - t_o) \quad (4.11)$$

2001 ASHRAE Handbook Fundamentals 25. Bölümdeki Tablo1 'den;

- Isının yukarı doğru aktığı yatay bir yüzey için, $h = 9,26 W/m^2K$

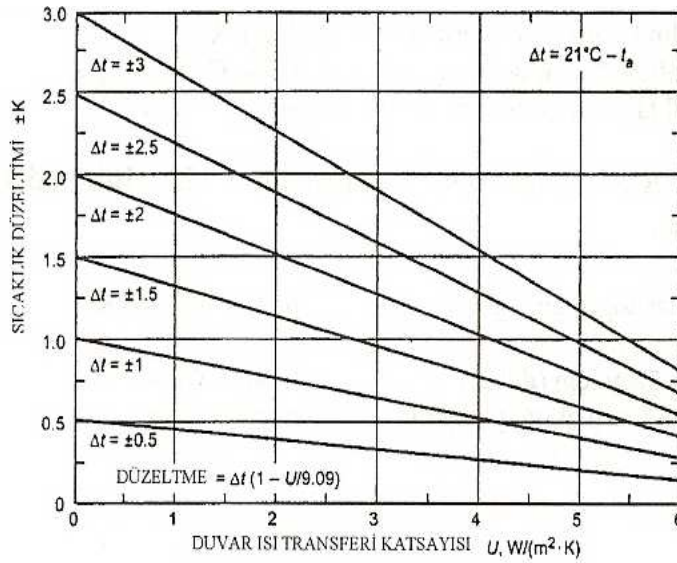
- Isının yukarı doğru aktığı düşey bir yüzey için, $h = 9,09 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Isının aşağı doğru aktığı yatay bir yüzey için, $h = 8,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ alınır.

Şekil 4.7, iç mahal kuru termometre sıcaklığının 21°C ve $h = 9,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ olduğu düşey bir dış duvar için eşitlik (4.11) 'in grafiğidir. İç mahal kuru termometre sıcaklığının 21°C den az ya da çok olması durumunda Şekil 4.7'den alınan değerler, Şekil 4.8'de verilen değerlerle düzeltilebilir.

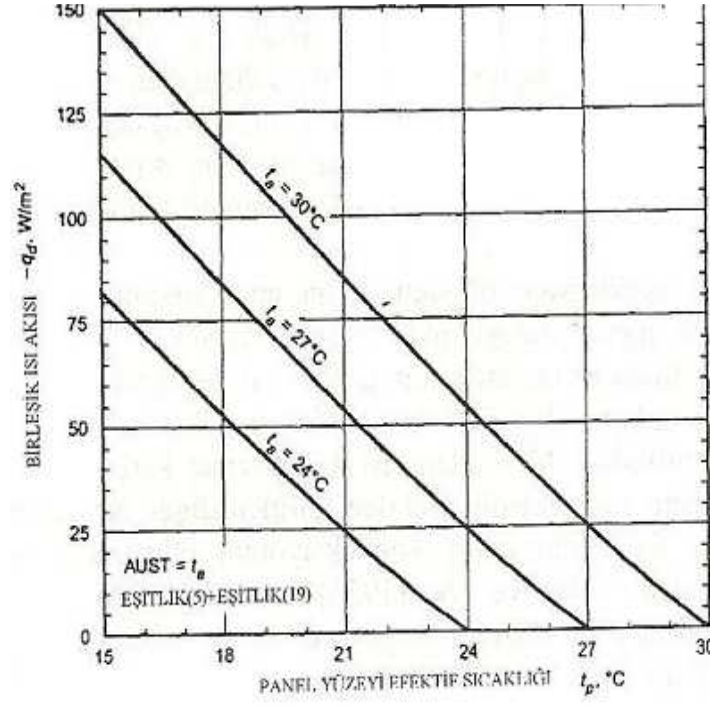


Şekil 4. 7 İç yüzey sıcaklığı ile toplam ısı transferi katsayısı arasındaki ilişki [14]

Şekil 4.4 ve Şekil 4.6'da olduğu gibi Şekil 4.9 soğutma için ısı radyasyon ve doğal konveksiyon birleşik ısı akısını göstermektedir. Şekil 4.9'da veriler, güneş, aydınlatma, insanlar ve ekipman ısı kazançlarını içermemektedir [14].



Şekil 4. 8 Havanın kuru termometre sıcaklığının 21°C 'den farklı değerleri için iç yüzey sıcaklığı düzeltimi [14]



Şekil 4. 9 İnfiltrasyon ve iç ısı kaynaklarının bulunmadığı üniform bir çevrede soğutulmuş tavan panellerinin performansı [14]

ISI POMPASI (IP) SİSTEMLERİ

Günümüzde enerji verimliliğine verilen önem nedeniyle ısı pompaları yaygınlaşmakta ve ısı pompalarını konu alan çalışmalar artmaktadır [24]. Isı pompalarının satınalma ve kurma bedelleri diğer iklimlendirme sistemlerine göre daha yüksektir, fakat uzun dönemde ısıtma faturalarının düşük olması, bu sistemlerin bazı bölgelerde kazançlı olmasını sağlar. Yüksek ilk yatırım giderlerine karşın ısı pompalarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır [25]. Isı pompalarında fosil yakıtlar kullanılmadığı için alternatif ısıtma sistemi olarak da adlandırılır [26].

Isı pompası basit olarak ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama taşıyan ve elektrikle beslenen bir sistemdir. Bilindiği üzere enerji vardan yok, yoktan var edilemez, sadece ya biçim değiştirir yada bir yerden bir yere taşınır. Isı pompası da adını, ısı enerjisini bir ortamdan diğer bir ortama "pompalama" veya "taşıma" kabiliyetinden alır [27].

Isı pompası teknolojisi çok uzun yıllardan beri gelişmekte olan ülkelerde, konutların ve ticari yapıların ısıtılması/soğutulması ve sıcak su eldesinde yaygın olarak kullanılmasına karşın, ülkemizde göreceli olarak çok az kullanılmaktadır. Isı pompalarının bazı uygulamaları ülkemizde (örneğin toprak kaynaklı ısı pompaları) yaklaşık 10 yıldır piyasada uygulanmaya başlanmıştır. Bununla birlikte ısı pompalarının birleşik ısı ve güç sistemleri ile entegrasyonuna ilişkin ülkemizde pek fazla çalışma yürütülmemektedir [24].

5.1 Isı Pompasının Çalışma Prensibi

Isı geçişinin her zaman sıcaklığın azaldığı yönde olduğu bilinen bir gerçektir, başka bir deyişle ısı geçişi yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama olur. Bu doğal

bir olgudur, kendiliğinden gerçekleşir. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi ancak soğutma makinelerinin kullanımıyla olanaklıdır. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı enerjisi aktaran bir başka makine de ısı pompasıdır. Soğutma makineleri ve ısı pompaları aynı çevrimi gerçekleştirirler fakat kullanım amaçları farklıdır. Bir soğutma makinesinin amacı, düşük sıcaklıktaki ortamı, ortamdaki ısıyı çekerek çevre sıcaklığının altında tutmaktır. Daha sonra çevreye veya yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi, çevrimi tamamlamak için yapılması zorunlu bir işlemdir fakat amaç değildir. Isı pompasının amacı ise bir ortamı sıcak tutmaktır. Bu işlevi yerine getirmek için düşük sıcaklıktaki bir ısı enerjisi deposundan alınan ısı, ısıtılmak istenen ortama verilir [25]. Buhar sıkıştırımlı çevrimin tipik bir uygulaması olan ısı pompası, esas olarak soğuk kaynak ısısından yararlanmayı amaçlar [28]. Isı enerjisi, kışın düşük sıcaklık kaynağından yüksek sıcaklıktaki kuyuya aktarılarak ısıtma, yazın yine düşük sıcaklık kaynağından yüksek sıcaklıktaki kuyuya aktarılarak soğutma sağlanır. Isıtılmak/soğutulmak istenen ortam kışın kuyu, yazın kaynak görevini üstlenir.

5.2 Isı Pompası Çevrimleri

Birkaç tür uygulamalı ısı pompası (açık ve kapalı çevrim) çevrimi bulunmakta olup, bazıları HVAC sistemlerinde hem ısıtma hem de soğutma yapmak için çevrimi ters çevirirken bazıları da HVAC sistemleri veya endüstriyel işlemler için sadece ısıtma yapar. Günümüz ısı pompalarının çoğu buhar sıkıştırımlı çevrimi kullanmaktadır. Bu hem HVAC hem de endüstriyel uygulamalar için en çok kullanılan çevrimdir [14].

5.2.1 İdeal Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Çevrimi

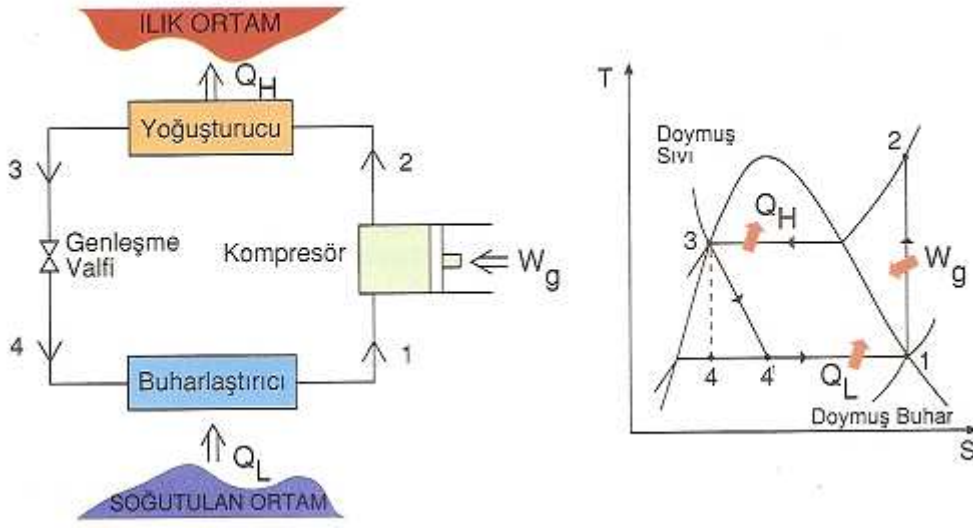
Buhar sıkıştırımlı çevrim soğutma makinelerinde, iklimlendirme sistemlerinde ve ısı pompalarında en çok kullanılan çevrimdir. İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi 4 proseden meydana gelir. Bu proseleri oluşturan sistem elemanları; kompresör, yoğuşturucu, buharlaştırıcı, genişleme valfi olarak sıralanabilir. Bu çevrimi oluşturan prosesler;

1-2 : Kompresörde izantropik sıkıştırma,

2-3 : Yoğuşturucuda çevreye sabit basınçta ısı geçişi,

3-4 : Kısılma (genleşme ve basıncın düşmesi),

4-1 : Buharlaştırıcıda akışkana sabit basınçta ısı geçişi, şeklinde ifade edilir (Şekil 5.1).



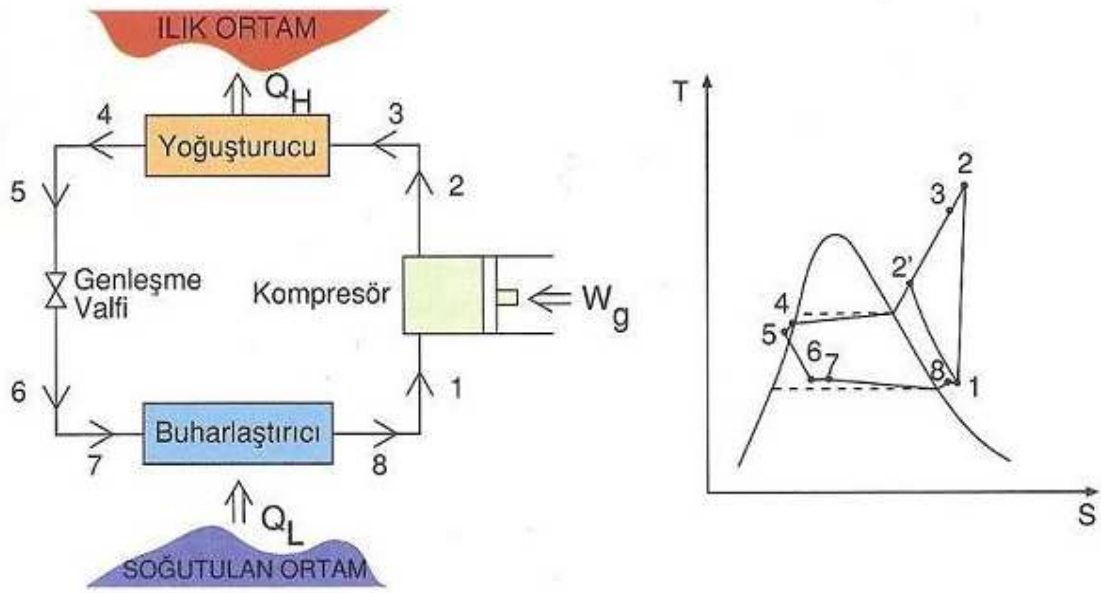
Şekil 5. 1 İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin düzeni ve T-s diyagramı [29]

Soğutma çevrimlerinde dolaşan akışkanlara soğutucu akışkan denir. İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde, soğutucu akışkan kompresöre 1 halinde doymuş buhar olarak girer ve izantropik olarak yoğuşturucu basıncına sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi sırasında, soğutucu akışkanın sıcaklığı çevre ortam sıcaklığının üzerine çıkar. Soğutucu akışkan daha sonra 2 halinde kızgın buhar olarak yoğuşturucuya girer ve yoğuşturucudan 3 halinde doymuş sıvı olarak ayrılır. Yoğuşma sırasında akışkandan çevreye ısı geçişi olur. Soğutucu akışkanın sıcaklığı 3 halinde de çevre sıcaklığının üzerindedir. Doymuş sıvı halindeki akışkan daha sonra bir genişleme vanası veya kılcal borulardan geçirilerek buharlaştırıcı basıncına kısılır. Bu hal değişimi sırasında soğutucu akışkanın sıcaklığı, soğutulan ortamın sıcaklığının altına düşer. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıya 4 halinde, kuruluk derecesi düşük bir doymuş sıvı buhar karışımı olarak girer ve soğutulan ortamdaki ısı alarak tümüyle buharlaşır. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan doymuş buhar halinde çıkar ve kompresöre girerek çevrimi tamamlar. Burada Q_L , soğutulan ortamdaki çekilen ısıyı, Q_H ise, ılık ortama verilen ısıyı simgelemektedir. W_g , çevrimde dolaşan akışkan (soğutucu akışkan) üzerinde yapılması gereken sıkıştırma işini göstermektedir [25].

5.2.2 Gerçek Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Çevrimi

Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi ideal çevrimden birkaç bakımdan farklıdır. Bu farklılık daha çok gerçek çevrimi oluşturan elemanlardaki tersinmezliklerden kaynaklanır. Tersinmezliğin iki ana kaynağı, basıncın düşmesine neden olan akış sürtünmesi ve çevreyle olan ısı alışverişidir. Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi ve çevrimin T-s diyagramı Şekil 5.2'de görülmektedir.

İdeal çevrimde buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkan kompresöre doymuş buhar halinde girer. Bu koşul uygulamada gerçekleştirilemez. Bunun yerine sistem, soğutucu akışkanın kompresör girişinde biraz kızgın buhar olmasını sağlayacak biçimde tasarlanır. Burada amaç akışkanın kompresöre girişinde tümüyle buhar olmasını güvenceye almaktır.



Şekil 5. 2 Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin düzeni ve T-s diyagramı [29]

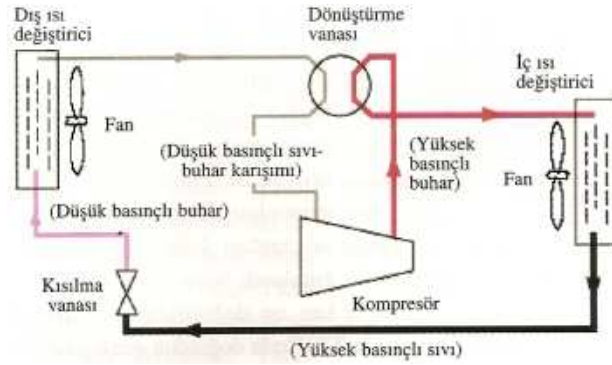
İdeal çevrimde soğutucu akışkanın yoğuşturucudan çıkış hali, kompresör çıkış basıncında doymuş sıvıdır. Gerçek çevrimde ise kompresör çıkışıyla kısılma vanası girişi arasında bir basınç düşmesi vardır. Akışkanın kısılma vanasına girmeden önce tümüyle sıvı halde olması istenir. Doymuş sıvı halini uygulamada tam bir hassaslıkla gerçekleştirmek zor olduğundan yoğuşturucudan çıkış hali genellikle sıkıştırılmış sıvı bölgesindedir. Soğutucu akışkan doyma sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa soğutulur, başka bir deyişle aşırı soğutulur. Bunun bir sakıncası yoktur, çünkü bu

durumda soğutucu akışkan buharlaştırıcıya daha düşük entalpide girer ve buna bağlı olarak ortamdaki daha çok ısı çekebilir [25].

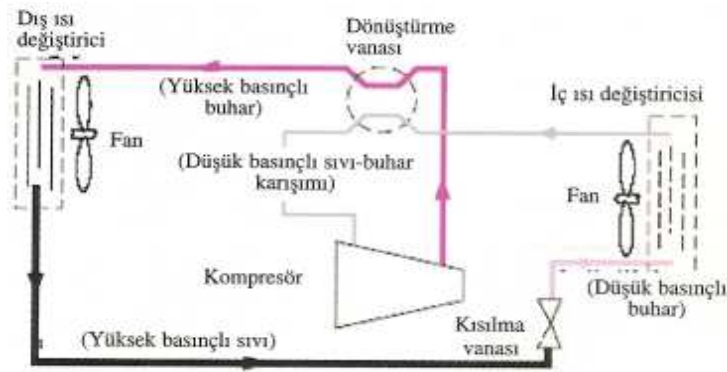
5.3 Isı Pompasının Çalışma Düzeni

Isı pompası, dışarıdan enerji verilmesi ile düşük sıcaklıktaki bir ortamdaki aldığı ısıyı yüksek sıcaklıktaki ortama veren bir makinedir. Kışın ısıtma maksadı ile kullanılan ısı pompası, yazın da soğutma için kullanılabilir [30]. Isı pompaları ve klima sistemlerinin mekanik parçaları aynıdır. Bu nedenle bir ortamın ısıtma ve soğutmasını ayrı sistemlerle yapmak ekonomik değildir. Aynı sistem kışın ısıtma amacıyla yazın da soğutma amacıyla kullanılabilir. Bunun için sisteme bir dönüştürme vanası konur. Bu düzenlemeyle ısı pompasının içeride bulunan yoğuşturucusu yazın soğutma sisteminin buharlaştırıcısı olarak görev yapar. Benzer biçimde ısı pompasının dışarıda bulunan buharlaştırıcısı da yazın soğutma sisteminin yoğuşturucusu olarak görev yapar [25].

Isı pompası sisteminin kışın (ısıtma) ve yazın (soğutma) düzeninde çalışma şekli sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5. 3 Isıtma modunda ısı pompası sisteminin çalışma düzeni [31]



Şekil 5. 4 Soğutma modunda ısı pompası sisteminin çalışma düzeni [31]

5.4 Isı Pompasında Sıcak ve Soğuk Kaynaklar

Bir ısı pompası bir kaynaktan ısıyı çekerek daha yüksek sıcaklıktaki bir çukura atar [14].

Doğa bize termal enerjiyi hiçbir karşılık beklemezsin sunmaktadır. Bahsedilen bedelsiz enerji, yılın her döneminde toprak, kaya, su ve hava gibi doğal ısı depolarında saklanan güneş enerjisidir. Depolanan bu ısı enerjisi, ısı pompaları yardımıyla ısıtma, soğutma ve sıcak kullanım suyu elde etmek amacıyla kullanılabilir [27].

Soğuk havalarda bir yerin ısıtılması söz konusu olduğu zaman, buraya ısı vermenin zorunluluğu ortadadır. Bunun için bir kaynak gereklidir. Sıkıştırma işi bir kaynak olarak ele alınmakla beraber ana kaynak, hava, su veya toprak gibi kaynaklardır. Hava, göl suyu, kuyu suyu, deniz suyu, toprak gibi kaynaklar, ısı pompasının kullanılma amacına göre yön değiştirirler. Herhangi bir yerin ısıtılması işleminde bu kaynaklara soğuk kaynak, soğutulması işleminde de sıcak kaynak gözüyle bakılır. Suyun sıcak veya soğuk kaynak olarak ele alınması, havaya göre daha iyi işletme rejimi sağlar ancak her zaman, her yerde bol ve ucuz su temin etmek mümkün değildir. Bol ve bedava olduğundan ısı pompalarında genellikle kaynak olarak hava tercih edilir [28].

5.4.1 Hava

Üniversal bir ısı kaynağı ve çukuru olan hava konutsal ve hafif ticari ısı pompalarında genellikle kullanılır. Kanatlı, cebri konveksiyonlu serpantinler hava ile soğutkan arasında ısı transferini gerçekleştirirler. Isı kaynak ve çukuru seçilirken iki temel faktörün dikkate alınması gerekir. Bunlar yerel dış hava sıcaklığı ve kar toplamasıdır. Dış mahal hava sıcaklığı düştükçe hava kaynaklı bir ısı pompasının kapasitesi de düşer. Bir dış mahal serpantininin yüzey sıcaklığı 0°C ya da daha düşük ve karşı gelen dış hava çığ noktası sıcaklığı bundan 2~5,5°C daha yüksek olduğunda serpantin yüzeyinde kar oluşumu görülebilir. Kar toplanmasına izin verildiğinde ısı transferi azalacağından düzenli aralıklarla bu oluşumun temizlenmesi gerekir. Kar çözme (defrost) işlemlerinin sayısı, iklime hava serpantininin tasarımına ve çalışma saatine bağlıdır. Hava kaynaklı bir ısı pompasının boyutlandırılması sırasında, defrost işlemi sırasında sistemin soğutma yapmaması nedeniyle oluşan kapasite kaybının da hesaba katılması gerekir [14].

5.4.2 Su

Kuyulardan, göllerden, nehirlerden, denizden, şehir şebekesinden ve üretim tesislerinden elde edilebilen su, ısı kaynağı olarak kullanılabilir [32]. Maliyeti ve belediyelerin getirdiği kısıtlamalar nedeniyle kentsel şebeke suyu nadiren kullanılır. Yer altı suyu (kuyu suyu) nispeten yüksek ve genelde kararlı bir sıcaklığa sahip olması nedeniyle oldukça çekici bir seçenektir [14]. 10 m ve daha fazla derinliklerde yeraltı suyunun sıcaklığı yıl boyunca çok az değişir. Sıcaklığı ortalama olarak 10°C'dir. Kuyuların yerleştirildiği sahaya ve suyun çıkarıldığı yeraltı suyu stok durumuna göre, yer altı suyu sıcaklığı kış ortasında 8-12°C ve yaz ortasında 10-14°C arasında değişir [32]. Isı eşanjörleri, açık havuzlara, göllere ve akarsu kaynaklarına da daldırılabilir. Endüstriyel uygulamalarda atık proses suyu (örneğin çamaşırhanelerde harcanan su, tesis pis su içeriği ve sıcak kondanser suyu) ısı pompasını çalıştırmada bir ısı kaynağı olarak kullanılabilir [14]. Kaynak olarak su kullanıldığı takdirde, kullanılan suyun kalitesi de önemlidir. Su kalite testi, kesinlikle yapılmalı ve içeriği mineraller korozyon problemlerinden ötürü önceden incelenmelidir [32].

5.4.3 Toprak

Gömülü durumdaki serpantinler yardımı ile yer, çok yaygın biçimde ısı kaynak ve çukuru olarak kullanılır. Yaş çamurdan kumlu toprağa kadar değişik yapıda olan toprak bileşimi ısı özellikleri ve beklenen toplam performans üzerinde önemli etkilere sahiptir [14]. Toprak ısıtma sezonunda dış havadan daha yüksek sıcaklıkta, soğutma sezonunda ise havadan daha düşük sıcaklıkta kalarak tüm yıl boyunca yeryüzeyinin 1,5~2 m altında yaklaşık olarak sabit sıcaklıklı sayılabilecek ve dolayısıyla kararlı bir enerji kaynağıdır. Her ülke her şehir her toprak tipine göre farklı çalışma sıcaklıkları bulunur [33].

5.4.4 Güneş

Güneş enerjisi, birincil ısı kaynağı olarak yada diğer enerji biçimleriyle birlikte kullanılabilir. Hava, yüzeysel su, sığ yer altı suyu sistemlerinin hepsi güneş enerjisini dolaylı yoldan kullanabilir. Güneş enerjisini doğrudan kullanmanın sağladığı avantaj, olanaklı olduğunda diğer dolaylı kaynaklardan daha yüksek sıcaklık sağlayarak ısıtmadaki performans katsayısını arttırmasıdır [14].

Kaynak olarak güneş enerjisinden yararlanıldığında iki sistem söz konusudur. Bunlar direkt ve en direkt sistemlerdir. Direkt sistemlerde buharlaştırıcılar doğrudan güneş kolektörüne yerleştirilir. En direkt sistemlerde ise kolektörlerden su veya su buharı geçirilerek kaynak olarak bunlardan yararlanır. Ancak hava kaynağında olduğu gibi, enerji ihtiyacı bulunan günlerde güneş enerjisi de az olduğundan ek bir ısıtma tesisatına veya ısının depolanmasına ihtiyaç vardır ki bu da zaten pahalı olan sistemin maliyetinin artmasına neden olur [32].

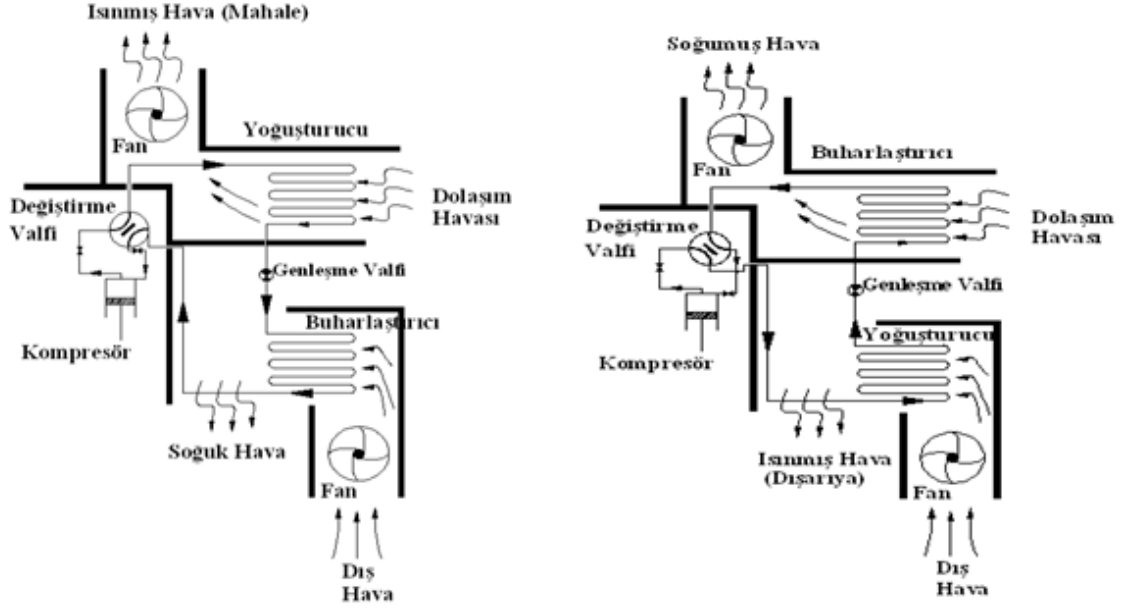
5.5 Isı Pompası Türleri

Isı pompası sistemlerinin hemen hemen her uygulamaya uygun tipleri ve kombinasyonları mevcuttur [34]. Isı pompaları ısı kaynak ve çukuruna, ısıtma ve soğutma dağıtımında kullanılan akışkana, boyut ve düzenleme biçimine, ısı kaynak ve çukurunun sınırlamalarına göre sınıflandırılabilir [14]. Isı pompası tiplerini tanımlarken öncelikle ısı kaynağı daha sonra ısı çukuru dikkate alınır. Başlıca ısı pompası türleri;

- Havadan havaya ısı pompaları,
- Havadan suya ısı pompaları,
- Sudan suya ısı pompaları,
- Sudan havaya ısı pompaları,
- Yerden (Toprak) suya ısı pompaları,
- Yerden (Toprak) havaya ısı pompaları, olarak sıralanır [34].

5.5.1 Havadan Havaya Isı Pompaları

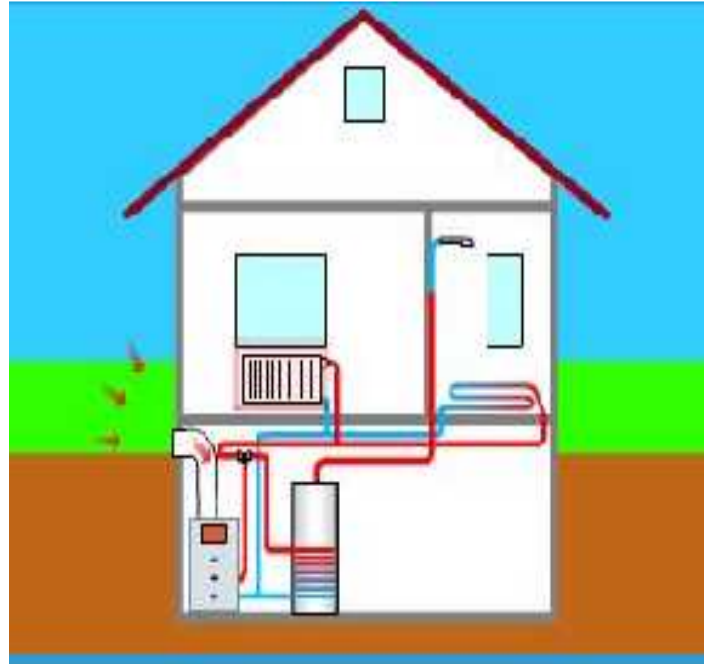
Havadan havaya ısı pompalarında dış ortam havası kışın ısı kaynağı yazın ısı çukuru, iç ortam havası ise yazın ısı kaynağı kışın ısı çukuru olarak görev görür. Bu sistemde ısı değiştiren serpantinlerden birisi her zaman evaporatör, diğeri de her zaman kondanserdir. Koşullandırılan hava, soğutma çevriminde evaporatör üzerinden geçerken dış mahal havası kondanserden geçer [14]. Değiştirme valfi, ısı pompasının yaz veya kış döneminde çalışmasına uygun olarak, soğutucu akışkanın yönü değiştirir (Şekil5.5).



Şekil 5. 5 Havadan havaya ısı pompasının ısıtma ve soğutma durumunda çalışması [28]

5.5.2 Havadan Suya Isı Pompaları

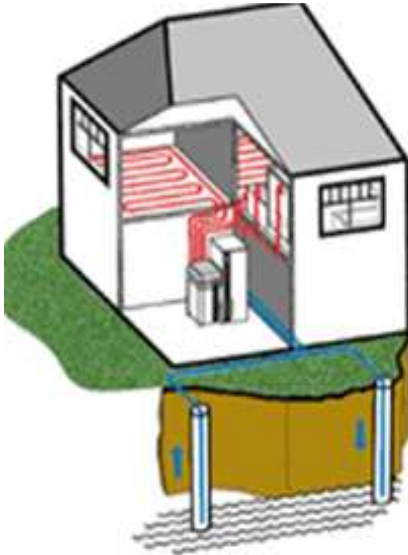
Havadan havaya ısı pompalarına benzer biçimde dış hava ısıtma veya soğutma amacına göre ısı kaynağı veya ısı çukuru görevi görür. Ancak iç ortamda hidronik iklimlendirme sistemi (radyatör, fan-coil, hidronik panel sistemler vs.) kullanılır ve bu sistemin enerjisini sağlayan su yazın ısı kaynağı kışın ısı çukuru olarak görev alır (Şekil 5.6).



Şekil 5. 6 Havadan suya ısı pompası [35]

5.5.3 Sudan Suya Isı Pompaları

Sudan suya ısı pompalarında ısı kaynağı da ısı çukuru da sudur. Isı kaynağı kışın göl, deniz ve yer altı suları ve hatta atık proses sularıdır ve ısıtılmak istenen mahale ısı enerjisini çeşitli iç üniteler (radyatör, fan-coil, hidronik panel sistemler v.s.) vasıtasıyla aktaran akışkanla (su) enerji alışverişinde bulunur. Isıtma durumundayken mahal enerjisini sağlayan su ısı çukuru konumundadır. Isı pompası soğutma durumundayken ise mahal enerjisini sağlayan su ısı kaynağı, göl, deniz, yer altı suları ve proses atık suları ise ısı çukuru konumundadır. Bu sistemlerin açık ve kapalı çevrim uygulamaları vardır. Açık çevrim uygulamasında göl, yer altı, deniz vs.den alınan su borularla taşınarak enerjisini ısı pompasının eşanjörüne aktarır ve daha sonra başka bir boru sistemi ile alındığı kaynağına döner. Kapalı çevrim uygulamasında ise tamamen kapalı bir boru sistemi içinden salamura (antifrizli su) sirküle ettirilir. Yer altı suyunun enerjisini taşıyan bu salamura ısı pompasının eşanjörü ile ısı alışverişinden sonra yine aynı kapalı boru sistemi içinden dönerek yer altı suyu ile ısı alışverişinde bulunur. Ayrıca su kaynaklı ısı pompalarının suya gömülen boruların tesisat şekline göre, yatay, dikey ve helezonik uygulamaları mevcuttur. Şekil 5.7’de soldaki resimde açık çevrimli dikey tip sudan suya ısı pompası, sağdaki resimde ise kapalı çevrimli yatay tip sudan suya ısı pompası uygulaması görülmektedir.



Açık Çevrim

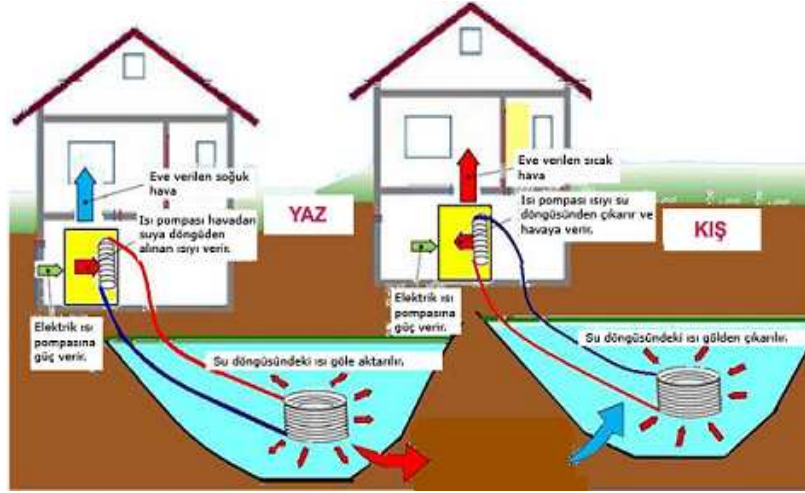


Kapalı Çevrim

Şekil 5. 7 Sudan suya ısı pompası açık ve kapalı çevrim uygulaması [32], [36]

5.5.4 Sudan Havaya Isı Pompaları

Sudan havaya ısı pompaları sudan suya ısı pompalarına benzer prensipte çalışır. Ancak iç ortamda konfor şartlarını sağlayan akışkan havadır, ısı pompasının iç ünite eşanjörü bu hava ile ısı alışverişinde bulunur. Şekil 5.8’de soğutma ve ısıtma konumlarında, kapalı çevrimli helezonik tip sudan havaya ısı pompası uygulaması görülmektedir.



Şekil 5. 8 Sudan havaya ısı pompası [37]

5.5.5 Yer Devreli Isı Pompaları

Bunlar ısı kaynağı ve çukuru olarak yeri (toprağı) kullanır. Böyle bir ısı pompası soğutucu akışkan arasında bir ısı eşanjörü veya bir direk ekspansiyon devresi kullanılır. Soğutucu akışkan ısı eşanjörü kullanan sistemlerde bir su veya antifriz çözeltisi toprağa gömülü halde bulunan yatay, düşey veya spiral haldeki boru devresinden pompalanır. Direk ekspansiyonlu sistemlerde soğutucu akışkan dolgulu evaporatör toprağa gömülmüştür. Bu tür ısı pompası sistemlerinde çevre toprağının türü, nem içeriği, yoğunluğu ve eş yapıda olup olmaması, boru malzemesi sistemin hizmet ömrünü ve ısı transferini etkiler [14]. Topraktan transfer olan enerji iç ısı eşanjöründen iklimlendirme sisteminin türüne göre (havalı/sulu) gerekli akışkana aktarılır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri 6. Bölüm’de daha detaylı ele alınmıştır.

5.6 Isı Pompasında Enerji Analizi

Isı pompası çevrimi, ısı makinesi çevriminin tersidir. Isı pompası ile ısı makinesi çevrimleri arasındaki temel ayrılıklar;

- Isı makinesi sıcak ısı kaynağından aldığı ısı enerjisinin bir bölümü ile bir şaft işi oluşturduktan sonra geri kalan enerjiyi, düşük sıcaklıktaki (soğuk kaynak) kaynağa bırakır.
- Isı pompasında sistem üzerine şaft işi uygulandıktan sonra soğuk kaynaktan bir miktar ısı enerjisi alınarak sıcak kaynağa verilir.
- Sistem üzerine iş uygulamadan soğuk kaynaktan sıcak kaynağa enerji iletimi olanaksızdır [28].

Isı geçişinin her zaman sıcaklığın azaldığı yönde olduğu bilinen bir gerçektir. Başka bir deyişle ısı geçişi yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama olur. Bu doğal bir olgudur ve kendiliğinden gerçekleşir. Bu olgunun tersi kendiliğinden gerçekleşemez. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi ancak soğutma makineleri ve ısı pompalarının kullanımıyla olanaklıdır. Bu durumun gerçekleşebilmesi için sistem üzerine dışarıdan iş vermek gerekir.

Bir ısı pompasının verimi etkinlik katsayısı ile ifade edilir ve COP_{IP} ile gösterilir. Isı pompasının amacı bir ortamı sıcak tutmaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için düşük sıcaklıktaki bir ısı enerjisi deposundan alınan ısı, ısıtılmak istenen ortama verilir. Bu işlevi gerçekleştirebilmek için ise bir iş yapılması ($W_{net,giren}$) gerekir (Şekil 5.9).

COP_{IP} eşitlik (5.1)'deki gibi ifade edilir;

$$COP_{IP} = \frac{\text{elde edilmek istenen değer}}{\text{harcanması gereken değer}} = \frac{Q_H}{W_{net,giren}} \quad (5.1)$$

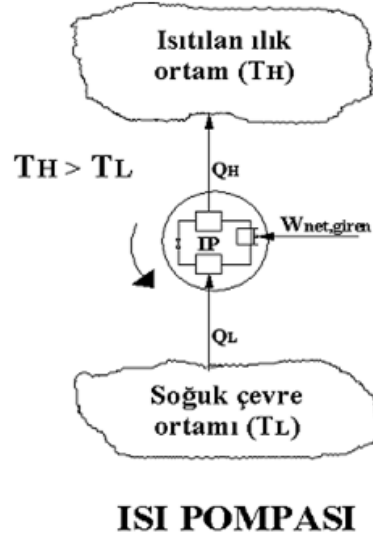
Bir çevrim için enerjinin korunumu ilkesine göre ısı pompası çevriminde enerjinin korunumu;

$$W_{net,giren} = Q_H - Q_L \quad (5.1.1)$$

Bu durumda ısı pompasının etkinliği;

$$COP_{IP} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H} \quad (5.2)$$

olarak verilir.



Şekil 5. 9 Isı pompasının çalışma prensibi [25]

Isı pompası ile soğutma yapmak istenildiği zaman, ısı pompası soğutma makinesi çevrimi gerçekleştirir. Bu durumda çevrimin amacı düşük sıcaklıktaki ortamdan ısı çekerek bu ortamı daha da soğutmaktır. Bu çevrimde elde edilmek istenen değer Q_L değeridir ve bu çevrimi gerçekleştirebilmek için yine sistem üzerinde bir iş yapılması

($W_{net,giren}$) gerekmektedir. Bu durumda etkinlik katsayısı;

$$COP_{SM} = \frac{\text{elde edilmek istenen değer}}{\text{harcanması gereken değer}} = \frac{Q_L}{W_{net,giren}} \quad (5.3)$$

Eşitlik (5.1.1) dikkate alındığında;

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1} \quad (5.4)$$

olarak verilir.

Tersinir veya tersinmez olsun bir ısı pompasının etkinlik katsayısı (5.2) ile bir soğutma makinesinin etkinlik katsayısı (5.4) ile verilir.

Tersinir hal değişimi, bir yönde gerçekleştikten sonra çevre üzerinde hiçbir iz bırakmadan ters yönde de gerçekleşebilen hal değişimi diye tanımlanır. Başka bir deyişle ters yöndeki hal değişiminden sonra hem sistem hem de çevre ilk hallerine geri dönerler. Bu ancak her iki yöndeki hal değişimi birlikte ele alındığı zaman, net ısı geçişi ve net iş sıfır olursa mümkündür. Tersinir olmayan hal değişimi tersinmez hal değişimi diye adlandırılır. Bir sistem ister tersinir ister tersinmez olsun bir dizi hal değişiminden

geçerek yeniden ilk haline dönebilir. Vurgulanması gereken husus çevrimin tersinir hal değişimlerinden oluşması durumunda çevrede net bir değişimin olmamasıdır. Tersinmez hal değişimlerindeyse çevre sistem üzerinde bir miktar net iş yapar ve bu nedenle ilk haline geri dönemez.

Doğada tersinir hal değişimlerine rastlanmaz. Tersinir hal değişimleri gerçek hal değişimlerinin kuramsal benzerleridir. Bazı gerçek hal değişimleri tersinir hal değişimlerine yaklaşabilir fakat hiçbir zaman tersinir olamaz. Başka bir anlatımla doğadaki tüm hal değişimleri tersinmezdir. Ancak tersinir hal değişimlerini incelemenin yararları vardır. Öncelikle sistem tersinir bir hal değişimi sırasında bir dizi denge halinden geçtiği için çözümlene kolaylaşır. İkinci olarak tersinir hal değişimi, gerçek hal değişimlerinin karşılaştırılabileceği bir model oluşturur. Tersinir hal değişimleri tersinmez hal değişimlerinin erişebilecekleri bir kuramsal veya üst sınır olarak düşünülebilir. Tersinir bir hal değişimi hiçbir zaman elde edilemese de ona yaklaşılabilir.

En çok bilinen tersinir çevrim Carnot Çevrimidir. Carnot Çevrimi'ne göre çalışan kuramsal ısı makinesi ise Carnot Isı Makinesi diye adlandırılır. Carnot ısı makinesi çevrimi tümten tersinir bir çevrimdir. Bu nedenle onu oluşturan tüm hal değişimleri ters yönde gerçekleştirilebilir. Bu yapıldığı zaman elde edilen çevrime Carnot Soğutma Çevrimi adı verilir. Bu çevrimde ısı ve iş etkileşimlerinin yönü değişmektedir. Düşük sıcaklıktaki ısı enerji deposundan Q_L miktarında ısı alınmakta, yüksek sıcaklıktaki ısı enerji deposuna Q_H miktarında ısı verilmektedir. Bu çevrimi gerçekleştirmek için ayrıca sistem üzerinde $W_{net,giren}$ miktarında iş yapılmaktadır.

Tersinir çevrimlerde ısı geçiş oranı $\frac{Q_H}{Q_L}$, mutlak sıcaklık oranı $\frac{T_H}{T_L}$ 'ye eşittir.

$$\left(\frac{Q_H}{Q_L}\right)_{tersinir} = \left(\frac{T_H}{T_L}\right) \quad (5.5)$$

Tersinir (Carnot) bir soğutma makinesinin veya ısı pompasının etkinlik katsayısını hesaplamak için tersinir makinelerin ısı alışverişiyle ısı enerji depolarının mutlak sıcaklıkları arasında bağ kuran (5.5) kullanılabilir. Bu durumda ısı pompasının etkinlik katsayısı;

$$\text{COP}_{\text{IP,tersinir}} = \frac{T_H}{T_H - T_L} = \frac{1}{1 - T_L/T_H} \quad (5.6)$$

Soğutma makinesi veya ısı pompasının soğutmada etkinlik katsayısı;

$$\text{COP}_{\text{SM,tersinir}} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{1}{T_H/T_L - 1} \quad (5.7)$$

Bu değerler, T_L ve T_H sıcaklık sınırları arasında çalışan bir soğutma makinesi veya ısı pompasının etkinlik katsayılarının alabilecekleri en yüksek değerlerdir. T_L ve T_H sıcaklık sınırları arasında çalışan tüm gerçek soğutma makineleri ve ısı pompalarının etkinlik katsayıları daha düşük olacaktır. Gerçek soğutma makinelerinin ve ısı pompalarının tasarımı geliştikçe bu değerlere yaklaşılabılır fakat bu değerlerin üzerine çıkılması olanaksızdır. Soğutma makineleri ve ısı pompalarının COP değerleri T_L düştükçe azalır. Başka bir deyişle daha soğuk bir ortamdan ısı çekmek için daha çok iş yapmak gerekir.

Soğutma makinelerinin COP değerinin 1'den büyük olabileceği belirtilmelidir. Başka bir deyişle soğutulan ortamdan çekilen ısı, bunu sağlamak için yapılması gereken işten daha büyük olabilir. Oysa ısıl verimin (η_{th}) 1'den büyük olması sözkonusu olamaz. Gerçekten de soğutma makinesinin etkinliğini ısıl verim yerine etkinlik katsayısıyla belirtmenin gerekçesi, ısıl verimin 1'den küçük olma zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. (5.2) ve (5.4) karşılaştırıldığında Q_H ve Q_L değerleri her iki çevrimde de eşit olmak koşuluyla aşağıdaki sonuç elde edilir;

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \text{COP}_{\text{SM}} + 1 \quad (5.8)$$

Bu sonuç ısı pompasının etkinlik katsayısının her zaman 1'den büyük olduğunu göstermektedir. Isı pompalarının etkinlik katsayıları, ısı kaynağına ve kullanılan sisteme bağlı olarak değişir [25].

TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI (TKIP) SİSTEMLERİ

Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP), konutlarda ve ticari tesislerde düşük enerji tüketimi ile etkin ısıtma ve soğutma sağlayan bir sistemdir. İlk yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen düşük bakım ve işletim masrafları ve ayrıca enerjiyi etkin kullanma özelliği bu durumu dengeler. TKIP sisteminin dikkate alınabilecek diğer bir özelliği de elektrik kullanmasına rağmen yenilenebilir enerji teknolojisi sınıfına girmesidir [38].

Dünyanın hayat kaynağı olan güneşten gelen enerjinin yaklaşık yarısı dünyanın kütleinde tutulur. Toprak kaynaklı ısı pompalarının amacı, dünyanın kütleinde bulunan bu hazır enerjiden yararlanmaktır. Toprak, ısıtma sezonunda dış havadan daha yüksek sıcaklıkta, soğutma sezonunda ise havadan daha düşük sıcaklıkta kalarak tüm yıl boyunca yer yüzeyinin 1,5~2 m altında oldukça az değişen, yaklaşık olarak sabit sıcaklık sayılabilecek ve dolayısıyla kararlı bir enerji kaynağıdır. Her ülke, her şehir, her toprak tipine göre farklı çalışma sıcaklıkları bulunur [33].

Toprak kaynaklı ısı pompalarında toprak kışın bir ısı kaynağı, yazın ise bir ısı çukuru görevini görür [38]. Bu ise, toprak altına döşenen boruların içerisinden su veya salamura dolaştırılarak sağlanır. Örneğin toprak altı devresinde ısınan su, sıcaklığını buharlaştırıcıya bırakarak ısı pompası iç devresinde dolaştırılan soğutucu akışkanın buharlaştırılmasına neden olur. Daha sonra kompresör bu gazı sıkıştırarak üst basınç seviyesine çıkarır. Yoğuşturucuda yoğuşan soğutucu akışkan ise ısıyı yük devresinde dolaşan suya bırakır. Soğutma mevsiminde ise sistem ters yönde çalıştırılır.

Temelde bir iç üniteyle toprağın altına gömülmüş bir ısı değiştiricisinden meydana gelen TKIP sistemi, toprak altındaki sabit sıcaklığı, daha ucuz enerji elde etmek için

kullanır. Sistemde bir yakıt kullanılması söz konusu değildir. Mevcut ancak ters yönde hareket etme eğilimindeki enerjinin ihtiyaç olan yere taşınması yani kısaca pompalanması söz konusudur. Bu nedenle işletme masrafları bakımından doğalgaza göre %25, LPG'ye göre %65 oranında tasarrufludur [33]. Toprak kaynaklı bir ısı pompası, 1 kWh elektrik enerjisi ile yaklaşık 4 kWh ısı enerjisi üretmektedir ve bu sayede bina ısıtılması ve sıcak su ihtiyacı %75 oranında çevre enerjisinden faydalanarak sağlanmaktadır. Isı pompası yüksek verimliliğinin yanında fosil yakıttan bağımsız ekonomik ve çevre dostu bir ısınma alternatifi sunmaktadır [39].

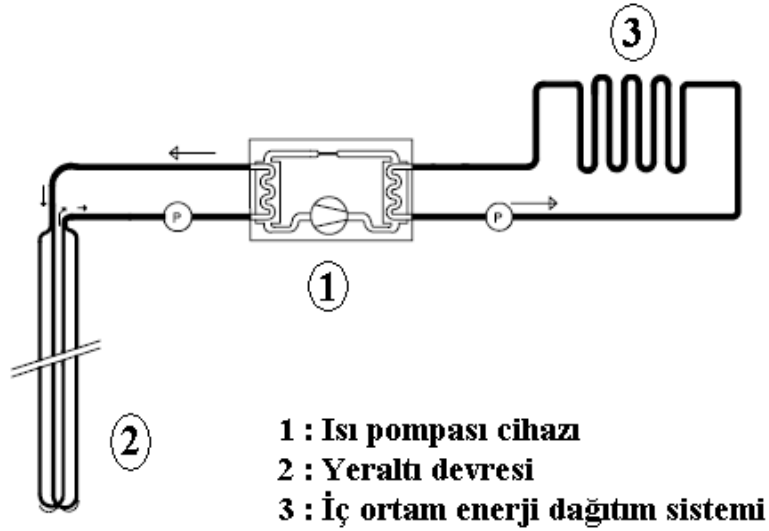
TKIP sistemi ile ısıtma sözkonusu olduğu zaman, döşeme, duvar, tavan'da kullanılan panel sistemler, düşük sıcaklıklı radyatör veya fancoil kullanımı mümkündür. Toprak kaynaklı ısı pompaları, direk genişmeli tipleri haricinde hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha az soğutucu akışkan gerektirir [38]. Toprak altında bulunan boru sisteminin tamamen kapalı devre olması yüksek güvenilirlik sunmakta ve minimum bakım gerektirmektedir [29]. TKIP sisteminin etkin kullanımının önündeki en önemli engel hatalı tasarım ve tesisattır. İyi eğitilmiş, tecrübeli ve güvenilir tasarım ve tesisatçıların istihdam edilmesi kritik önem taşır [38].

6.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Özellikleri

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi 3 ana bileşenden meydana gelir (Şekil 6.1). Bunlar ısı pompası cihazı, ısı pompası cihazının dış ısı değiştiricisi ile bağlantılı yer altı devresi ve ısı pompasının iç ortam ısı değiştiricisi ile bağlantılı iç ortam ısıtma veya soğutma dağıtım sistemidir [40].

Isı pompası cihazı toprak ile iç mahal ısıtma/soğutma sistemi arasında enerji transferini sağlayan ısı pompası çevriminin gerçekleştiği elemandır. Isı pompası cihazının buharlaştırıcısı toprak devresi ile bağlantılıdır. TKIP sisteminin toprağın altında kalan kısmında gerçekleşen kapalı çevrimde, boruların içinden ısı taşıyıcı akışkan olarak su veya salamura dolaştırılır. Toprak altı kapalı çevrim sisteminde toprağın altında uygulamaya göre konumlandırılmış yüksek dayanımlı plastik borular ısı değiştiricisi görevi görür. Borular yüksek kalitede polietilen veya polibütülen olmak zorundadır. PVC hem dayanıklılık hem de ısı transfer karakteri bakımından toprak altı devresi için kabul edilemez. Bir de direk genişmeli TKIP uygulamalarında toprağın altına direk ısı

pompasının dış ısı değiştiricisi gömölür ve içinde ısı pompasının soğutucu akışkanı dolaşır [38]. Dolayısıyla toprakla ısı transferi için ara bir akışkan kullanılmamış olur. ısı pompasının iç ısı değiştiricisi ısıtılması veya soğutulması istenen ortama hizmet veren enerji dağıtım sisteminin ısı taşıyıcı akışkanı ile temastadır. Bu ısı taşıyıcı akışkan radyatör, panel ısıtma, fancoil sistemlerinin suyu veya kanallı klima cihazı gibi hava şartlandırmalı bir sistemin havası olabilir.

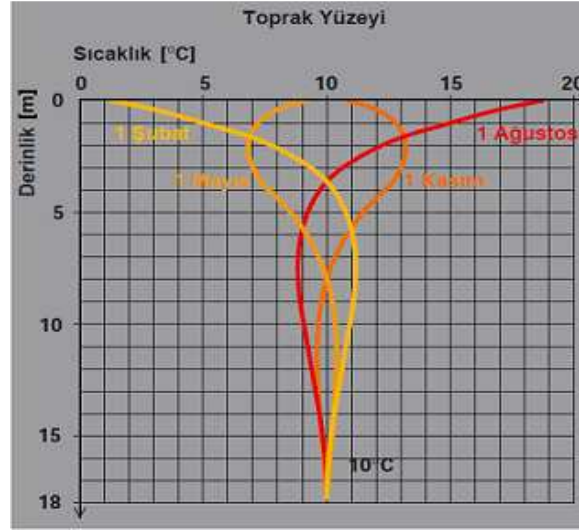


şekil 6. 1 TKIP sistemini oluşturan bileşenler [41]

ısı pompalarının yaygınlaşmasının önündeki başlıca engel, ısı pompası çevrimlerinde verimin iki ortam arasındaki sıcaklık farkına (ΔT) bağlı olması ve ısıtma söz konusu olduğunda bu farkın soğutmada olduğundan çok daha yüksek değere ulaşmasıdır. TKIP sistemleri bu noktada devreye girer. Tıpkı diğer ısı pompaları gibi ısının taşınması prensibiyle çalışan TKIP sistemlerinde, ısıtılması veya soğutulması istenen ortam ile ısıtmada ısının çekileceği ve soğutmada ısının atılacağı ortam arasındaki sıcaklık farkı asgariye indirilir. şekil 6.2'de belirli derinliklerdeki toprak sıcaklığının değişimi görölmektedir. Buna göre derinlik arttıka yıl ve gün boyunca gerçekteşen sıcaklık dalgalanmaları azalır ve belirli bir derinliğin altında ise sıcaklık sabit kabul edilebilir [42].

Soğutma sezonunda ısı pompası cihazının kendi içinde gerçekteşen kapalı çevrimin ısı taşıyıcı akışkanı, iç ortam ısı değiştiricisinden geçerek ortamın ısısını absorbe eder ve buharlaşır. Daha sonra aldığı bu ısı enerjisini toprak altı devresi ile bağlantılı olan dış ısı değiştiricisinden geçerken bırakır. Toprak altı kapalı devresinde gerçekteşen kapalı

çevrimin ısı taşıyıcı akışkanı ise ısı pompasının iç ortamdan aldığı bu ısı enerjisini toprağa bırakır. Böylece iç ortamda istenen serinlik sağlanmış olur. Isıtma sezonunda ısı pompası çevrimindeki değiştirme vanası çevrimi ters yönde gerçekleştirir ve sistemin bu çalışma düzeninde ısı pompasının ısı taşıyıcı akışkanı, toprak altı devresi ile bağlantılı dış ısı değiştiricisinden geçerken toprağın ısını absorbe eder ve buharlaşır. İç ortam ısı eşenjöründen geçerken ise aldığı bu ısı enerjisini bırakarak yoğuşur. Böylece iç ortam ısıtılmış olur. Toprak altı devresinin ısı taşıyıcı akışkanı, ısı pompasının ısı taşıyıcı akışkanına bıraktığı ısı enerjisini tekrar kazanmak için kapalı çevrimini tamamlar. Şekil 6.3'te toprağın soğutma ve ısıtma sezonunda TKIP sisteminin toprak altı kapalı devresi ile yaptığı ısı alışverişi görülmektedir.



Şekil 6. 2 Yıllık toprakaltı sıcaklık değişimleri [43]



Soğutma Sezonu



Isıtma Sezonu

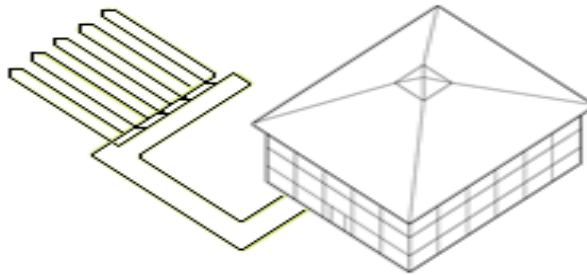
Şekil 6. 3 TKIP toprak altı devresinin soğutma ve ısıtma sezonunda toprakla yaptığı ısı alış-verişi [44]

6.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulamaları

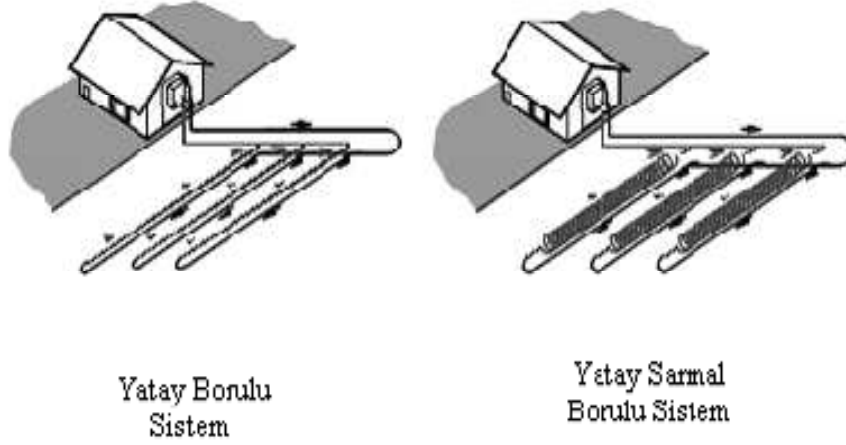
TKIP uygulamaları, toprağın altına gömülen ısı transfer borularının yerleşim şekline göre yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası (YTKIP) ve dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası (DTKIP) olarak sınıflandırılır. YTKIP ve DTKIP kendi içinde boruların dizilişine göre düz veya spiral (sarmal) olarak, içerisindeki ısı taşıyıcı akışkanın akış şekline göre ise seri ve paralel olarak ayrılır. Uygulamanın seçimi ise yerel coğrafik özelliklere, mevcut toprak alanına ve ekonomik şartlara bağlıdır. Yapılan uygulama çeşidi ısı pompasının performansını dolayısıyla enerji tüketimini etkiler [38].

6.2.1 Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulaması

YTKIP uygulaması yeterli toprak alanı var ise maliyet ve etkinlik bakımından tercih edilir [1]. Kurulum maliyeti dikey uygulamaya göre daha düşüktür ancak daha geniş bir toprak altı alanı gerektirir. Yatay uygulama toprak yüzeyinin 1,2 ile 3 metre altına boruların seri veya paralel şekilde yatay olarak serilmesi ile oluşur [38]. Her kW ısıtma veya soğutma kapasitesi başına toprak özelliklerine göre yaklaşık 35 ile 55 metre boru kullanılır. Eğer toprak altı alanı sınırlı ise borular spiral biçimde de yerleştirilebilir. Spiral yerleştirme ile daha çok boru ile daha az toprak altı alan kullanılmış olur. Boruları yerleştirebilmek için kepçe veya dozer ile kazılarak çıkarılan toprak yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonra boruların üstünü örtmek için kullanılır [40]. Yatay borular döşendikten sonra çim ekilebilir, park ve bahçe alanları oluşturulabilir. Dikey uygulamaya göre dezavantajı, yatay borular yeryüzüne yakın olduğu için mevsimsel değişikliklerden daha çok etkilenir [38]. Şekil 6.4'te YTKIP uygulaması, Şekil 6.5'te YTKIP uygulamasının düz ve spiral boru dizilimi, Şekil 6.6'da ise yatay boruların içinden geçen ısı taşıyıcı akışkanın izlediği yola göre seri ve paralel akış düzeni görülmektedir.



Şekil 6. 4 Yatay toprak kaynaklı ısı pompası uygulaması [45]



Şekil 6. 5 YATIP düz ve spiral borulu sistem [46]

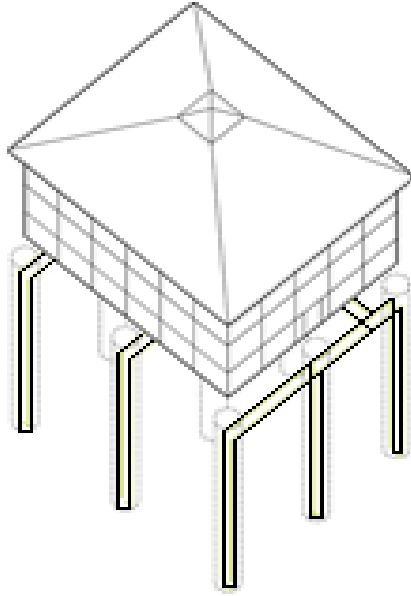


Şekil 6. 6 YATIP’da seri ve paralel akış düzeni [47]

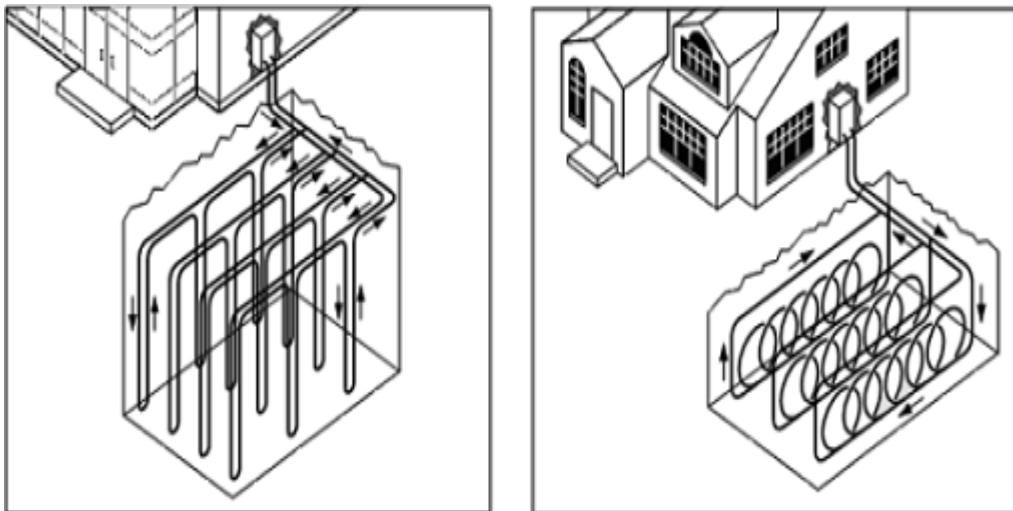
6.2.2 Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulaması

DTKIP uygulaması toprakaltı alanı yatay uygulamanın ısıtma ve soğutma yüklerini karşılayacak genişlikte olmadığı zaman tercih edilir [1]. DTKIP yatay uygulamaya göre daha verimlidir çünkü toprağın derinliği arttıkça mevsimsel sıcaklık dalgalanmaları azalır ve uzun yıllar sabit sıcaklık değerlerinde hareket eder. Kurulum maliyeti YATIP uygulamasına göre daha yüksektir ancak aynı performansı elde etmek için daha az boru ve toprak alanı gerektirir. DTKIP uygulamasında yer altı ısı değiştiricisi, yere dik olarak açılan bir veya daha fazla sayıdaki kuyuya tek veya çift döngülü iki adet borunun yerleştirilmesinden oluşur. Borular kuyunun en altında bir U parçası ile birbirlerine bağlanır. Dikey boruların yerleştirilmesinden sonra ise kuyu, açarken çıkan hafriyat ile tekrar kapatılır ve sıvanır. Sıvanmanın amacı yeryüzeyinden kuyuya su veya başka sızıntılar olmamasıdır. Bu işlemden sonra dikey boruların gidiş ve dönüş hatları yine

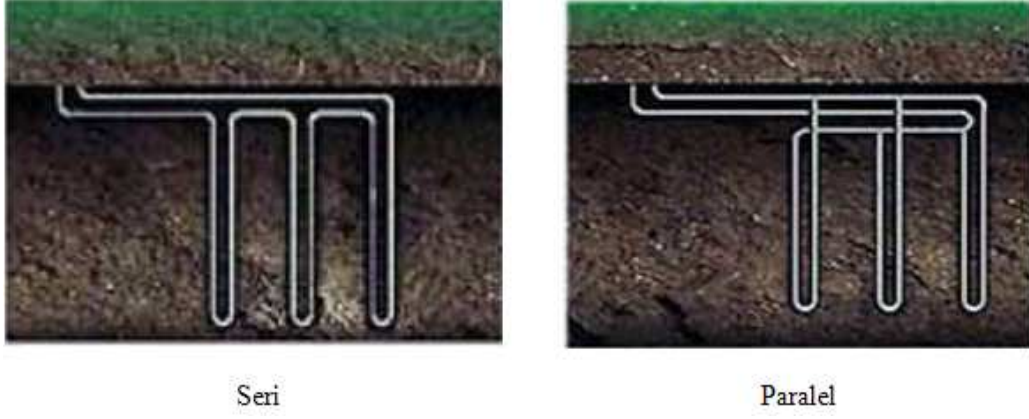
toprak altından yatay bir boru ile ısı pompası cihazına bağlanır ve boruların üstü toprakla kapanır [40]. Kuyunun derinliği sondaj koşullarında yapılan hesaplarla elde edilen basınç düşmesine ve ısı iletim değerine göre 15 ile 200 metre arasında değişmektedir [48]. Şekil 6.7’de DTKIP uygulaması, Şekil 6.8’de DTKIP uygulamasının düz ve spiral boru dizilimi, Şekil 6.9’da ise dikey boruların içinden geçen ısı taşıyıcı akışkanın izlediği yola göre seri ve paralel akış düzeni görülmektedir.



Şekil 6. 7 Dikey toprak kaynaklı ısı pompası uygulaması [45]



Şekil 6. 8 DTIP düz ve spiral borulu sistem [46]



Şekil 6.9 Y TIP' da seri ve paralel akış düzeni [49]

6.3 Dikey Tip Toprak Isı Değiştiricisinin Boyutlandırılması

TKIP'da toprak, ısıtma ve soğutma modunda çalışmasına bağlı olarak ısı kaynağı veya ısı çukuru olarak çalışmaktadır. Toprakla boru içerisindeki akışkan arasında ısı transferinin gerçekleşebilmesi için aralarında bir sıcaklık farkı oluşturulması gerekmektedir. Kurulan yere göre toprak altında dolaşan akışkanın sıcaklığı yaklaşık olarak -4°C ile 38°C arasında değişebilir. Toprak ısı değiştiricisinin boyutlandırılması yapılmadan önce ısı pompası cihazının seçilmesi gerekmektedir. Isı pompası üretici kataloglarında, toprak ısı değiştiricisinden gelen akışkanın sıcaklığının hangi aralıkta olması gerektiği yer almalıdır. Kullanılması gereken borunun uzunluğu, ısı kaybı/kazancı hesabı ile belirlenen sistem kapasitesine, ısı pompası cihazının COP değerine, yıllık ortalama toprak sıcaklığına, toprak altı devresini oluşturan boruların ısı direncine ve bu devrede dolaşan ısı taşıyıcı akışkanın giriş/çıkış sıcaklıklarına, toprağın ısı direncine ve sistemin çalışma faktörüne bağlıdır.

6.3.1 Ortalama Toprak Sıcaklığı

Toprak sıcaklığı hem derinliğe, hem de zamana bağlı olarak değişim gösterir. Ortalama toprak sıcaklığı, değişik derinliklerdeki yıllık ortalama sıcaklıktır. Yüzeydeki hava sıcaklığının toprak sıcaklığına etkisi vardır fakat güneş ışınlarının etkisi daha fazladır. Toprağın ısıyı depolama ve yavaşça geri verme gibi özelliklerinden dolayı sıcaklık değişimlerini azaltma etkisi vardır. Bu etki toprağın yoğunluk ve nem miktarına ve derinliğe bağlı olarak değişir. Derinlik arttıkça yıl içindeki sıcaklık değişimi azalır.

6.3.2 Sisteme Su Giriş Sıcaklığı

Isı pompası, soğutma modunda çalışırken toprak altı ısı değiştiricisine giren ısı taşıyıcı akışkanın (salamura) sıcaklığının toprak sıcaklığından yüksek olması gerekmektedir. Bunun nedeni ısı değiştiricisinde dolaşan salamura aracılığıyla toprağa ısı atılmak istenmesidir. Bu gerekli sıcaklık farkı, atılması gerekli olan ısıya ve boru yüzey alanına bağlıdır. Isı pompası ısıtma modunda çalışırken ise topraktan ısı çekileceğinden, toprakaltı ısı değiştiricisine giren salamuranın sıcaklığı, toprak sıcaklığından düşük olacaktır. Belli bir ısı miktarını çekerken veya atarken, boru uzunluğunu arttırdığımızda toprak ile salamura arasında gerekli olan sıcaklık farkı azalır. Daha kısa boru kullanıldığında ise gerekli olan sıcaklık farkı artacaktır. Akışkanın sıcaklığının kullanılan sistemin sıcaklık sınırları içinde kalması gerekmektedir.

6.3.3 Toprağın Isıl Direnci

Malzemelerin ısı iletim katsayıları, ısı direnç hesaplarında kullanılan önemli bir özelliktir. Toprağın ısı direnci, toprağın ısı akışına karşı gösterdiği dirençtir. Yoğunluğu düşük kuru toprak, ısı enerjisini yoğun nemli toprak kadar hızlı taşımaz. Buna ek olarak boruların dikey uzunlukları, borular arası mesafe, kullanılan boruların sayısı ve boyutu toprak direncini etkileyen faktörlerdir. Toprak altı ısı değiştiricilerde gerçekleşen ısı transferinin iyi anlaşılabilmesi için malzeme özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.

6.3.4 Boru Isıl Direnci

Değişik boru malzemelerinin denenmesi sonucunda toprağın korozif etkisinden en az etkilenen ve dolayısıyla en uzun ömürlü olan malzeme olarak plastik borular öne çıkmıştır. Boru malzemesi olarak polietilen ve polibütilen malzemeler kullanılabilir. 25°C sıcaklık için polietilen malzemelerin ısı iletim katsayıları 0,42 W/m°C ile 0,51 W/m°C arasında, polibütilen malzemelerin ısı iletim katsayısı ise 0.24 W/m°C civarlarında değişebilir.

6.3.5 Çalışma Faktörü

Bir sistemin çalışma faktörü, o sistemin en soğuk aydaki ısıtma yükünü ve en sıcak aydaki soğutma yükünü karşılayabilecek sürenin yüzde olarak gösterimidir. Her iki

çalışma düzeni için de çalışma faktörlerinin bulunması gerekir. Çalışma faktörleri kullanılarak ısıtma ve soğutma çalışma düzenleri için gerekli olan boru boyları saptanır ve hangisi daha büyükse sistemin boru uzunluğu olarak seçilir. Çalışma faktörünü bulabilmek için iklimlendirilecek olan yerin saatlik ortalama ısı kazancı ve kayıpları bulunmalıdır. Daha sonra bulunan bu değerler sistemin kapasitesine oranlanarak çalışma faktörü bulunmalıdır.

6.3.6 Toprak Isı Değiştiricisi Boyu Hesabı

Toprak ısı değiştiricisinin boru boyu, bölgenin meteorolojik özelliklerine, toprak yapısına, kurulacak ısı değiştiricisinin teknik özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Toprak ısı değiştiricisi boru boyu ısıtma ve soğutma sezonu için ayrı ayrı hesaplanmalı ve daha sonra bulunan değerlerden büyük olanı tasarım değeri olarak alınmalıdır. Isıtma sezonu için toprak altı boru uzunluğu (6.1), soğutma sezonu için toprak altı boru uzunluğu (6.2)'de verilmiştir.

$$L_H = \frac{Q_H \left(\frac{COP_H - 1}{COP_H} \right) (R_b + R_t.F_H)}{|T_{DT} - T_{min}|} \quad (6.1)$$

$$L_C = \frac{Q_L \left(\frac{COP_C + 1}{COP_C} \right) (R_b + R_t.F_C)}{|T_{max} - T_{YT}|} \quad (6.2)$$

[31].

DUVARDAN ISITMA ve SOĞUTMALI DİKEY TİP TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ KÜTLE ve ENERJİ ANALİZİ

6. Bölüm’de TKIP sisteminin 3 ana bileşenden meydana geldiğini ve bunların, ısı pompası cihazı, ısı pompası cihazının dış ısı değiştiricisi ile bağlantılı yer altı devresi ve ısı pompasının iç ortam ısı değiştiricisi ile bağlantılı iç ortam ısıtma veya soğutma dağıtım sistemi olduğundan bahsedilmişti. Duvardan ısıtma ve soğutmalı DTKIP sisteminde, iç ortam enerji dağıtım sistemi, şartlandırılmak istenen mahalın duvarlarının içinde gömülü konumda bulunan serpantinlerden oluşan radyant ısıtma ve soğutma sistemidir. Belirli bir sıcaklığa ulaşan ısı taşıyıcı akışkan (su), duvar içinde bulunan bu serpantinlerde dolaşarak mahalde istenen ısı şartları oluşturur. Bu akışkan enerjisini ısı pompası cihazının iç ortam ısı değiştiricisinden alır veya bırakır. Isı pompası cihazının kendi bünyesinde gerçekleştirdiği çevrim neticesinde, alınan veya verilen bu enerjiyi toprağa bırakmak veya topraktan almak için ise ısı pompasının dış ısı değiştiricisi ile temasta bulunan yer altı devresi toprağa dikey olarak gömülüdür (Şekil 7.1). Duvar içi serpantinlere giden veya serpantinlerden dönen su öncelikle bir tankta depolanır daha sonra ısı pompası cihazına ve/veya duvar serpantinlerine gönderilir.

Bir sistemin enerji analizini yapabilmek için o sistemi oluşturan alt sistemlerin herbirinin enerji analizini yapmak gerekir. Duvardan ısıtma ve soğutmalı DTKIP sisteminin enerji analizi ise toprak altı devresi, ısı pompası cihazı ve mahal içi enerji dağıtım sistemi olan duvar serpantinlerinin enerji analizlerini yapmakla mümkündür.

Termodinamiğin birinci yasası veya diğer adıyla enerjinin korunumu ilkesi, enerjinin değişik biçimleri arasındaki ilişkileri ve genel olarak enerji etkileşimlerini incelemek için

Bir hal değişimi sırasında sistemin toplam enerjisinin değişimi, iç enerji, kinetik enerji ve potansiyel enerjisindeki değişimlerin toplamıdır. Uygulamada karşılaşılan sistemlerin çoğu hareketsizdir ve hareketsiz kapalı sistemlerin kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişimler gözardı edilebilir. Bu durumda birinci yasa sadeleşerek;

$$Q - W = \Delta U \quad [\text{kJ}] \quad (7.2)$$

şeklinde yazılabilir.

ΔU i enerji değişimini gösterir ve;

$$\Delta U = U_2 - U_1 \quad (7.2')$$

olarak yazılır.

Kapalı bir sistemde çevrim oluşturan bir hal değişimi için ilk ve son haller aynıdır ve bu nedenle enerji değişimi sifıra eşittir. Bu durumda çevrim için birinci yasa;

$$Q - W = 0 \quad [\text{kJ}] \quad (7.3)$$

şeklinde yazılır.

Başka bir deyişle, çevrim oluşturan bir hal değişimi sırasında net ısı geçişi, net içe eşit olur.

Sınırlarından kütle geçişi (akış) olan sistemler açık sistemler veya kontrol hacimleri olarak adlandırılır. Kütle de enerji gibi korunum yasalarına uyar, başka bir deyişle var veya yok edilemez. Kontrol hacmi veya açık sistemlerde, sisteme giren toplam kütle ile sistemden çıkan toplam kütlenin farkı sistem içindeki toplam kütle değişimini gösterir. Açık sistemlerin enerjisi, sisteme giren ve çıkan ısı ve içe haricinde, kütle giriş çıkışı ile de değişebilir.

Mühendislikte kullanılan türbin, kompresör, ısı değiştiricileri, karışma odaları ve benzeri birçok sistemin, çalıştıkları sürelerde giriş, çıkış ve diğer çalışma koşulları değişmez. Bu nedenle "sürekli akışlı açık sistem" adı verilen gerçeğe yakın bir modelleme ile termodinamik zmlmeleri yapılır. Sürekli akışlı açık sistemlerde akışkanın sistem içerisinde sürekli bir akışı vardır. Sistem içerisinde intensive veya extensive hiçbir özellik zamanla değişmez. Böylece sistemin kütlesi, hacmi ve toplam

enerjisi sürekli akışlı açık sistemlerde sabittir. Bunun bir sonucu olarak sürekli akışlı açık sistemler için sınır işi sıfırdır. Ayrıca sisteme giren toplam kütle ve enerji, çıkan toplam kütle ve enerjiye eşittir.

Sürekli akışlı açık sistemlerde sistemin içindeki toplam kütle zamanla değişmez. Sürekli akışlı açık sistemleri çözümlerken bir zaman süresince sisteme giren veya çıkan kütleden çok birim zamanda akan kütle veya kütle debisi önem kazanır. Birçok girişi ve çıkışı olan genel bir sürekli akışlı açık sistem için kütle korunumu ilkesi;

$$\Sigma \dot{m}_{giren} = \Sigma \dot{m}_{çıkan} \quad [\text{kg/s}] \quad (7.4)$$

Genel bir sürekli akışlı açık sistem için termodinamiğin birinci yasası veya enerjinin korunumu ilkesinin sözle ifadesi, birim zamanda kütle ile birlikte sistemden çıkan toplam enerjiden, birim zamanda kütle ile birlikte sisteme giren enerjinin farkı, birim zamanda ısı veya iş olarak sistem sınırlarını geçen toplam enerjiye eşittir. Matematiksel olarak;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma \dot{m}_{çıkan} \theta_{çıkan} - \Sigma \dot{m}_{giren} \theta_{giren} \quad (7.5)$$

olarak yazılır.

Burada θ , akış işi de içinde olmak üzere akışkanın birim kütle için toplam enerjisidir. Başka bir deyişle θ , akışkanın birim kütle için entalpisi, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır. Bu durum göz önüne alındığında;

kütle debisinin değişmediği ($\dot{m} = \dot{m}_{giren} = \dot{m}_{çıkan}$) bir girişli ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistem için enerjinin korunumu eşitliği;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} (\Delta h + \Delta \text{kinetik enerji} + \Delta \text{potansiyel enerji}) \quad (7.6)$$

halini alır.

(7.6), kütle debisi (\dot{m}) ile bölünürse, birinci yasa birim kütle için ifade edilmiş olur.

$$q - w = (\Delta h + \Delta \text{kinetik enerji} + \Delta \text{potansiyel enerji}) \quad [\text{kJ/kg}] \quad (7.7)$$

Akışkan sistemden geçerken, kinetik ve potansiyel enerjilerinde çok az bir değişim olursa, başka bir deyişle kinetik ve potansiyel enerjisindeki değişim yaklaşık sıfır kabul

edilebilirse (7.7) eşitliği;

$$q - w = \Delta h \quad [\text{kJ/kg}] \quad (7.8)$$

olarak yazılabilir.

(7.8), açık sistem için birinci yasanın en basit biçimi olup kapalı sistemler için birinci yasanın yazılışına benzemektedir. Ancak burada Δu 'nun yerini Δh almıştır [25].

7.1 Duvardan Isıtma ve Soğutmalı DTKIP Sistemini Oluşturan Alt Sistemlerin Kütle ve Enerji Analizi

Daha önce de belirtildiği gibi duvardan ısıtma ve soğutmalı DTKIP sistemi 3 adet alt sistemden meydana gelir. Toprak altı devresi, ısı pompası cihazı ve duvar serpantinlerine ek olarak bu bölümde, duvar serpantinleri içinde dolaşan suyun depolandığı tank da incelenecektir.

7.1.1 Toprak Altı Isı Değiştirici Sisteminin Kütle ve Enerji Analizi

Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde toprak kışın kaynak, yazın ise kuyu görevi görerek ısı enerjisinin ihtiyaca göre yönlendirilmesini sağlar. Toprağın bu görevi gerçekleştirebilmesi, içinden ısı taşıyıcı akışkan (salamura) geçen ve toprağa dikey olarak gömülü borulardan meydana gelen ısı değiştiricisi ile mümkündür (Şekil 7.2).

Isı değiştiricileri iki akışın karışmadan ısı alışverişinde buldukları mekanik düzenlerdir [25]. Toprak altı ısı değiştiricisinde ısı alışverişi, hem taşınım hem de iletim yoluyla gerçekleşir. Bu ise toprakaltı devresine giren ve çıkan ısı taşıyıcı akışkanın kütle ve enerjisi ile toprağın sıcaklığına bağlıdır.

TKIP sistemlerinde toprak altı ısı değiştiricisi içerisindeki salamuranın kütlesi zamanla değişmez. Toprak altı ısı değiştiricisine giren toplam kütle çıkan toplam kütleyle eşittir. Bu durumda toprak altı ısı değiştiricisinin termodinamik analizi “sürekli akışlı açık sistem” olarak yapılır.

Toprak altı ısı değiştiricisi için kütle korunumu;

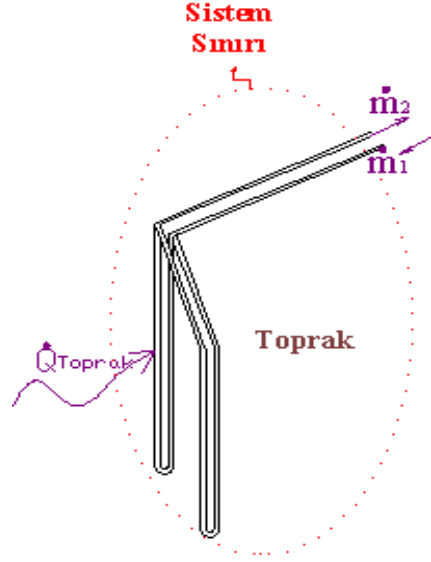
$$\dot{m}_{gir} = \dot{m}_{çık}$$

$$\dot{m}_{gir} = \dot{m}_1$$

$$\dot{m}_{çık} = \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_{Salamura}$$

$$\dot{m}_1 - \dot{m}_2 = 0 \quad (7.9)$$



Şekil 7. 2 DTKIP Sisteminde toprak altı ısı değiştiricisine enerji ve kütle giriş çıkışı

Toprak altı ısı değiştiricisi için enerjinin korunumu;

Sürekli akışlı açık sistemlerde, sistemin toplam enerjisinde değişim olmaz. Sisteme ısı iş veya kütle akışı olarak giren enerji, çıkan enerjiye eşittir. Bu durumda toprak altı ısı değiştiricisi için enerjinin korunumu;

$$\dot{E}_{gir} - \dot{E}_{çık} = 0$$

$$\dot{E}_{gir} = \dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{Q}_{Toprak}$$

$$\dot{E}_{çık} = \dot{m}_2 \cdot h_2$$

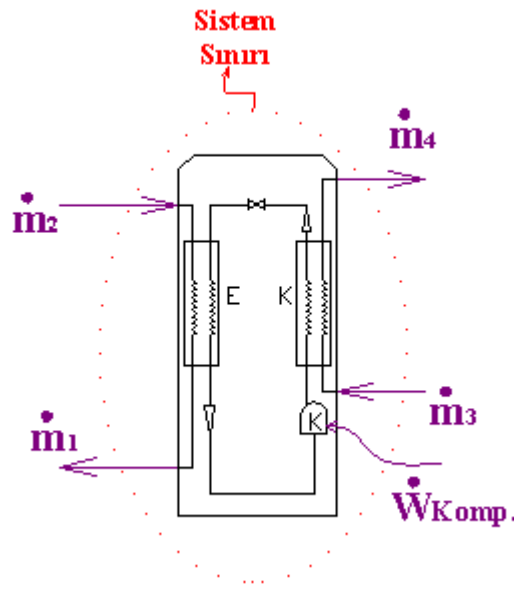
$$\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{Q}_{Toprak} - \dot{m}_2 \cdot h_2 = 0$$

$$\dot{Q}_{Toprak} = \dot{m}_{Salamura} (h_2 - h_1) \quad (7.10)$$

Daha önce belirtildiği gibi toprağın yazın ve kışın üstlendiği görevin farklılığı sebebiyle ısı enerjisinin (\dot{Q}_{Toprak}) sisteme ilavesi kışın artı, yazın eksi durumdadır.

7.1.2 Isı Pompası Cihazının Kütle ve Enerji Analizi

Isı pompası sistemi daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi kapalı bir çevrim gerçekleştirir. Çevrim oluşturan kapalı sistemler için termodinamiğin birinci yasası eşitlik (7.3)'de verildiği gibidir. Isı pompası sisteminde ısı alışverişi cihazın iç ve dış ısı değiştiricileri ile gerçekleşir. Kış veya yazın çalışma şartlarına göre iç ve dış ısı değiştiricileri vasıtasıyla transfer olan Q_H ve Q_L 'nin yönü değişir. Q_H ve Q_L , ısı değiştiricilerine kütle akışı olarak giren ve çıkan ısıl enerjidir. Isı pompası çevriminin gerçekleşebilmesi için sisteme ayrıca dışardan elektrik enerjisi verilir.



Şekil 7. 3 Isı pompası cihazında enerji ve kütle giriş çıkışı

Isı pompasında soğutucu akışkanın 4 ayrı sistem elemanından geçerek çevrimi tamamladığı ve her bir elemanın farklı görevleri olduğu daha önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Isı pompası sistemini incelerken onu oluşturan alt sistemleri de ayrı ayrı incelemek gerekmektedir. Bu bölümde ısı pompası bir bütün olarak incelenecek, ayrıca ısı pompasını oluşturan kompresör, genleşme vanası (kısılma vanası) ve de çalışma sezonuna göre iç ve dış ısı değiştiricisi olan evaporatör ve kondenserin termodinamik analizi yapılacaktır.

Isı pompası cihazı için kütle korunumu;

$$\dot{m}_{gir} - \dot{m}_{çık} = 0$$

$$\dot{m}_{gir} = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

$$\dot{m}_{cik} = \dot{m}_1 + \dot{m}_4$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$(\dot{m}_2 + \dot{m}_3) - (\dot{m}_1 + \dot{m}_4) = 0 \quad (7.11)$$

Isı pompası cihazı için enerjinin korunumu;

$$\dot{E}_{gir} - \dot{E}_{cik} = 0$$

$$\dot{E}_{gir} = \dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_3 \cdot h_3 + \dot{W}_{Komp.}$$

$$\dot{E}_{cik} = \dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_4 \cdot h_4$$

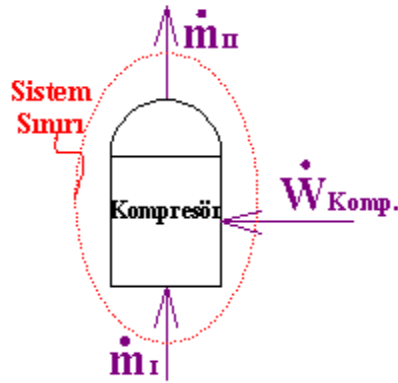
$$[\dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_3 \cdot h_3 + \dot{W}_{Komp.} - (\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_4 \cdot h_4)] = 0$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2, \quad \dot{m}_3 = \dot{m}_4$$

$$\dot{W}_{Komp.} = \dot{m}_1(h_1 - h_2) + \dot{m}_3(h_4 - h_3) \quad (7.12)$$

7.1.2.1 Kompresörün Kütle ve Enerji Analizi

Kompresörler, gazları yüksek basınçlara sıkıştırma amacına yönelik sürekli akışlı açık sistemlerdir [25].



Şekil 7. 4 Isı pompası cihazının kompresörüne kütle ve enerji giriş çıkışı

Isı pompası cihazının kompresörü için kütle korunumu;

$$\dot{m}_{gir} - \dot{m}_{cik} = 0$$

$$\dot{m}_{gir} = \dot{m}_I$$

$$\dot{m}_{\text{çık}} = \dot{m}_{II}$$

$$\dot{m}_I = \dot{m}_{II} = \dot{m}_{\text{Soğutucu Akışkan}}$$

$$\dot{m}_I - \dot{m}_{II} = 0 \quad (7.13)$$

Isı pompası cihazının kompresörü için enerjinin korunumu;

$$\dot{E}_{\text{gir}} - \dot{E}_{\text{çık}} = 0$$

$$\dot{E}_{\text{gir}} = \dot{m}_I \cdot h_I + \dot{W}_{\text{Kompresör}}$$

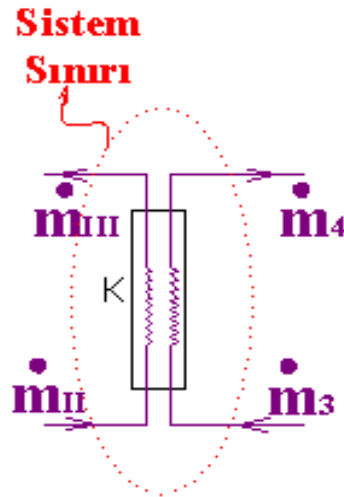
$$\dot{E}_{\text{çık}} = \dot{m}_{II} \cdot h_{II}$$

$$(\dot{m}_I \cdot h_I + \dot{W}_{\text{Kompresör}}) - (\dot{m}_{II} \cdot h_{II}) = 0$$

$$\dot{W}_{\text{Kompresör}} = \dot{m}_{\text{Soğutucu Akışkan}} \cdot (h_{II} - h_I) \quad (7.14)$$

7.1.2.2 Kondenserin Kütle ve Enerji Analizi

Isı pompasının kondenseri kışın Q_H , yazın ise Q_L ısısının transfer edildiği ısı değiştiricisidir. Bu ısılar, mahal içi enerji dağıtım sisteminde dolaşan akışkanın kütle akışı olarak giren ve çıkan enerjisinin farkına eşittir.



Şekil 7. 5 Isı pompası cihazının kondenseri kütlesi ve enerji girişi çıkışı

Kondenser de sürekli akışlı açık bir sistemdir.

Isı pompası cihazının kondenseri için kütle korunumu;

$$\dot{m}_{\text{gir}} - \dot{m}_{\text{çık}} = 0$$

$$\dot{m}_{gir} = \dot{m}_{II} + \dot{m}_3$$

$$\dot{m}_{çık} = \dot{m}_{III} + \dot{m}_4$$

$$\dot{m}_{II} = \dot{m}_{III} = \dot{m}_{Soğutucu Akışkan}$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_{Isıl Depo}$$

$$(\dot{m}_{II} + \dot{m}_3) - (\dot{m}_{III} + \dot{m}_4) = 0 \quad (7.15)$$

Isı pompası cihazının kondenseri için enerjinin korunumu;

$$\dot{E}_{gir} - \dot{E}_{çık} = 0$$

$$\dot{E}_{gir} = \dot{m}_{II} \cdot h_{II} + \dot{m}_3 \cdot h_3$$

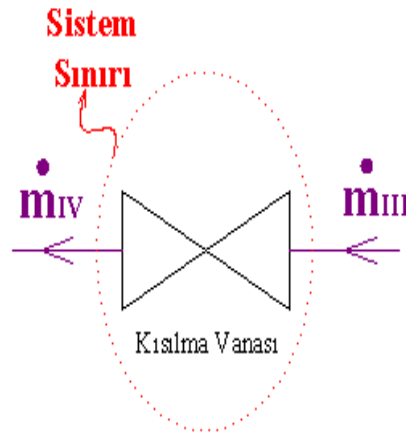
$$\dot{E}_{çık} = \dot{m}_{III} \cdot h_{III} + \dot{m}_4 \cdot h_4$$

$$(\dot{m}_{II} \cdot h_{II} + \dot{m}_3 \cdot h_3) - (\dot{m}_{III} \cdot h_{III} + \dot{m}_4 \cdot h_4) = 0$$

$$\dot{m}_{Soğutucu Akışkan} (h_{II} - h_{III}) + \dot{m}_{Isıl Depo} (h_3 - h_4) = 0 \quad (7.16)$$

7.1.2.3 Genleşme (Kısılma) Vanasının Kütle ve Enerji Analizi

Kısılma vanaları, akış kesitini herhangi bir şekilde azaltarak akışkanın basıncını önemli ölçüde düşüren elemanlardır. Türbinlerden farklı olarak basınç düşmesi sırasında herhangi bir iş yapılmaz. Akışkanın basıncı düşerken genellikle sıcaklığında da büyük bir düşme gözlenir [25].



Şekil 7. 6 Isı pompası cihazının kısılma vanasına kütle ve enerji girişi çıkışı

Isı pompası cihazının kısılma vanası için kütlenin korunumu;

Kısılma vanasına giren ve kısılma vanasından çıkan kütle, ısı pompası çevriminde dolaşan soğutucu akışkanın kütlesidir.

$$\dot{m}_{gir} - \dot{m}_{çık} = 0$$

$$\dot{m}_{gir} = \dot{m}_{III}$$

$$\dot{m}_{çık} = \dot{m}_{IV}$$

$$\dot{m}_{III} = \dot{m}_{IV} = \dot{m}_{Soğutucu Akışkan}$$

$$\dot{m}_{III} - \dot{m}_{IV} = 0 \quad (7.17)$$

Isı pompası cihazının kısılma vanası için enerjinin korunumu;

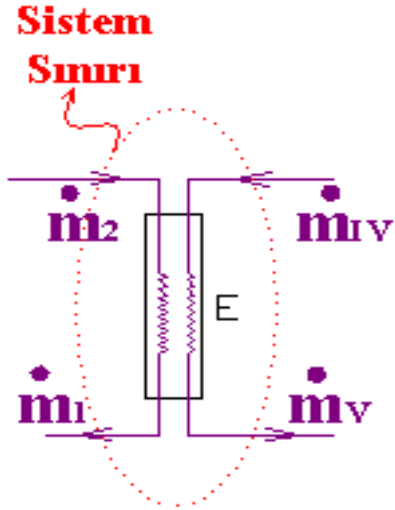
Kısılma vanaları genellikle küçük elemanlardır, bu nedenle akışkanla çevre arasında ısı geçiş alanı küçüktür. Isı geçiş için alanın küçük, zamanın da kısa olması nedeniyle kısılma vanalarında akış adyabatik kabul edilebilir. Ayrıca bir iş söz konusu olmadığı için enerji denkleminde işle ilgili terim de sıfır olacaktır. Kısılma vanasından geçen akışkanın potansiyel enerji değişimi de çok küçük olduğundan sıfır kabul edilebilir. Akışkanın kısılma vanasından çıkış hızı, genellikle kısılma vanasına giriş hızına oranla oldukça yüksektir, fakat hız mertebesi olarak düşük olduğundan, kinetik enerji değişimleri de ihmal edilebilir. Bu durumda sürekli akışlı açık sistem olan kısılma vanası için enerjinin korunumu;

$$h_{III} \cong h_{IV} \quad (7.18)$$

olarak ifade edilir. Sözlü anlatımla, bir kısılma vanasının giriş ve çıkışındaki entalpi değerleri eşittir. Bu nedenle kısılma vanalarına sabit entalpili sistemler denebilir [25].

7.1.2.4 Evaporatörün Kütle ve Enerji Analizi

Isı pompasının evaporatörü kışın Q_L , yazın ise Q_H ısısının transfer edildiği ısı değiştiricisidir. Bu ısılar, toprakaltı ısı değiştiricisinde dolaşan akışkanın kütle akışı olarak giren ve çıkan enerjisinin farkına eşittir. Evaporatör sürekli akışlı açık bir sistemdir.



Şekil 7. 7 Isı pompası cihazının evaporatörüne kütle ve enerji giriş çıkışı

Isı pompası cihazının evaporatörü için kütle korunumu;

$$\dot{m}_{gir} - \dot{m}_{çık} = 0$$

$$\dot{m}_{gir} = \dot{m}_2 + \dot{m}_{IV}$$

$$\dot{m}_{çık} = \dot{m}_1 + \dot{m}_V$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_{Salamura}$$

$$\dot{m}_{IV} = \dot{m}_V = \dot{m}_{Soğutucu Akışkan}$$

$$(\dot{m}_2 + \dot{m}_{IV}) - (\dot{m}_1 + \dot{m}_V) = 0 \quad (7.19)$$

Isı pompası cihazının evaporatörü için enerjinin korunumu;

$$\dot{E}_{gir} - \dot{E}_{çık} = 0$$

$$\dot{E}_{gir} = \dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_{IV} \cdot h_{IV}$$

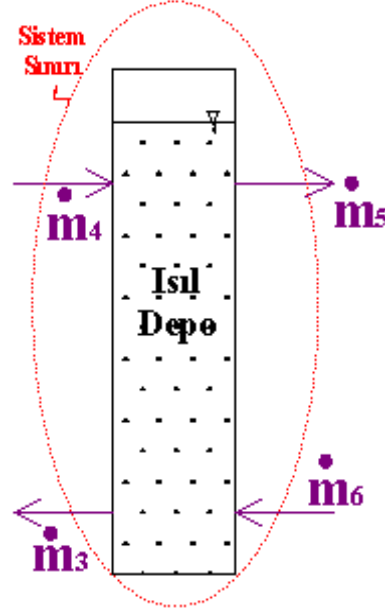
$$\dot{E}_{çık} = \dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_V \cdot h_V$$

$$(\dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_{IV} \cdot h_{IV}) - (\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_V \cdot h_V) = 0$$

$$\dot{m}_{Salamura}(h_2 - h_1) + \dot{m}_{Soğutucu Akışkan}(h_{IV} - h_V) = 0 \quad (7.20)$$

7.1.3 Isıl Deponun Kütle ve Enerji Analizi

Isıl depo, duvar serpantinleri içine giden ve dönen su ile bu suyun istenen sıcaklığa gelmesini sağlayan ısı pompasının iç ısı değiştiricisine giren ve çıkan suyun depolandığı tanktır. Isıl depo bir karışma odasıdır.



Şekil 7. 8 Isıl depoya kütle ve enerji giriş çıkışı

Isıl depo için kütle korunumu;

Bir karışma odası için kütle korunumu ilkesi, giren akışların kütle debilerinin toplamının, çıkan akışın kütle debisine eşit olmasını zorunlu kılar [25].

$$\dot{m}_{gir} = \dot{m}_4 + \dot{m}_6$$

$$\dot{m}_{çık} = \dot{m}_3 + \dot{m}_5$$

$$(\dot{m}_4 + \dot{m}_6) = (\dot{m}_3 + \dot{m}_5)$$

$$(\dot{m}_4 + \dot{m}_6) - (\dot{m}_3 + \dot{m}_5) = 0 \quad (7.21)$$

Isıl depo için enerjinin korunumu;

Karışma odalarının iyi yalıtıldığı durumlarda karışma odalarında ısı transferi sıfır kabul edilebilir. Karışma odalarında iş de söz konusu değildir. Akışların kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişim de genellikle ihmal edilebilir. Bu durumda enerji

denklemlerinde sadece giren ve çıkan akışkanların enerjilerini gözönüne almak gerekecektir [25].

$$\dot{E}_{gir} - \dot{E}_{çık} = 0$$

$$\dot{E}_{gir} = \dot{m}_4 \cdot h_4 + \dot{m}_6 \cdot h_6$$

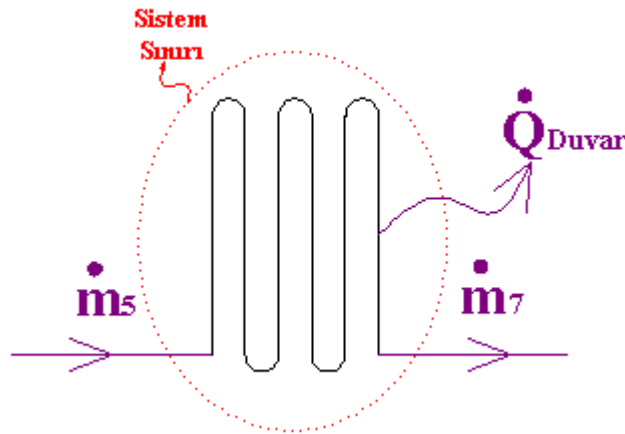
$$\dot{E}_{çık} = \dot{m}_3 \cdot h_3 + \dot{m}_5 \cdot h_5$$

$$(\dot{m}_4 \cdot h_4 + \dot{m}_6 \cdot h_6) - (\dot{m}_3 \cdot h_3 + \dot{m}_5 \cdot h_5) = 0 \quad (7.22)$$

Isıl depoda yalıtımın olmadığı düşünülürse, sistem mevsime göre ısı enerjisi kazanacak veya kaybedecektir ve bunun da giren enerjiye veya çıkan enerjiye eklenmesi gerekecektir.

7.1.4 Duvar Serpantinlerinin Kütle ve Enerji Analizi

Duvar serpantinleri, mahal içi enerji dağıtımını sağlayan bir ısı değiştiricisi olarak düşünülebilir. Isı pompasının iç ısı değiştiricisinde istenen sıcaklığa gelen su, ısıl depodan sonra bu serpantinlerin içinden geçerek enerjisini mahale bırakır veya mahalden aldığı enerjiyi, yine ısı depodan geçtikten sonra ısı pompasına bırakır.



Şekil 7. 9 Duvar serpantinlerine kütle ve enerji giriş çıkışı

Duvar serpantinleri için kütle korunumu;

$$\dot{m}_{gir} - \dot{m}_{çık} = 0$$

$$\dot{m}_{gir} = \dot{m}_5$$

$$\dot{m}_{\text{çık}} = \dot{m}_7 = \dot{m}_6$$

$$\dot{m}_5 - \dot{m}_6 = 0 \quad (7.23)$$

Duvar serpantinleri için enerjinin korunumu;

$$\dot{E}_{\text{gir}} - \dot{E}_{\text{çık}} = 0$$

$$\dot{E}_{\text{gir}} = \dot{m}_5 \cdot h_5$$

$$\dot{E}_{\text{çık}} = \dot{m}_6 \cdot h_6 + \dot{Q}_{\text{Duvar}}$$

$$(\dot{m}_5 \cdot h_5) - (\dot{m}_6 \cdot h_6 + \dot{Q}_{\text{Duvar}}) = 0$$

$$\dot{Q}_{\text{Duvar}} = \dot{m}_5 \cdot h_5 - \dot{m}_6 \cdot h_6$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (\text{Bkz. kütlelenin korunumu})$$

$$\dot{Q}_{\text{Duvar}} = \dot{m}_6 (h_5 - h_6) \quad (7.24)$$

Daha önce de bahsedildiği gibi eğer serpantinlerin içinde dolaşan suyun mahalden enerji çekmesi durumunda \dot{Q}_{Duvar} , sisteme enerji girdisi olacaktır. Bu durumda;

$$\dot{E}_{\text{gir}} = \dot{m}_5 \cdot h_5 + \dot{Q}_{\text{Duvar}}$$

$$\dot{E}_{\text{çık}} = \dot{m}_6 \cdot h_6$$

$$(\dot{m}_5 \cdot h_5 + \dot{Q}_{\text{Duvar}}) - (\dot{m}_6 \cdot h_6) = 0$$

$$\dot{Q}_{\text{Duvar}} = \dot{m}_6 \cdot h_6 - \dot{m}_5 \cdot h_5$$

$$\dot{Q}_{\text{Duvar}} = \dot{m}_6 (h_6 - h_5) \quad (7.25)$$

olarak ifade edilir.

BÖLÜM 8

UYGULAMA

Bu uygulamada, Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'nde (YYEE) kurulu bulunan DTKIP ile duvardan ısıtma ve soğutma sisteminin performansı incelenecektir. Bu amaçla aşağıdaki adımlar sırasıyla uygulanacaktır;

- 1) YYEE'nin yapı ve teknik açıdan incelenmesi,
- 2) YYEE'nin TS 825 standardına uygunluğunun incelenmesi,
- 3) YYEE'nin ısı kayıp ve kazanç hesaplarının yapılması,
- 4) YYEE Duvardan ısıtma ve soğutmalı DTKIP'nin performansının incelenmesi.

8.1 Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi

YYEE, yakın gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarından en fazla düzeyde yararlanabilmek amacıyla YTÜ Davutpaşa Kampüsü'nde kurulmuştur. "Rüzgar Enerjisi, Güneş Enerjisi, Toprak Kaynaklı Dikey Tip Isı Pompası, Isıl Enerji Depolama Sistem Bileşenleri ile Isıtma, Soğutma ve Aydınlatma Amaçlı Oluşturulacak Bileşik Yenilenebilir Enerji Sisteminin Modelleme ve Analizlerinin Gerçekleştirilmesi, Deneysel Olarak İncelenmesi" isimli proje, Prof.Dr. Olcay Kıncay'ın yürütücülüğünde 2007 yılında YTÜ "Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne" yapılan başvuru sonucu kabul edilmiş, Haziran 2008'de hayata geçirilmiştir. YYEE'de gerekli deneysel incelemeleri yapabilmek amacıyla YTÜ Davutpaşa Yerleşkesi'ndeki "İstanbul Kız Liseliler Kız Öğrenci Yurdu"nın yanında iki katlı ve toplam 46 m² taban alanına sahip olan konteynerde Ağustos 2008'de çalışmalara başlanmıştır (Şekil 8.1).



Şekil 8. 1 Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası ve gizli ısı depolama sistemi ile bölgede yaygın olarak kullanılan konvansiyonel enerji kaynağı birlikte düşünülmüş, ayrıca kız öğrenci yurdunun salonu ile YYEE'nin ısı yalıtım değerleri göz önüne alınarak yalıtım etkisi proje kapsamında değerlendirmeye alınmıştır. Isıtmada düşük sıcaklık rejimi ile duvardan ısıtma yöntemi uygulanarak yenilenebilir kaynakların optimum olarak kullanılması ve tesisattaki cihazların minimum kapasite ile çalıştırılması amaçlanmıştır.

Bu proje **Birleşik Yenilenebilir Enerji Sistemi (BYES)** olarak adlandırılmış, elde edilecek çıktılar ise ısı ve elektrik enerjisi olarak hedeflenmiştir [50].

YYEE'de halen yapılan çalışmalar dahilinde, yapı içinde DTKIP ile duvardan ısıtma ve soğutma ile yapının kısmi olarak aydınlatma ihtiyacını karşılamak üzere güneş pilleri mevcuttur.

8.2 YYEE'nin Mimari Özellikleri

2 katlı ve prefabrik yapıda, toplam 46 m² taban alanına sahip YYEE, alt (zemin) ve üst katta 2'şer adet toplam 4 oda ve giriş holünden oluşmaktadır. Zemin katta bulunan odalardan bir tanesi makine dairesi olarak tasarlanmıştır ve bu odanın haricindeki diğer 3 odanın duvarlarına, ısıtma/soğutma akışkanının dolaştığı serpantinler yerleştirilmiş ve

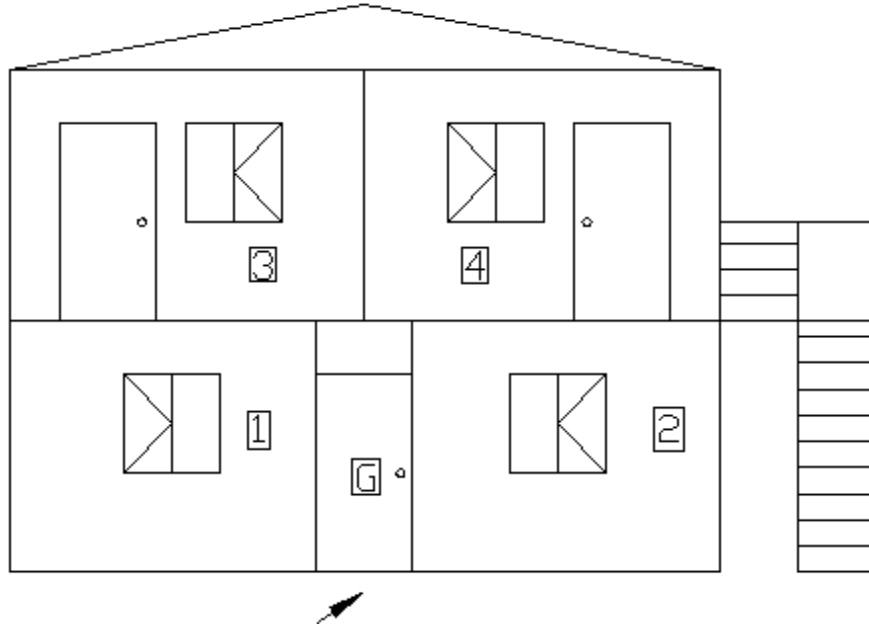
daha sonra üstü sıvanmıştır. Herbir odada birer adet pencere, üst kattaki odalarda birer adet dış kapı bulunmaktadır. Zemin kattaki odaların dış ortama açılan kapıları yoktur sadece giriş holünde dışarı açılan giriş kapısı mevcuttur. Binanın dış kapı ve pencereleri kuzeydoğu yönünü görecek şekilde yerleştirilmiştir. Pencereler tek camlı PVC, dış kapılar çelik sacdan yapılmıştır. Konteyner, toprak zemin üzerinde betonarme kaide üzerine oturtulmuştur. Çatı, beşik çatı modelinde ve shingle kaplıdır. Şekil 8.2’de YYEE’nin ön cepheden şematik görünümü bulunmaktadır. Burada kullanım amaçlarına göre;

1 : Makine dairesi (MD)

2 : Güneş odası (GO)

3 : Bilgi işlem merkezi (BİM)

4 : Test odası (TO) olarak adlandırılmıştır.



Şekil 8. 2 YYEE’nin ön cephesinin şematik görünümü

Şekil 8.3’te ise zemin katta sırasıyla makine dairesi, giriş holü, güneş odası, 1. katta sırasıyla bilgi işlem merkezi ve test odasının fotoğrafları bulunmaktadır.



Şekil 8. 3 YEE Zemin ve üst katta bulunan odaları ve giriş holü

8.2.1 YEE'nin Yapı Elemanları

8.2.1.1 Duvarlar

YEE duvarları iç ve dış duvarlar olarak ikiye ayrılabilir. İç ve dış duvarlar ayrıca ısıtma/soğutma yapılan serpantinli duvarlar ile serpantinsiz duvarlar olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılır.

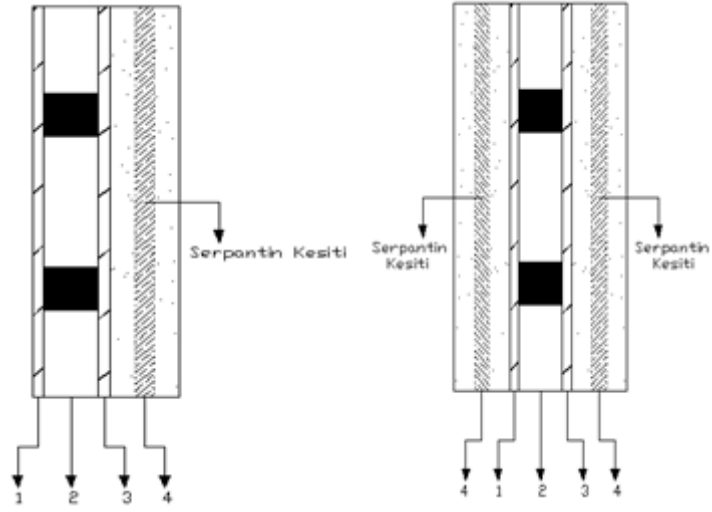
Şekil 8.4'te YYEE serpantinli iç duvarlarının kesit resmi görülmektedir. Burada yapı elemanları;

1 : 1,25 mm PVC lambiri,

2 : 30x50x1,2 mm kutu profil,

3 : 1,25 mm PVC lambiri,

4 : 70 mm. İç sıva, olarak sıralanmaktadır.



Şekil 8. 4 YYEE İç duvarlarının kesiti

İç sıvanın içerisinden ısıtma/soğutma serpantinleri geçmektedir. Alt katta ısıtılmayan/soğutulmayan alan ile ortak olan iç duvarın tek yüzünde, üst katta 3 ve 4 nolu odaların arasında bulunan iç duvarın her iki yüzünde de sıva tabakası içinde serpantin bulunmaktadır. Makine dairesi ile mutfak koridoru arasındaki iç duvarda ise serpantin yoktur.

YYEE'nin makine dairesi haricindeki diğer 3 odanın dış duvarlarının hepsinde içinden ısıtma/soğutma serpantini geçen sıva tabakası bulunmaktadır. Pencerelerin bulunduğu dış duvarların ise sadece bir kısmında sıva tabakası mevcuttur. Dış duvar yapı elemanları;

1 : 70 mm. İç sıva

2 : 1,25 mm PVC lambiri

3 : 40 mm Strophor

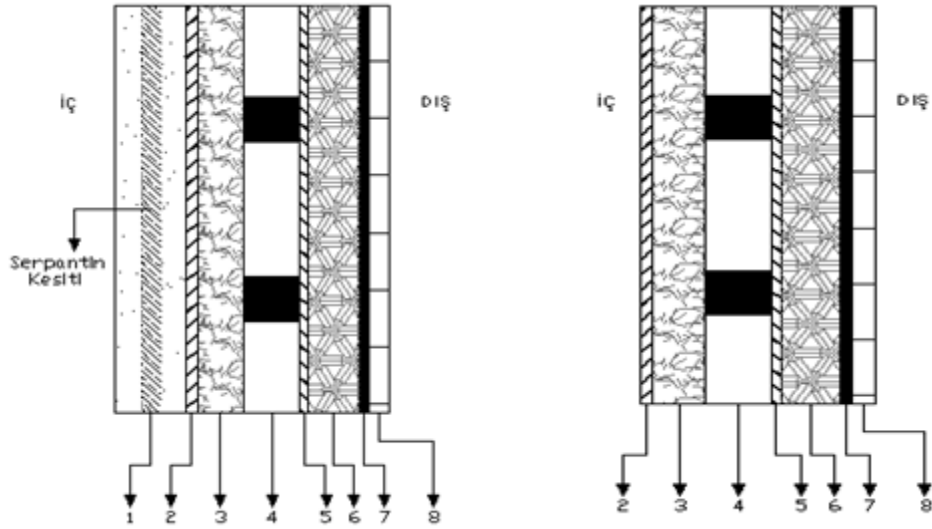
4 : 30x50x1,2 mm Kutu profil

5 : 0,5 mm Çelik sac

6 : 50 mm XPS

7 : 1 mm Polipropilen nem bariyeri

8 : 2 mm Plastik kaplama olarak sıralanmaktadır. Şekil 8.5'te YYEE'nin serpantinli ve serpantinsiz dış duvarlarının kesit resmi görülmektedir.



Şekil 8. 5 YYEE Serpantinli ve serpantinsiz dış duvarlarının kesiti

8.2.1.2 Tavan (Çatı)

Prefabrik konteyner şeklinde her bir katı aynı özellikte imal edilip üst üste konarak iki kat halinde oluşturulmuş YYEE'nin çatısı tavanının üstüne monte edilmiş beşik çatı şeklindedir. Çatının dışı shingle kaplı olup iskelet halinde kutu profiller ile tavana tutturulmuştur.

Şekil 8.6'da çatı detayı görülmektedir. Burada;

1 : 30x50x1,2 mm Kutu profil

2 : Tavan (Üst şase)

3 : Shingle

4 : OSB 3 olarak sıralanmaktadır.

Tavan yapı elemanları kesiti ise Şekil 8.7’de görülmektedir. Burada yapı elemanları üst taraftan alt tarafa doğru;

1 : 0,5 mm Galvaniz sac

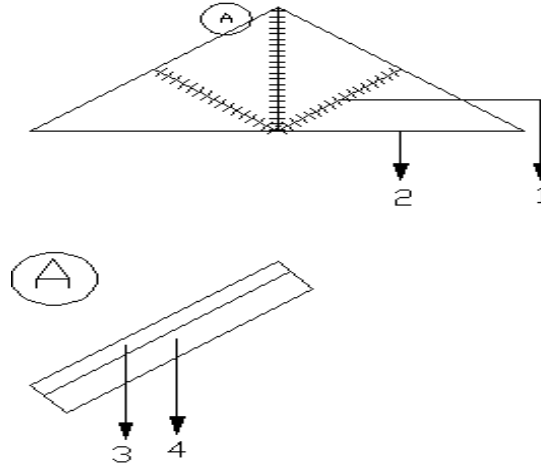
2 : 80 mm Camyünü

3 : 30x50x1,2 mm Kutu profil

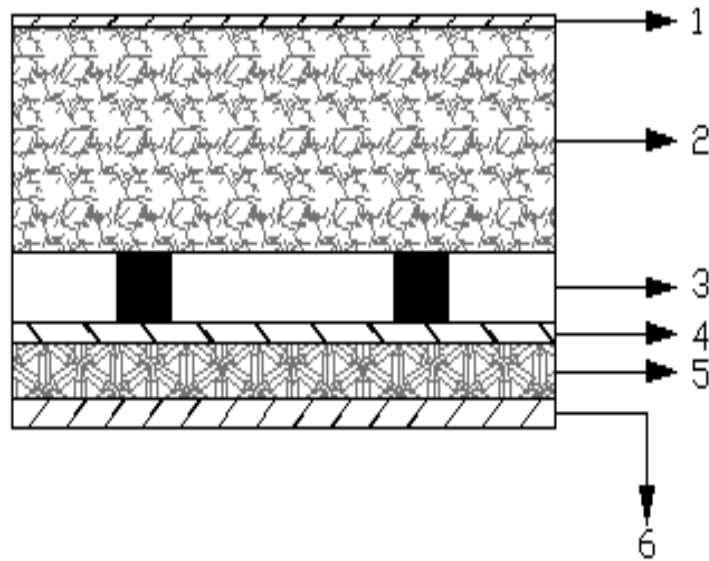
4 : 1,25 mm PVC lambiri

5 : 20 mm XPS

6 : 2 mm Plastik kaplama olarak sıralanmaktadır.



Şekil 8. 6 YEE Çatı detayı



Şekil 8. 7 YEE Tavan kesiti

8.2.1.3 Toprak Tabanlı Döşeme (TTT)

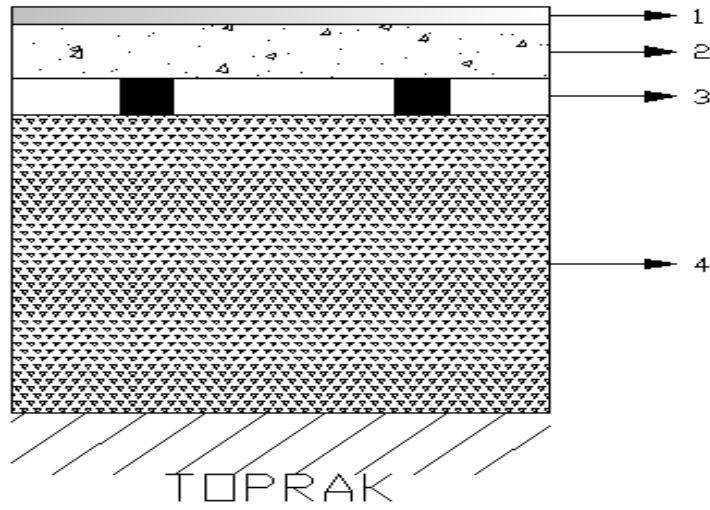
YYEE toprak tabanlı döşeme kesiti Şekil 8.8'de görülmektedir. Burada yapı elemanları;

1 : 5 mm Marley

2 : 16 mm Betopan

3 : 40x80x2 mm Kutu profil

4 : 300 mm Beton olarak sıralanmaktadır.



Şekil 8. 8 YYEE Toprak tabanlı döşeme kesiti

8.2.1.4 Katlar Arası Döşeme

YYEE üst üste konmuş iki adet prefabrik konteynerdan oluştuğu için katlar arası döşemesinde alt ve üst şase birbirini üzerinde konumlanmıştır. Şekil 8.9'da katlar arası döşemenin kesiti görülmektedir. Burada üst yüzeyden alt yüzeye doğru yapı elemanları;

1 : 5 mm Marley

2 : 16 mm Betopan

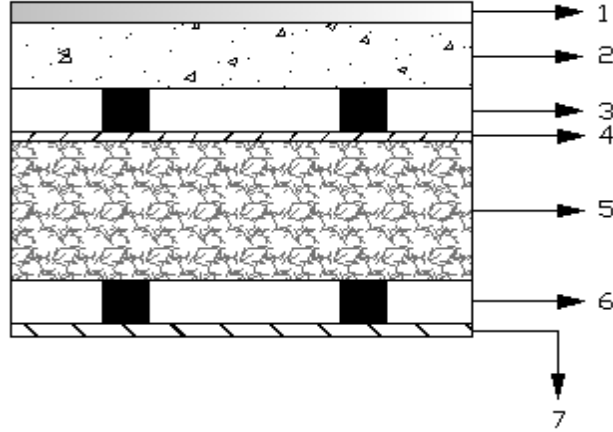
3 : 40x80x2 mm Kutu profil

4 : 0,5 mm Galvaniz sac

5 : 80 mm Camyünü

6 : 30x50x1,2 mm Kutu profil

7 : 1,25 mm PVC lambiri olarak sıralanmaktadır.



Şekil 8. 9 Katlar arası döşeme kesiti

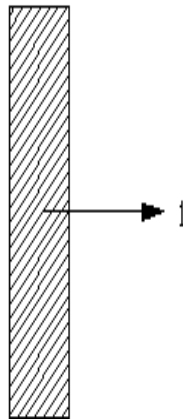
20 mm XPS izolasyon ve 2 mm plastik kaplama malzemesi sadece üst kattaki 3 ve 4 no.'lu odaların tavanına sonradan ilave edilmiştir. Bu nedenle katlararası döşemede bu yapı elemanları yoktur.

8.2.1.5 Kapılar

YYEE duvarları iç ve dış duvarlar olarak ikiye ayrılır.

Şekil 8.10'da YYEE iç kapılarının kesiti görülmektedir. Burada;

1 : 60 mm tahta olarak tek bir yapı elemanı bulunmaktadır.



Şekil 8. 10 YYEE iç kapılarının kesiti

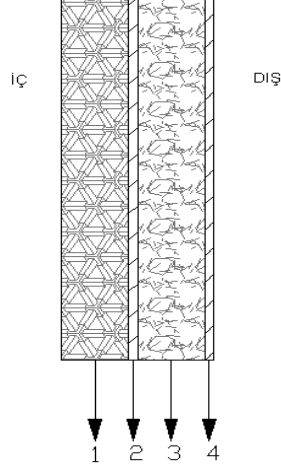
Şekil 8.11'de YYEE dış kapılarının kesiti görülmektedir. Burada içten dışa yapı elemanları;

1 : 50 mm XPS

2 : 1 mm Çelik sac

3 : 50 mm Strophor

4 : 1 mm Çelik sac olarak sıralanmıştır.



Şekil 8. 11 YYEE Dış kapılarının kesiti

8.2.2 YYEE Kapı ve Pencere Ölçüleri

YYEE iç ve dış kapıları aynı ölçülerde olup, ölçü detayları Şekil 8.12’de görülmektedir.

A = 0,9 m

B = 1,95 m

YYEE dış pencere ölçü detayları ise Şekil 8.13’te görülmektedir.

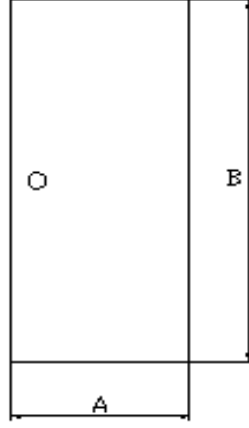
A = 1,115 m

B = 1,015 m

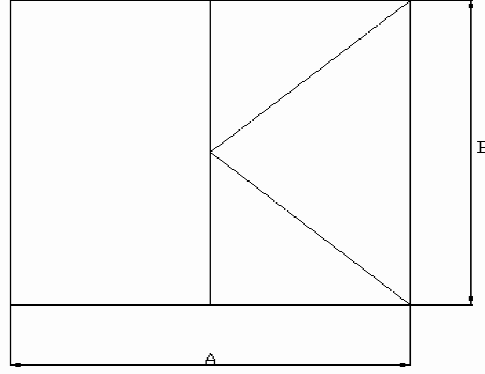
Pencere fuga boyu;

$$2(A/2) + B = A + B$$

$$\text{Pencere Fuga Boyu} = 1,115 + 1,015 = 2,13 \text{ m}$$



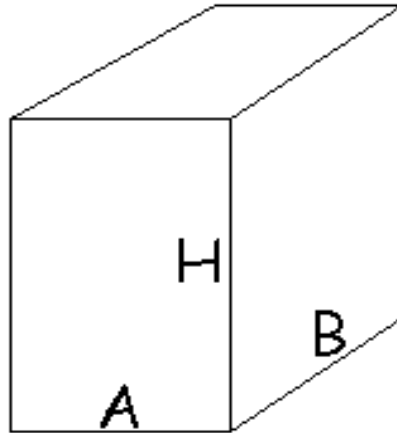
Şekil 8. 12 YYEE Kapı ölçüleri



Şekil 8. 13 YYEE Pencere ölçüleri

8.2.3 YYEE Konteyner Ölçü Detayı

YYEE konteyner ölçü detayları Şekil 8.14'te görülmektedir.



Şekil 8. 14 YYEE Konteyner ölçüleri

YYEE Konteynerinin dıştan dışa ölçüleri;

$$A = 3,079 \text{ m}$$

$$B = 7,1 \text{ m}$$

$$H = 2,5 \text{ m (Tek kat)}$$

YYEE konteyner içten içe ölçüleri, yapılan yalıtım ve duvar serpantinlerinin yerleştirilmesi nedeniyle alt (zemin) ve üst katlarda birbirinden farklıdır. Çizelge 8.1'de konteynerin içten içe ölçüleri verilmiştir.

Çizelge 8. 1 YYEE Konteyner içten içe ölçüleri

	Üst Kat[m]	Alt Kat[m]
A	2,65 (Ort.)	2,7 (Ort.)
B	6,61	6,68
H	2,28	2,30

8.2.3.1 YYEE Konteyner Brüt Hacmi

$$V_{Brüt} = A \times B \times H \quad (8.1)$$

$$V_{Brüt} = 3,079 \times 7,1 \times 5 \text{ (iki kat)}$$

$$V_{Brüt} = 109,3 \text{ m}^3$$

8.2.3.2 YYEE Konteyner Kullanım Alanı

$$A_n = 0,32 \times V_{Brüt} \quad (8.2)$$

$$A_n = 0,32 \times 109,3$$

$$A_n = 34,97 \text{ m}^2$$

8.2.4 YEE'nin Isı Kaybeden Yüzeyleri ve Özellikleri

8.2.4.1 Dış Kapılar

YEE'de 3 adet (0,9 x 1,95) m ölçülerindeki dış kapıların toplam alanı;

$$A_{Kapı} = 3 \times (0,9 \times 1,95)$$

$$A_{Kapı} = 5,265 \text{ m}^2$$

olarak bulunur. Dış kapılar, ısı iletim katsayıları $\lambda_{Sac} = 50 \text{ W/mK}$ olan 1'er mm çelik sac levha arasında, ısı iletim katsayısı $\lambda_{Strop} = 0,046 \text{ W/mK}$ olan strophor ısı yalıtım malzemesi ve de kapıların iç yüzeyinde ısı iletim katsayısı $\lambda_{XPS} = 0,027 \text{ W/mK}$ olan XPS ısı yalıtım malzemesinden oluşmaktadır.

8.2.4.2 Pencereleler

YEE'de 4 adet (1,115 x 1,015) m ölçülerindeki dış pencerelerin toplam alanı;

$$A_{Pencere} = 4 \times (1,015 \times 1,115)$$

$$A_{Pencere} = 4,52 \text{ m}^2$$

olarak bulunur. Pencereleler PVC çerçevesi ve tek camlıdır.

8.2.4.3 Tavan

Konteyner tavan alanını hesaplamak için konteynerin üst katının içten içe olan en ve boy ölçüleri dikkate alındığında;

$$A_{Tavan} = A \times B$$

$$A_{Tavan} = 2,65 \times 6,61$$

$$A_{Tavan} = 17,51 \text{ m}^2$$

olarak bulunur. Tavan yapı elemanları arasında ısı kaybı/kazancı hesabı yapmak amacıyla bulunacak ısı geçiş katsayısını hesaplamak için dikkate alınacak yapı elemanları, galvaniz sac $\lambda_{G.Sac} = 50 \text{ W/mK}$, camyünü $\lambda_{CY} = 0,04 \text{ W/mK}$, PVC lambiri

$\lambda_{PVC} = 0,23 \text{ W/mK}$, XPS $\lambda_{XPS} = 0,028 \text{ W/mK}$, plastik kaplama $\lambda_{P.Kaplama} = 0,2 \text{ W/mK}$ olarak sıralanır.

8.2.4.4 Toprak Temaslı Taban

YYEE 'nin toprakla temas eden tabanının alanını bulmak için konteynerin alt katının içten içe olan en ve boy ölçüleri dikkate alındığında;

$$A_{TTT} = A \times B$$

$$A_{TTT} = 2,7 \times 6,68$$

$$A_{TTT} = 18,03 \text{ m}^2$$

olarak bulunur. Toprak temaslı taban yapı elemanları arasında ısı kaybı/kazancı hesabı yapmak amacıyla bulunacak ısı geçiş katsayısını hesaplamak için dikkate alınacak yapı elemanları, marley $\lambda_{Marley} = 0,19 \text{ W/mK}$, betopan $\lambda_{BTP} = 0,15 \text{ W/mK}$, beton $\lambda_{Betón} = 0,44 \text{ W/mK}$ olarak sıralanır.

8.2.4.5 Isıtılmayan Düşük Sıcaklıktaki Ortama Bakan Döşeme

YYEE'de ısı pompası cihazının bulunduğu ortam olan makine dairesinde ve giriş holünde ısıtma/soğutma uygulaması yoktur. YYEE'nin 1 no.'lu odası ve giriş holüne tekabül eden bu ortamın tavanı, 3 no.'lu oda olan Bilgi İşlem Merkezinin tamamında, 4 no.'lu Test Odasının ise bir kısmında ısı kaybı oluşacaktır. Bu alan hesaplandığında;

$$A_{D.Sic.} = 3,52 \times 2,65$$

$$A_{D.Sic.} = 9,32 \text{ m}^2$$

olarak bulunur. Isıtılmayan düşük sıcaklıktaki taban yapı elemanları arasında ısı kaybı/kazancı hesabı yapmak amacıyla bulunacak ısı geçiş katsayısını hesaplamak için dikkate alınacak yapı elemanları, marley $\lambda_{Marley} = 0,19 \text{ W/mK}$, betopan $\lambda_{BTP} = 0,15 \text{ W/mK}$, galvaniz sac $\lambda_{G.Sac} = 50 \text{ W/mK}$, camyünü $\lambda_{CY} = 0,04 \text{ W/mK}$, PVC lambiri $\lambda_{PVC} = 0,23 \text{ W/mK}$ olarak sıralanır.

8.2.4.6 Dış Duvarlar

YYEE'nin makine dairesi olan 1 no.'lu odasının dış cepheye bakan 3 duvarından ve giriş holünün dış duvarlarından, bu mahallerde ısıtma/soğutma uygulaması olmadığı için serpantin geçmez. Diğer 3 odada ise penceresi olan kuzeydoğu duvarlarının bir kısmından serpantin geçmez. Net ısı kaybeden serpantinsiz dış duvarların toplam alanı, mahallerin içten içe duvar uzunlukları ile yine içten içe olan oda yüksekliğine göre yapılan hesap sonucunda;

$$A_{S.sizDuvar} = 27,05 \text{ m}^2$$

olarak bulunur. Serpantinsiz dış duvar yapı elemanları arasında ısı kaybı/kazancı hesabı yapmak amacıyla bulunacak ısı geçiş katsayısını hesaplamak için dikkate alınacak yapı elemanları, PVC lambiri $\lambda_{PVC} = 0,23 \text{ W/mK}$, strophor $\lambda_{Stp} = 0,046 \text{ W/mK}$, çelik sac sac $\lambda_{\text{ç.Sac}} = 50 \text{ W/mK}$, XPS $\lambda_{XPS} = 0,027 \text{ W/mK}$ polipropilen nem bariyeri $\lambda_{NB} = 0,15 \text{ W/mK}$, plastik kaplama $\lambda_{P.Kaplama} = 0,2 \text{ W/mK}$ olarak sıralanır.

YYEE'nin 2,3 ve 4 no.'lu odalarının tüm dış duvarlarından serpantin geçmektedir. Bu 3 odada toplam 3 adet pencere ve 2 adet dış kapı bulunmaktadır. Pencere ve kapıların olduğu kuzeydoğu duvarlarının bir kısmından serpantin geçmektedir. Bu mahallerin içten içe duvar uzunlukları ile yine içten içe olan oda yüksekliğine göre yapılan hesap sonucunda net ısı kaybeden serpantinli dış duvar alanı;

$$A_{S.liDuvar} = 47,44 \text{ m}^2$$

olarak bulunur. Serpantinli dış duvar yapı elemanları arasında ısı kaybı/kazancı hesabı yapmak amacıyla bulunacak ısı geçiş katsayısını hesaplamak için dikkate alınacak yapı elemanları, sıva $\lambda_{Sıva} = 0,7 \text{ W/mK}$, PVC lambiri $\lambda_{PVC} = 0,23 \text{ W/mK}$, strophor $\lambda_{Stp} = 0,046 \text{ W/mK}$, çelik sac $\lambda_{\text{ç.Sac}} = 50 \text{ W/mK}$, XPS $\lambda_{XPS} = 0,027 \text{ W/mK}$, polipropilen nem bariyeri, $\lambda_{NB} = 0,15 \text{ W/mK}$, plastik kaplama $\lambda_{P.Kaplama} = 0,2 \text{ W/mK}$ olarak sıralanır.

8.2.4.7 YYEE Toplam Isı Kaybeden Yüzey Alanı

$$A_{Top.} = A_{Kapı} + A_{Pencere} + A_{S.liDuvar} + A_{S.sizDuvar} + A_{Tavan} + A_{TTT} + A_{D.Sic.} \quad (8.3)$$

$$A_{Top.} = 5,265 + 4,52 + 47,44 + 27,05 + 17,51 + 18,03 + 9,32$$

$$A_{Top.} = 129,135 \text{ m}^2$$

8.2.4.8 YEE Her Yön İçin Toplam Pencere Alanı

Pencerelerin hepsi Kuzeydoğu yönündedir.

$$A_i = 4,52 \text{ m}^2$$

8.2.4.9 YEE Isı Kaybeden Yüzeylerin Isı Geçiş Katsayıları

YEE ısı kaybeden yüzeylerinin ısı geçiş katsayıları hesaplanırken, konteyner konstrüksiyonu nedeniyle oluşturacağı hesap karmaşası nedeniyle bazı yapı elemanları ihmal edilmiştir. Isı kaybeden yüzeylerin ısı geçiş katsayıları sırayla aşağıda yer almaktadır.

- Dış kapılar, $U_{D.Kapı} = 0,321 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Pencereler, $U_{Pencere} = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Serpantinsiz dış duvarlar, $U_{S.siz Duvar} = 0,342 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Serpantinli dış duvarlar, $U_{S.li Duvar} = 0,332 \text{ W/m}^2\text{K}$
- İç duvarlar, $U_{S.li İç Duvar} = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Tavan, $U_{Tavan} = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Toprak temaslı taban, $U_{TTT} = 1,01 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Isıtılmayan ortama bakan döşeme, $U_{D.Sic.} = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

8.3 YEE'nin TS 825 Standardına Uygunluğunun İncelenmesi [EK-A]

TS 825 standardının amacı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarını sınırlamayı, dolayısıyla enerji tasarrufunu arttırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve değerlerini belirlemektir [51]. YEE'nin fiili olarak çalışmalarının başlamasından önce kurulum aşamasında, YTÜ Davutpaşa Kampüsü'nde hazır bulunan prefabrik konteyner kullanılması sebebiyle TS 825 standartına olan uygunluk ikinci plana bırakılmıştır. Daha sonra yapılan çalışmaların geçerliliğinin ve günlük yaşama uyarlanmasının sağlanması

amacıyla konteyner siding ile kaplanarak TS 825 standardının uygunluğuna yaklaştırılmıştır.

Konteynerin siding ile kaplanmasıyla duvarları ve dış kapılarına 50 cm, tavanına 20 cm XPS izolasyon malzemesi eklenmiştir. Duvarlarına ayrıca polipropilen nem bariyeri de eklenmiştir. Böylece YEE, amacına uygun hale daha da yaklaşmıştır.

8.3.1 YEE'nin TS 825'e Göre Olması Gereken Yıllık Maksimum Isıtma Enerjisi İhtiyacı

TS 825'e göre bir binanın olması gereken yıllık en fazla ısıtma enerjisi ihtiyacı, binanın bulunduğu derece gün bölgesine göre **EK-A** TS 825 EK 1'den hesaplanır. YEE'nin yıllık maksimum ısıtma enerjisi ihtiyacı, **EK-A** TS 825 EK 4'ten 2. derece gün bölgesinde olduğu okunarak aşağıdaki formüle göre hesaplanır;

$$Q' = 68,59. [A_{Top.} / V_{Brüt}] + 32,3 \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (A_n \text{ ile ilişkili}) \quad (8.4)$$

YEE'nin TS 825 standardına uygun olabilmesi için, (8.4) sonucunda bulunan değer, YEE'nin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacından büyük olmalıdır.

$$Q' = 68,59. [129,135/109,3] + 32,3$$

$$Q' = 113,33 \text{ kWh/m}^2$$

8.3.2 YEE Özgül Isı Kaybı

YEE'nin özgül ısı kaybı, konteyner yapı elemanlarından iletim yolu ile gerçekleşen ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının toplamıdır ve TS 825 Denklem 3'ten hesaplanır.

$$H = H_i + H_h \quad (8.5)$$

$$H_i = \sum U. A \quad (8.5.1)$$

$$H_i = U_{S.sizDuvar} \times A_{S.sizDuvar} + U_{S.liDuvar} \times A_{S.liDuvar} + U_{Pencere} \times A_{Pencere} + 0,8 U_{Tavan} \times A_{Tavan} + 0,5 \cdot (U_{TTT} \times A_{TTT}) + 0,5 (U_{Düş.Sic.} \times A_{Düş.Sic.}) + U_{Kapı} \times A_{Kapı}$$

$$H_i = 0,342 \times 27,05 + 0,332 \times 47,44 + 5,8 \times 4,52 + 0,8(0,34 \times 17,51) + 0,5(1,01 \times 18,03) + 0,5.(0,4 \times 9,32) + 0,321 \times 5,265$$

$$H_i = 68,63 \text{ W/K}$$

$$H_h = 0,33 \times n_h \times 0,8V_{Brüt} \quad (8.5.2)$$

Saatteki hava değişim sayısı, $n_h = 1 \text{ h}^{-1}$ kabul edilmiştir.

$$H_h = 0,33 \times 1 \times (0,8.109,3)$$

$$H_h = 28,85 \text{ W/K}$$

$$H = H_i + H_h$$

$$H = 68,63 + 28,85$$

$$H = 97,48 \text{ W/K}$$

8.3.3 YEE Isı Kazançları

8.3.3.1 YEE Aylık Ortalama İç Isı Kazancı

TS 825 Madde 2.2.2'ye göre YEE için iç ısı kazançları 5 W/m^2 alınabilir. Bu durumda YEE için iç ısı kazancı hesabı (8.6)'dan hesaplanır.

$$\emptyset_{i,ay} = A_n \times 5 \quad (8.6)$$

$$\emptyset_{i,ay} = 34,97 \times 5$$

$$\emptyset_{i,ay} = 174,85 \text{ W}$$

8.3.3.2 YEE Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Isı Kazancı

Aylık ortalama güneş enerjisi ısı kazancı, TS 825 Denklem 7'den hesaplanır.

$$\emptyset_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (8.7)$$

$r_{i,ay}$ ve $g_{i,ay}$ değerleri, TS 825 Madde 2.2.3'ten, $I_{i,ay}$ değeri ise **EK-A** TS 825 EK 3'ten kuzeydoğu yönü için kuzey ve doğu yönlerinin ortalaması olarak alınarak YEE için aylık ortalama güneş enerjisi ısı kazancı hesaplanır (Çizelge 8.2).

Çizelge 8. 2 YEE aylık ortalama güneş enerjisi ısı kazancı

Ay	\emptyset_g (w)	Ay	\emptyset_g (w)
Ocak	63,62	Temmuz	183,49
Şubat	86,67	Ağustos	165,05
Mart	118,94	Eylül	127,24
Nisan	143,84	Ekim	91,28
Mayıs	177,96	Kasım	62,70
Haziran	189,02	Aralık	54,40

8.3.3.3 YEE Aylık Kazanç Kayıp Oranı

Aylık kazanç kayıp oranı (KKO_{ay}), TS 825 Denklem 9'dan hesaplanır.

$$KKO_{ay} = \frac{\emptyset_i + \emptyset_{g,ay}}{H(T_{iç} - T_{dış,ay})} \quad (8.8)$$

Konutlar için tavsiye edilen aylık ortalama iç ortam sıcaklığı $T_{iç} = 19^\circ\text{C}$ olarak alındı. $T_{dış}$ ise **EK-A** TS 825 EK 2'den 2. derece gün bölgesi için alındı (Çizelge 8.3). Bu durumda hesaplanan KKO_{ay} değerleri Çizelge 8.4'te görülmektedir.

Çizelge 8. 3 2.Derece gün bölgesi için aylık ortalama dış sıcaklık değerleri

Ay	$T_{dış}$ (°C)	Ay	$T_{dış}$ (°C)
Ocak	3,3	Temmuz	24,4
Şubat	4,5	Ağustos	23,8
Mart	7,2	Eylül	19,6
Nisan	12,6	Ekim	14,1
Mayıs	17,8	Kasım	9,1
Haziran	21,9	Aralık	4,9

Çizelge 8.4 YEE Aylık kazanç kayıp oranı

Ay	KKO	Ay	KKO
Ocak	0,155818	Temmuz	-
Şubat	0,185021	Ağustos	-
Mart	0,255411	Eylül	-
Nisan	0,510826	Ekim	0,557163
Mayıs	3,016089	Kasım	0,246153
Haziran	-	Aralık	0,166792

8.3.3.4 YEE Aylık Kazanç Kullanım Faktörü

Aylık kazanç kullanım faktörü (η_{ay}), TS 825 Denklem 8'den hesaplanır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{\left(-\frac{1}{KKO}\right)} \quad (8.9)$$

YEE için η_{ay} , Çizelge 8.5'te görülmektedir.

Çizelge 8. 5 YEE Aylık kazanç kullanım faktörü

Ay	η_{ay}	Ay	η_{ay}
Ocak	0,998367665	Temmuz	-
Şubat	0,995505010	Ağustos	-
Mart	0,980064598	Eylül	-
Nisan	0,858805054	Ekim	0,833840466
Mayıs	0,282193470	Kasım	0,982794290
Haziran	-	Aralık	0,997510047

8.3.3.5 YEE Aylık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Q_{ay}), TS 825 Denklem 2'den hesaplanır.

$$Q_{ay} = [H. (T_{iç} - T_{dış,ay}) - \eta_{ay}(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})]. t \quad [\text{Joule}] \quad (8.10)$$

t, zamanı ifade etmektedir ve eşitlik (8.10) için bir aya karşılık gelen saniye değeri olarak alınır. YEE 'nin her aya ait aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı Çizelge 8.6'da görülmektedir.

Çizelge 8. 6 YEE Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Ay	Q_{ay} [kJ]	Ay	Q_{ay} [kJ]
Ocak	3349784,842	Temmuz	-
Şubat	2988875,454	Ağustos	-
Mart	2235161,490	Eylül	-
Nisan	907665,049	Ekim	662883,359
Mayıs	22570,257	Kasım	1896279,249
Haziran	-	Aralık	2969884,627

8.3.3.6 YEE Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

YEE yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, aylık ısıtma enerji ihtiyaçlarının toplamıdır.

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (8.11)$$

(8.11)'e göre YEE'nin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$Q_{yıl} = 15033104,33 \text{ kJ}$ olarak bulunur. Bulunan bu değer kWh cinsinden;

$Q_{yıl} = 4179,2 \text{ kWh}$ olarak yazılır. YEE'nin kullanım alanı başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ise (8.12)'den hesaplanır.

$$Q = \frac{Q_{yıl}}{A_n} \quad (8.12)$$

$$Q = \frac{4179,2}{34,97}$$

$Q = 119,5 \text{ kWh/m}^2$ Bulunan bu değer YYEE için olması gereken yıllık en fazla ısıtma enerjisi ihtiyacı değeri olan $Q' = 113,33 \text{ kWh/m}^2$ ile karşılaştırıldığı zaman;

$Q > Q'$ olduğu görülür. YYEE ısı enerjisi ihtiyacı TS 825 standardının öngördüğü maksimum değerden yüksektir. Bu nedenle TS 825 standardına uymamaktadır. Ancak TS 825 standardının öngördüğü maksimum değere yaklaşılmıştır.

8.4 YYEE ısı Kayıp ve Kazançlarının Hesaplanması

8.4.1 YYEE ısı Kayıplarının Hesaplanması [EK-B]

YYEE'de makine dairesi hariç diğer 3 odanın ısı kayıpları ayrı ayrı hesaplanmış, binanın toplam ısı kaybını bulabilmek için bu değerler toplanmıştır. Her bir katın ısı kaybı hesabı izelge 8.7 ve izelge 8.8'de verilmiştir. Bunun için yapılan adımlar ise;

1) Hacmi evereleyen bütün dış duvarlar (DD), dış pencereler (PCR), dış kapılar (DK), döşeme (D) ve düşük sıcaklıktaki ortama bakan iç duvar (iD) ve i kapıların (iK), iletimle olan ısı kaybı eşitlik (8.13) yardımı ile hesaplandı. Daha sonra bunlar alt alta toplanarak ısı kaybı hesaplanmak istenen odanın yapı bileşimlerinden iletimle olan zamsız ısı kaybı (q_0) bulundu.

$$q_0 = U \times A \times \Delta T \quad (8.13)$$

ΔT 'yi bulmak için **EK-B 2** ve **EK-B 3**'ten yararlanıldı.

2) Bulunan q_0 değerine sırasıyla birleştirilmiş artırım katsayısı (Z_D) **EK-B 7**'den, yn arttırımı (Z_H) **EK-B 8**'den kat yükseklik arttırımı (Z_W) **EK-B 9**'dan alınarak ısı kaybı hesaplanmak istenen odanın yapı bileşimlerinden iletimle olan toplam ısı kaybı bulundu.

3) Eşitlik (8.14) kullanılarak ısı kaybı hesaplanmak istenen odanın pencere ve/veya kapılardan sızıntı yoluyla meydana gelen ısı kaybı, a, R ve H değerleri sırasıyla **EK-B 10** , **EK-B 12** ve **EK-B 13**'ten alınarak hesaplandı. Pencere ve kapılar için fuga boyu (l), her oda için ayrı ayrı bulundu. Köşe artırım katsayısı (Z_e) ise hesaplanan her oda için uygun olan "1" değeri alındı.

$$q_s = \Sigma(a.l)_{dış} R.H.\Delta T.Z_e$$

(8.14)

Çizelge 8. 7 YYEE Zemin kat ısı kaybı

Yapı Özelliği		ISI KAYBI HESABI										Kat No :				
Prefabrik												Tesisatın Cinsi:				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Yapı Bileşeni İşareti	Yönü	ALAN HESABI					ISI KAYBI HESABI					ARTIRIMLAR				
		Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Toplam ısı Geçiş Katsayısı	Sıcaklık Farkı	Zamsız ısı kaybı	Birleştirilmiş Artırım Katsayısı	Yön Artırımı Katsayısı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Toplam Artırım Katsayısı	Toplam ısı ihtiyacı	
		m	m	m ²	tane	m ²	m ²	W/m ² K	°C	W	%	%	%	%	W	
ZEMİN KAT																
GÜNEŞ ODASI (20°C)																
DD1	GB	2,860	2,300	6,578	1	-	6,578	0,332	23	50,230						
DD2	KB	2,700	2,300	6,210	1	-	6,210	0,332	23	47,420						
DD3	KD1	0,900	2,300	2,070	1	-	2,070	0,332	23	15,807						
DD4	KD2	2,070	2,300	4,761	1	1,132	3,629	0,342	23	28,546						
PCR	KD	1,015	1,115	1,132	1	-	1,132	5,800	23	151,009						
İD		2,700	2,300	6,210	1	1,755	4,455	2,700	14	168,399						
İK		0,900	1,950	1,755	1	-	1,755	2,000	14	49,140						
DÖ		2,700	2,900	7,830	1	-	7,830	1,010	11	86,991						
İletimle olan ısı kaybı Σ										597,541	7	5	0	1,12	669,245	
Pencereden infiltrasyon ısı kaybı $q_{sp} = 3*2,13*0,9*0,97*23*1$										128,3					128,300	
Güneş Odası Toplam ısı kaybı															797,545	

Çizelge 8. 8 YYEE 1.kat ısı kaybı

Yapı Özelliği		ISI KAYBI HESABI										Kat No :				
Prefabrik												Tesisatın Cinsi:				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Yapı Bileşeni İşareti	Yönü	ALAN HESABI					ISI KAYBI HESABI					ARTIRIMLAR				
		Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Toplam Isı Geçiş Katsayısı	Sıcaklık Farkı	Zamsız Isı Kaybı	Birleştirilmiş Artırım Katsayısı	Yön Artırımı Katsayısı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Toplam Artırım Katsayısı	Toplam Isı İhtiyacı	
																A
		m	m	m ²	tane	m ²	m ²	W/m ² K	°C	W	%	%	%	%	W	
1. KAT																
BİM (20°C)																
DD1	GB	3,215	2,280	7,330	1	-	7,330	0,332	23	55,973						
DD2	GD	2,700	2,280	6,156	1	-	6,156	0,332	23	47,007						
DD3	KD1	1,250	2,280	2,850	1	-	2,850	0,332	23	21,763						
DD4	KD2	1,960	2,280	4,469	1	2,887	1,582	0,342	23	12,445						
PCR	KD	1,015	1,115	1,132	1	-	1,130	5,800	23	150,740						
DK	KD	0,900	1,950	1,755	1	-	1,853	2,000	23	85,238						
DÖ		2,650	3,215	8,520	1	-	8,520	0,400	14	47,712						
İletimle olan ısı kaybı Σ										420,880	7	5	0	1,12	471,385	
Pencereden infiltrasyon ısı kaybı $q_{sp} = 3*5,88*0,9*0,97*23*1$										354,19					354,19	
BİM Odası Toplam Isı Kaybı															825,575	
TESTODASI (20°C)																
DD1	GB	3,180	2,280	7,250	1	-	7,250	0,332	23	55,361						
DD2	KB	2,700	2,280	6,156	1	-	6,156	0,332	23	47,007						
DD3	KD1	1,250	2,280	2,850	1	-	2,850	0,332	23	21,763						
DD4	KD2	1,930	2,280	4,400	1	2,887	1,514	0,342	23	11,907						
PCR	KD	1,015	1,115	1,132	1	-	1,132	5,800	23	151,010						
DK	KD	0,900	1,950	1,755	1	-	1,755	0,321	11	12,957						
İletimle olan ısı kaybı Σ										300	7	5	0	1,12	336,000	
Pencereden infiltrasyon ısı kaybı $q_{sp} = 3*5,88*0,9*0,97*23*1$										128,3					354,190	
Test Odası Toplam Isı Kaybı															690,190	

8.4.2 YYEE Isı Kazançlarının Hesaplanması [EK-C]

Bir mahalin ısı kazançları, mahale komşu diğer mahallerden ve dış ortamdan kaynaklanan dış ısı kazançları ile mahalin içinde bulunan ısı kaynaklarından meydana gelen iç ısı kazançları olmak üzere ikiye ayrılır. YYEE'de 2,3 ve 4 No'lu odaların iç ve dış ısı kazançları Çizelge 8.9'da verilmiştir. Bu değerlerin bulunması için yapılan hesap adımları;

1) Dış ısı kazançları;

a) Güneşten radyasyonla oluşan ısı kazancı :

Pencereden radyasyonla oluşan ısı kazancı eşitlik (8.15) yardımıyla hesaplanır.

$$Q_R = A_{Pencere} \times Q_G \quad (8.15)$$

Q_G değeri, **EK-C** Tablo 9.2'den okunur. Yapılan işlem sonucu bulunan değer, camın özelliğine göre **EK-C** Tablo 9.4'ten okunan gölgeleme katsayısı (K) ile çarpılarak pencereden radyasyonla gerçekleşen ısı kazancı değeri (Q_{RN}) bulunur.

$$Q_{RN} = K \times Q_R \quad (8.16)$$

b) Duvar ve pencerelerden iletimle oluşan ısı kazancı :

Dış duvarlar, klimatize edilmeyen iç duvarlar, kapılar, pencereler ve tavandan iletimle oluşan ısı kazancı eşitlik (8.17) yardımı ile hesaplanır.

$$Q = A \times U \times \Delta T_{eş} \quad (8.17)$$

Gün içerisinde zamana bağlı olarak değişen sıcaklık farkı değeri $\Delta T_{eş}$, değeri **EK-C** Tablo 9.7'den okunur.

c) Havalandırmadan kaynaklanan ısı kazancı :

Havalandırmadan kaynaklanan ısı kazancı eşitlik (8.18) yardımıyla hesaplanır.

$$Q_H = 7 \times n \times v \quad (8.18)$$

Kişi başına gerekli hava miktarı (v), **EK-C** Tablo 9.12'den okunur. Mahalde bulunankişi sayısı (n) ise her mahal için ayrı ayrı kabul edilir.

2) İç ısı kazançları;

a) İnsanlardan gelen ısı kazancı :

Bir insandan meydana gelen ısı kazancı, duyulur ve gizli ısı kazançlarının toplamıdır.

$$Q_{insan} = Q_{Duyulur} + Q_{Gizli} \quad (8.19)$$

İnsanlardan meydana gelen $Q_{Duyulur}$ ve Q_{Gizli} değerleri, **EK-C** Tablo 9.13'ten okunur. Bulunan bu değer, mahalde bulunan insan sayısı ile çarpılarak mahalın insanlardan kaynaklanan ısı kazancı hesaplanır.

b) Aydınlatmadan oluşan ısı kazancı :

Bir mahalın aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazancı, mahalde bulunan armatür(ler)in özelliğine ve sayısına göre bulunan toplam aydınlatma gücü (Q_{TA}) ve kullanım (k_1) ile özel armatür (k_2) faktörlerine göre eşitlik (8.20) yardımı ile hesaplanır.

$$Q_{Aydınlatma} = Q_{TA} \times k_1 \times k_2 \quad (8.20)$$

c) Cihazlardan oluşan ısı kazancı :

Bir mahalde bulunan elektrikle çalışan tüm cihazlardan kaynaklanan ısı yükü, cihazın özelliğine göre hesaplanarak veya daha önce pratik olarak hesaplanmış değerler kabul edilerek mahalın ısı kazancına eklenir.

8.5 YEE Duvardan Isıtma ve Soğutmalı DTKIP'nin Performansının İncelenmesi

YEE'nin kurulum amaçlarından biri olan ve ilk olarak gerçekleştirilen uygulama DTKIP ile duvardan ısıtma ve soğutma uygulamasıdır. Bu uygulama için YEE'den 30 m uzaklıkta ve aralarında 7,5 m mesafe olan 2 adet 60 m sondaj kuyusu açılmış ve içlerine HDPE 40 siyah polietilen borular yerleştirilip kuyunun en dibinde U parçası ile birleştirilerek TKIP sisteminin toprak altı ısı değiştiricisi oluşturulmuştur (Şekil 8.15). Toprak altı ısı değiştiricisinin ısı pompası cihazı ile bağlantısı toprağın 50 cm altından yatay boru iletim hattı ile sağlanmıştır. YEE'de uygulanan bu DTKIP sisteminin toprak altı ısı değiştiricisi paralel akış düzenine sahip olup ısıtma ve soğutma sezonundaki akış düzenleri Şekil 8.17'de görülmektedir.

Çizelge 8. 9 YYEE 2,3 ve 4 No'lu odaların ısı kazançları

		DIŞ ISI KAZANÇLARI [W]			İÇ ISI KAZANÇLARI [W]			TOPLAM [W]
		İletim	Güneş radyasyon	Havalandırma	İnsanlar	Aydınlatma	Cihazlar	
Güneş Odası	Duvar	46,31	395,5	490	260	48	116	
	Pencere	42,6						
	İç Kapı	19,305						
	Klimatize Edilmeyen Komşu Mahal Duvarı	85,385						
Σ		194,2	395,5	490	260	48	116	1503,7
		DIŞ ISI KAZANÇLARI [W]			İÇ ISI KAZANÇLARI [W]			TOPLAM [W]
		İletim	Güneş Radyasyon	Havalandırma	İnsanlar	Aydınlatma	Cihazlar	
Bilgi İşlem Merkezi	Duvar	45,87	56,5	490	260	48	232	
	Pencere	42,6						
	Kapı	3,15						
	Klimatize Edilmeyen Komşu Mahal Döşemesi	21,25						
	Çatı	98,53						
Σ		211,4	56,5	490	260	48	232	1297,9
		DIŞ ISI KAZANÇLARI [W]			İÇ ISI KAZANÇLARI [W]			TOPLAM [W]
		İletim	Güneş radyasyon	Havalandırma	İnsanlar	Aydınlatma	Cihazlar	
Test Odası	Duvar	45,64	56,5	490	260	48	116	
	Pencere	42,6						
	Kapı	3,15						
	Çatı	98,53						
	Σ							

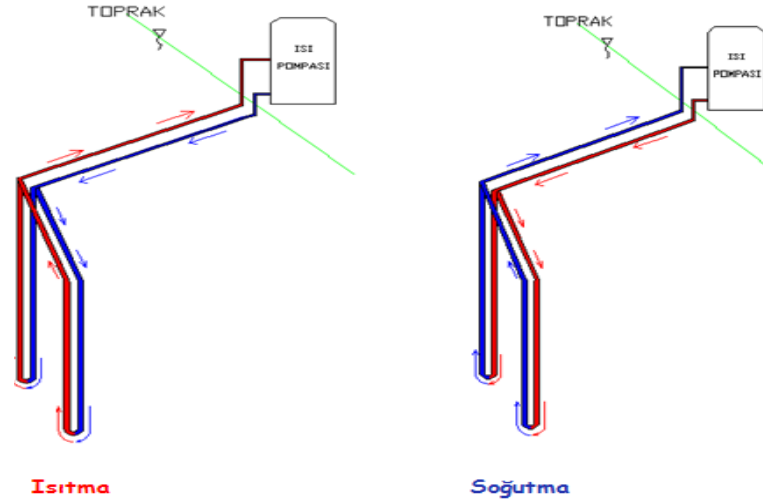
Toprak devresi borularının içerisinde ısı taşıyıcı akışkan olarak %30 oranında glikollü su kullanılmaktadır.



Şekil 8. 15 YYEE DTKIP Toprak devresinin sondaj ve yerleştirme çalışmaları [50]



Şekil 8. 16 YYEE DTKIP Toprak devresi sondaj lokasyonları



Şekil 8. 17 YYEE DTKIP Isıtma ve soğutma konumunda toprak ısı değiştiricisi

Duvarдан ısıtma ve soğutma sağlamak amacıyla YYEE'nin makine dairesi haricindeki 3 odasının duvarlarına döşenen borular kollektör ile akümülayon tankına bağlanmıştır. Akümülayon tankı aynı zamanda YYEE'nin hemen yanında bulunan İstanbul Kız

Liseliler Kız Öğrenci Yurdu'nun oturma odasının bir duvarında da uygulanan duvardan ısıtma/soğutma sisteminin besleyicisi durumundadır. Akümülyasyon tankı, ısı pompası cihazının iç ısı değiştiricisi ile bağlantılı olup duvardan ısıtma/soğutma sisteminin ısı deposudur ve dış yūzeıı izole edilmiştir. Őekil 8.18'de YYEE ısı pompası cihazı ve akümülyasyon tankı, Őekil 8.19'da ise akümülyasyon tankı ile duvar serpantinleri arasında olan boru ve kollektör bağlantıları görülmektedir.



Şekil 8. 18 YYEE ısı pompası cihazı ve akümülyasyon tankı



Şekil 8. 19 Akümülayon tankından duvar serpantinlerine gidiş ve dönüş bağlantısı

YYEE’de kullanılan Heliotherm marka ısı pompası cihazının katalog değerleri;

- Isıtma kapasitesi : 8,13 kW
- Soğutma kapasitesi : 6,43 kW
- Kompresör elektrik tüketimi : 1,7 kW
- COP_H : 4,78
- COP_C : 3,78

olarak belirtilmiştir. Isı pompası çevriminde kullanılan soğutucu akışkan R410A’dır.

Duvarlara YYEE’nin kurulduğu zamanlardaki mimari ve yapı elemanlarının durumuna göre projelendirilerek monte edilen serpantin halinde 14 mm PEX borular, daha sonra duvar içinde görünmeyecek şekilde sıvanmıştır. Duvar serpantinlerinin monte edilişi Şekil 8.20’de, serpantinlerin sıvandktan önceki ve sonraki görüntüsü ise Şekil 8.21’de görülmektedir.

Duvarlara YYEE’nin kurulduğu zamanlardaki mimari ve yapı elemanlarının durumuna göre projelendirilerek monte edilen serpantin halinde 14 mm PEX borular, daha sonra duvar içinde görünmeyecek şekilde sıvanmıştır. Duvar serpantinlerinin monte edilişi Şekil 8.20’de, serpantinlerin sıvandktan önceki ve sonraki görüntüsü ise Şekil 8.21’de görülmektedir.



Şekil 8. 20 YYEE Duvar serpantinlerinin monte edilişi [9]



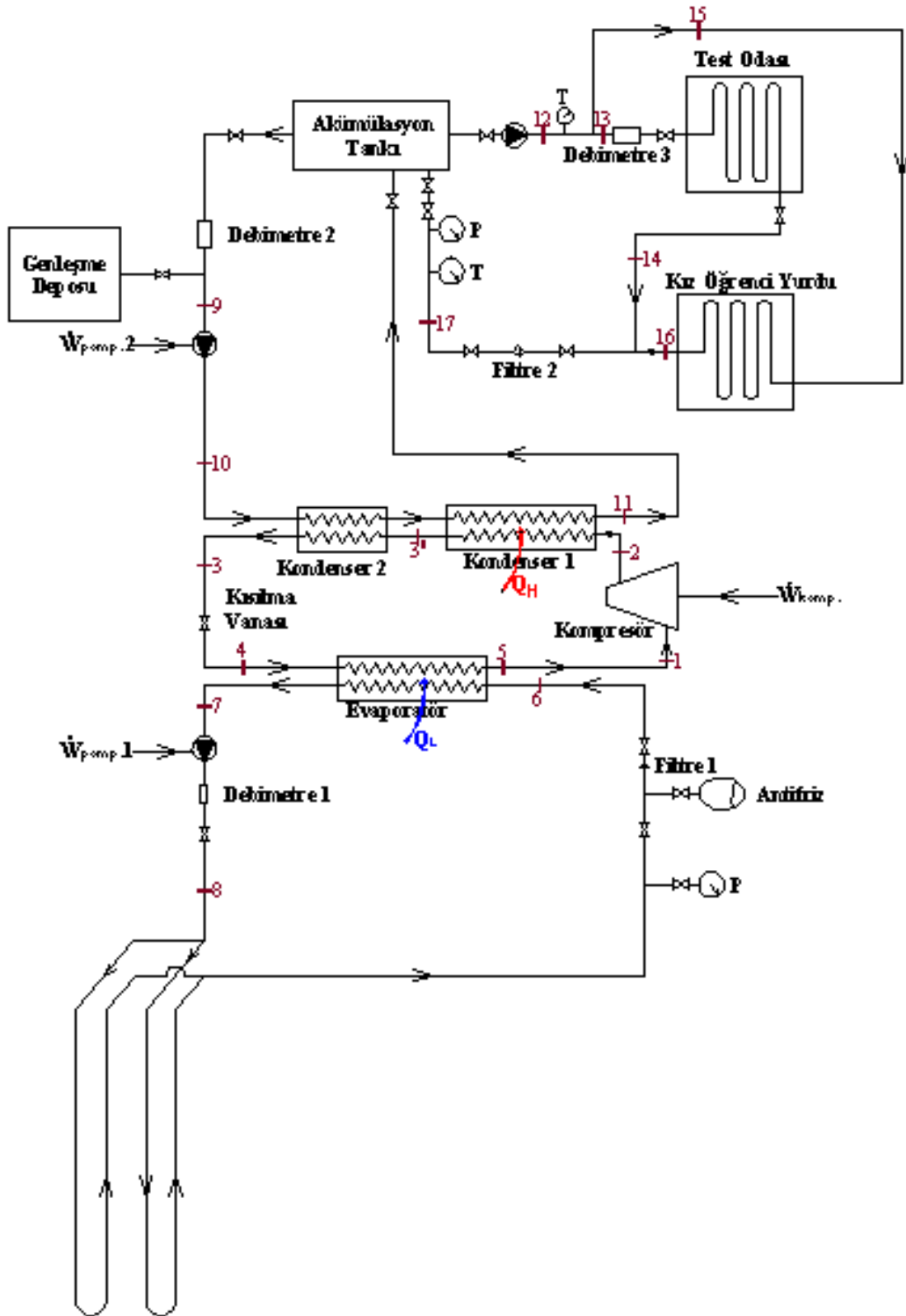
Önce

Sonra

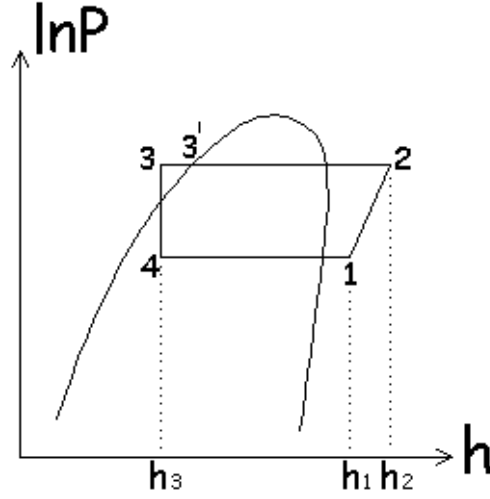
Şekil 8.21 YYEE Duvar serpantinlerinin üstü sıvanmadan önce ve sonraki görüntüsü [9]

Şekil 8.22’de YYEE DTKIP ile duvardan ısıtma/soğutma sisteminin tesisat şeması görülmektedir. Isı pompası cihazının çalıştığı farklı zamanlardaki veriler yine ısı pompası cihazına ait bilgisayar programında kaydedilmiş ve MySQL veri toplama programında saklanmıştır. Test odasına ve odanın duvarlarının farklı noktalarına problemler yerleştirilerek oda ve duvar sıcaklıkları ölçülmüş ve bunların da sürekli kaydı alınmıştır.

Bu çalışmada ısı pompası cihazının performansı incelenecek ve elde edilecek enerjinin duvardan ısıtma/soğutma sistemine olan yeterliliği tartışılacaktır.



Şekil 8. 22 YEE DTKIP ile duvardan ısıtma/soğutma sisteminin tesisat şeması



Şekil 8. 23 Isı pompası çevriminin lnP-h diyagramı

8.5.1 Isıtma Sezonunda YEE DTKIP ile Duvardan Isıtma Sisteminin Performansının İncelenmesi

Isıtma sezonunda sistem performansını hesaplamak için 12.03.2010 günü, saat 12.00.00 referans alınmıştır. Buna göre ısı pompasından alınan veriler Çizelge 8.10'da görülmektedir.

Çizelge 8. 10 12.03.2010 saat 12.00.00'da YEE ısı pompası verileri

Kompresörün çektiği elektrik gücü ($\dot{W}_{\text{Komp.}}$)	1,716 kW
Soğutucu akışkanın kompresör girişindeki sıcaklığı (T_1)	3,6°C
Soğutucu akışkanın kompresör çıkışındaki sıcaklığı (T_2)	56,7°C
Isı pompası çevriminin düşük basıncı ($P_1 = P_4$)	7,4 bar
Isı pompası çevriminin yüksek basıncı ($P_2 = P_3$)	20,5 bar
Aşırı soğutma sıcaklığı (T_3)	30,1°C

Soğutucu akışkan R410 A'nın çevrim boyunca geçtiği noktaların entalpi değerleri EK D'den alınmıştır. Kondenser çıkışında soğutucu akışkanın tamamen yoğuşmasını sağlamak ve duvardan ısıtma sisteminde dolaşan suya transfer olan ısı enerjisini arttırmak amacıyla uygulanan aşırı soğutma işlemi uygulanmıştır. Isı pompası çevriminde dolaşan soğutucu akışkan debisi sabittir.

$$\dot{m}_{R410A} = 0,035 \text{ kg/s (sbt.)}$$

$$h_1 = 424,05 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 450,12 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 248,26 \text{ kJ/kg}$$

Kondenserden transfer olan ısı enerjisi, eşitlik (7.16)'da verilmiştir. Bu durumda kondenserden transfer olan ısı enerjisi;

$$\dot{Q}_H = 0,035 \text{ kg/s (450,12– 248,26) kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_H = 7,06 \text{ kW} \quad \text{olarak bulundu.}$$

12.03.2010 günü, saat 12.00'de ısıtma konumundayken ısı pompasının COP değeri eşitlik (5.2) yardımıyla hesaplanmıştır. Sisteme giren toplam elektrik enerjisine ısı pompası cihazının elektronik ekranının çektiği 0,1 W'lık güç de eklenmiştir.

$$COP_H = \frac{7,06}{1,716 + 0,1}$$

$$COP_H = 3,88$$

12.03.2010 günü farklı saatlerde yapılan hesaplar sonucu elde edilen ısıtma konumundaki COP değeri şekil 8.24'te grafik halinde görülmektedir.

8.5.1.1 Isı Pompasından Elde Edilen Isı Enerjisinin Duvardan Isıtma Sisteminin İhtiyacını Karşılmasının Kontrolü

Test odasında yapılan ölçümler ve sistemden okunan bilgiler sonucunda alınan sıcaklık değerleri Çizelge 8.11'de görülmektedir. 12.03.2010 tarihinde duvarlara henüz problemler yerleştirilmediğinden yüzey sıcaklık ölçer kullanılarak ölçülen ortalama duvar yüzey sıcaklığı test odasının bütün serpantinli duvarları için geçerlidir. AUST sıcaklığının

ölçülmesi için gerekli olan globe termometre mevcut olmadığından AUST sıcaklığı, oda sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Akümülyasyon tankından duvar serpantinlerine giden suyun debisi sabittir. Bu su debisi YYEE'nin 3 odasına giden toplam debidir ve test odasına giden debi bu toplam debinin 1/3'üdür.

$$\dot{m}_{\text{TO Duvar Su}} = 0,052 \text{ kg/s}$$

Çizelge 8. 11 12.03.2010 saat 12.00.00'da YYEE test odası verileri

Test odası sıcaklığı	21,4°C
Test odası duvar sıcaklıkları	28,4°C
Akümlasyon tankından serpantinlere giren su sıcaklığı	32,7°C
Serpantinlerden çıkıp akümülyasyon tankına dönen su sıcaklığı	26,1°C

Duvar serpantinlerinden duvara ve oradan da test odasına transfer olan ısı enerjisi eşitlik (8.21) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{\text{TO DuvarSerp.}} = \dot{m}_{\text{TO Duvar Su}} \times C_{p\text{su}} \times (T_{\text{Su Giriş}} - T_{\text{Su Çıkış}}) \quad (8.21)$$

$$\dot{Q}_{\text{TO DuvarSerp.}} = 0,052 \text{ kg/s} \times 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (32,7 - 26,1) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{\text{TO DuvarSerp.}} = 1,43 \text{ kW}$$

Duvarlardan test odasına radyasyonla transfer olan ısı enerjisi eşitlik (4.3) yardımıyla bulundu.

$$q_{r\text{TO}} = 37,07 \text{ W/m}^2$$

Test odasında toplam 17,15 m² serpantinli duvar alanı mevcuttur. Bu durumda test odasında radyasyonla transfer olan toplam ısı enerjisi;

$$Q_{r\text{TO}} = 0,635 \text{ kW} \text{ olarak bulundu.}$$

Duvarlardan test odasına doğal konveksiyonla transfer olan ısı enerjisi eşitlik (4.6) yardımıyla bulundu. Toplamda 17,15 m² olan serpantinli duvar alanınının 16,5 m² olan kısmında panel yüksekliği 2 m, geri kalan 0,65 m² olan kısmındaki panel yüksekliği ise

0,5 m dir. Bu durumda farklı yükseklikteki panellerin doğal konveksiyonla gerçekleşen ısı transferleri de ayrı ayrı hesaplandı.

$$q_{c1_{TO}} = 23,56 \text{ W/m}^2$$

$$q_{c2_{TO}} = 25,26 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{c1_{TO}} = 388,86 \text{ W}$$

$$Q_{c2_{TO}} = 16,42 \text{ W}$$

Bu durumda test odasında doğal konveksiyonla transfer olan toplam ısı enerjisi;

$$Q_{c_{TO}} = 0,405 \text{ kW} \quad \text{olarak bulundu.}$$

Test odasında duvarlardan radyasyon ve konveksiyon ile transfer olan toplam ısı enerjisi;

$$Q_{r,c_{TO}} = 1,041 \text{ kW} \quad \text{olarak bulundu.}$$

Duvar serpantinlerinden duvara transfer olan ısı enerjisi $\dot{Q}_{TO_{\text{DuvarSerp.}}} = 1,43 \text{ kW}$ olarak bulunmuştur. Bu durumda ısı enerjisi duvardan odaya transfer olurken duvarlardan mahalın dışına iletimle gerçekleşen bir kayıp mevcuttur. Ancak çizelge 8.8'de görülen test odasının ısı kaybı olan 0,69 kW değerini karşılamaktadır. YYEE DTKIP ile duvardan ısıtma sisteminin 12.03.2010 günü saat 12.00'daki performansı, ısıtma ihtiyaçlarını karşılayacak düzeydedir. Sistemde nihai olarak elde edilen ısıtma enerjisi ile bunu karşılamak için sisteme verilen dış enerji karşılaştırıldığı zaman sistemin etkinliği eşitlik (8.22) ile verilir.

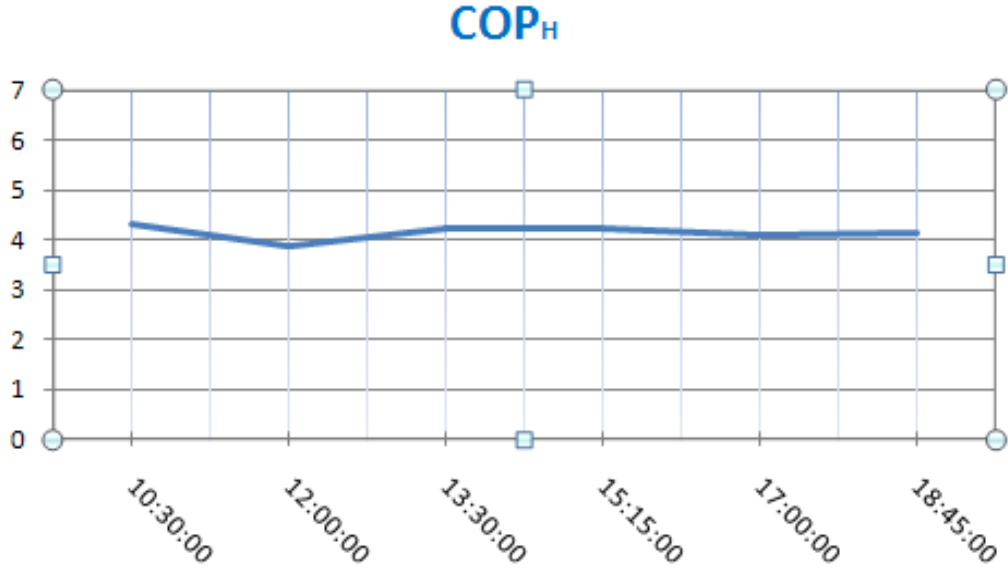
$$\epsilon_{\text{Sistem}} = \frac{\text{Amaç (Duvardan elde edilen toplam ısıtma)}}{\text{Araç (Dışardan verilen toplam güç)}} \quad (8.22)$$

Enerji evinin bilgi işlem merkezi ve güneş odasında da duvardan ısıtma uygulanmaktadır. Bilgi işlem merkezi, güneş odası ve test odası özdeş kabul edilebilir ve bu durumda test odasında elde edilen ısıtma enerjisi niceliği değeri diğer odalar için de kabul edilebilir. Gün boyunca kompresörün çalışma yüzdesi 0,31'dir. DTKIP ile duvardan ısıtma ve soğutma sisteminde toplam 3 adet 0,132 kW'lık pompa da bulunmaktadır.

$$\epsilon_{\text{Sistem}} = \frac{3 \times (1,041)}{[1,716 + 3(0,132) + 0,1]}$$

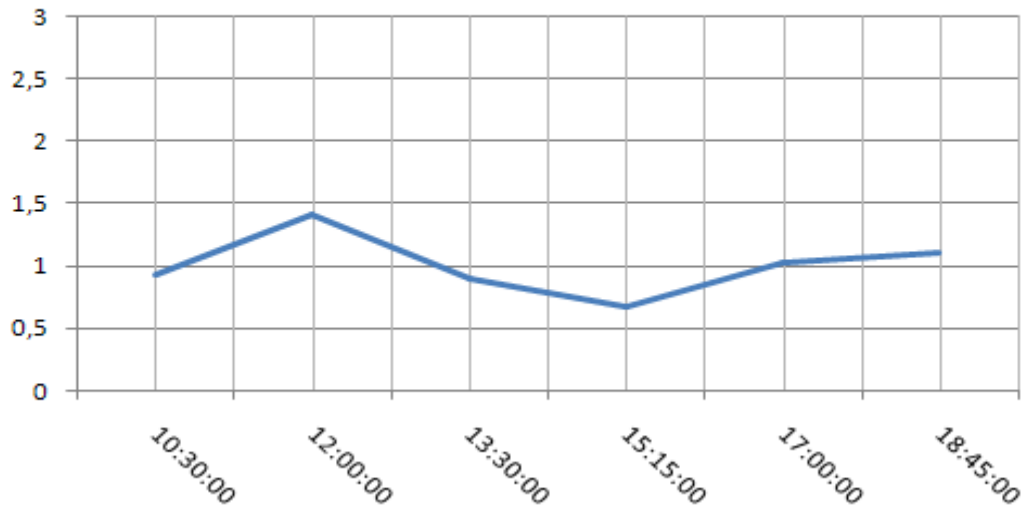
$\epsilon_{\text{Sistem}} = 1,41$ olarak bulundu.

12.03.2010 günü farklı saatlerde yapılan hesaplar sonucu elde edilen sistem performansı şekil 8.25'te grafik halinde görülmektedir.



Şekil 8. 24 12.03.2010 günü farklı saatlerde YYEE ısı pompası cihazının COP değeri

Isıtmada Sistem Etkinliği



Şekil 8. 25 12.03.2010 günü farklı saatlerde YYEE DTKIP ile duvardan ısıtma sisteminin etkinliği

8.5.2 Soğutma Sezonunda YEE DTKIP ile Duvardan Soğutma Sisteminin Performansının İncelenmesi

Soğutma sezonunda sistem performansını hesaplamak için 05.07.2010 günü, saat 11:40:00 referans alınmıştır. Buna göre ısı pompasından alınan veriler Çizelge 8.12’de görülmektedir. Isı pompası çevriminde dolaşan soğutucu akışkan R410 A’nın debisi sabittir ve akışkanın çevrim boyunca geçtiği noktaların entalpi değerleri EK D’den alınmıştır.

$$\dot{m}_{R410A} = 0,035 \text{ kg/s (sbt.)}$$

Çizelge 8. 12 05.07.2010 saat 11:40:00’da YEE ısı pompası verileri

Kompresörün çektiği elektrik gücü ($\dot{W}_{\text{Komp.}}$)	1,244 kW
Soğutucu akışkanın kompresör girişindeki sıcaklığı (T_1)	15,9°C
Soğutucu akışkanın kompresör çıkışındaki sıcaklığı (T_2)	36,6°C
Isı pompası çevriminin düşük basıncı ($P_1=P_4$)	10 bar
Isı pompası çevriminin yüksek basıncı ($P_2=P_3$)	15,8 bar
Aşırı soğutma sıcaklığı (T_3)	20,6°C

$$h_1 = 430,38 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 442,08 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 232,29 \text{ kJ/kg}$$

Duvar serpantinlerinden ısı pompasının evaporatörüne dönen sudan evaporatöre transfer olan ısı enerjisi;

$$\dot{Q}_L = 0,035 \text{ kg/s (430,38– 232,29) kJ/kg}$$

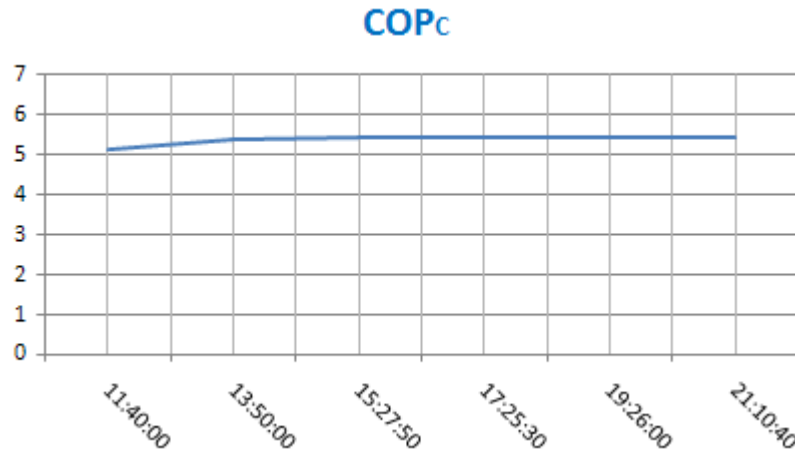
$$\dot{Q}_L = 6,93 \text{ kW} \text{ olarak bulundu.}$$

05.07.2010 günü, saat 11:40:00'da soğutma konumundayken ısı pompasının COP değeri eşitlik (5.4) yardımıyla hesaplandı. Sisteme giren toplam elektrik enerjisine ısı pompası cihazının elektronik ekranının çektiği 0,1 W'lık güç de eklenmiştir. Gün boyunca kompresörün çalışma yüzdesi 0,06'dır.

$$COP_C = \frac{6,93}{1,244 + 0,1}$$

$$COP_C = 5,15$$

05.07.2010 günü farklı saatlerde yapılan hesaplar sonucu elde edilen soğutma konumundaki COP değeri şekil 8.26'da grafik halinde görülmektedir.



Şekil 8. 26 05.07.2010 günü farklı saatlerde YYEE ısı pompası cihazının COP değeri

8.5.2.1 Isı Pompasına Transfer Olan Isı Enerjisinin Duvardan Soğutma Sisteminin İhtiyacını Karşılmasının Kontrolü

Test odasında yapılan ölçümler ve sistemden okunan bilgiler sonucunda alınan sıcaklık değerleri Çizelge 8.13'te görülmektedir. 05.07.2010 tarihinde duvarların çeşitli noktalarında bulunan prob'lar yardımıyla ölçülen duvar sıcaklıklarının herbir duvar için ortalamaları alınmıştır. Duvar sıcaklıkları Çizelge 8.14'e görülmektedir.. AUST sıcaklığının ölçülmesi için gerekli olan globe termometre mevcut olmadığından AUST sıcaklığı, oda sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Akümülyasyon tankından duvar serpantinlerine giden suyun debisi sabittir. Bu su debisi YYEE'nin 2 odasına giden toplam debidir ve test odasına giden debi bu toplam debinin 1/2'sidir.

$$\dot{m}_{TODuvarSu} = 0,0638 \text{ kg/s}$$

Çizelge 8. 13 05.07.2010 saat 11:40:00'da YYEE test odası verileri

Test odası sıcaklığı	25°C
Akümülyasyon tankından serpantinlere giren su sıcaklığı	17,9°C
Serpantinlerden çıkıp akümülyasyon tankına dönen su sıcaklığı	21°C

Eşitlik (8.23) yardımıyla test odasından duvarlara, duvarlardan duvar serpantinlerinin içindeki suya transfer olan ısı enerjisi hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{TO_{DuvarSerp.}} = \dot{m}_{TO_{DuvarSu}} \times C_{p_{Su}} \times (T_{Su_{Çıkış}} - T_{Su_{Giriş}}) \quad (8.23)$$

$$\dot{Q}_{TO_{DuvarSerp.}} = 0,0638 \text{ kg/s} \times 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (21 - 17,9) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{TO_{DuvarSerp.}} = 0,82 \text{ kW}$$

Çizelge 8. 14 05.07.2010 saat 11:40:00'da YYEE test odası duvar sıcaklıkları

	Sıcaklık [°C]	Serpantin Alanı[m ²]
GB Duvarı	20,5	6
KD Duvarı	20,7	2,15
KB Duvarı	20,9	4,5
GD Duvarı	20,7	4,5
AUST	25	

Test odasından duvarlara radyasyonla transfer olan ısı enerjisi eşitlik (4.3) yardımıyla bulundu. Test odasının 4 adet duvarının sıcaklıklarının farklı olması sebebiyle herbir duvar için birim alan başına hesaplanan radyasyonla ısı geçişi daha sonra kendi duvar alanı ile çarpılarak test odasından herbir duvara radyasyola geçen toplam ısı enerjisi bulundu.

$$q_{r1} = 23,06 \text{ W/m}^2$$

$$q_{r2} = 22,05 \text{ W/m}^2$$

$$q_{r3} = 21,03 \text{ W/m}^2$$

$$q_{r4} = 22,05 \text{ W/m}^2$$

$$Q_r = q_r \times \text{alan}$$

$$Q_{r1} = 138,39 \text{ W}$$

$$Q_{r2} = 47,4 \text{ W}$$

$$Q_{r3} = 94,65 \text{ W}$$

$$Q_{r4} = 99,22 \text{ W}$$

Radyasyonla transfer olan toplam ısı enerjisi;

$$Q_r = \sim 379,67 \text{ W} = 0,379 \text{ kW} \text{ olarak bulundu.}$$

Test odasından duvarlara radyasyonla transfer olan ısı enerjisi eşitlik (4.6) yardımıyla bulundu. Radyasyonla gerçekleşen ısı transferinde olduğu gibi test odasının farklı sıcaklık değerine sahip duvarında gerçekleşen doğal konveksiyonla ısı transferinde de herbir duvarın birim alanı için hesaplanan doğal konveksiyonla ısı geçişi, duvarın alanı ile çarpılarak test odasından duvara doğal konveksiyon yoluyla geçen toplam ısı enerjisi bulundu.

$$q_{c1} = 13,15 \text{ W/m}^2$$

$$q_{c2,1} = 12,38 \text{ W/m}^2$$

$$q_{c2,2} = 13,27 \text{ W/m}^2$$

$$q_{c3} = 11,63 \text{ W/m}^2$$

$$q_{c4} = 12,38 \text{ W/m}^2$$

$$Q_c = q_c \times \text{alan}$$

$$Q_{c1} = 78,91 \text{ W}$$

$$Q_{c2,1} = 18,58 \text{ W}$$

$$Q_{c2,2} = 8,62 \text{ W}$$

$$Q_{c3} = 52,34 \text{ W}$$

$$Q_{c4} = 55,74 \text{ W}$$

Doğal konveksiyonla transfer olan toplam ısı enerjisi;

$$Q_c = \sim 214,2 \text{ W} = 0,214 \text{ kW} \text{ olarak bulundu.}$$

Test odasından duvarlara radyasyon ve konveksiyonla transfer olan toplam ısı enerjisi ise;

$$Q_{r,c} = 0,379 + 0,214 = 0,593 \text{ kW} \text{ olarak bulundu.}$$

Bulunan bu değer daha önce test odası için hesaplanan 1,16 kW olan ısı kazancı değerini karşılamamaktadır. Ancak yapılan bu ısı kazancı hesabı standart varsayımlarla yapılmıştır. 05.07.2010 tarihinde test odasının ısı kazancı sadece iletimle ve güneş radyasyonu ile gerçekleşmektedir. Odada bilgisayar veya başka elektrikli cihaz yoktur, aydınlatma kullanılmamakta ve de odada hiçkimse bulunmamaktadır. Ayrıca duvarlarda iletimle meydana gelen ısı kazancını hesaplamak için kullanılan ΔT_{es} değeri $6,5^\circ\text{C}$ civarındadır. Ancak 05.07.2010 tarihinde dış sıcaklık ile iç ortam sıcaklığı arasındaki fark;

$$\Delta T = 28 - 24,9 = 3,1^\circ\text{C} \text{ 'dir. Bu durumda dikkate alınacak ısı kazancı değeri;}$$

$$Q_{iletim} = 52,52 \text{ W}$$

$$Q_{GüneşRadyasyon} = 56,5 \text{ W}$$

$$Q_{iletim} + Q_{GüneşRadyasyon} = 109,02 \text{ W} = \sim 0,11 \text{ kW} \text{ olarak bulunur.}$$

Bu durumda test odasının soğutma ihtiyacını karşılanmaktadır.

YYEE DTKIP ile duvardan soğutma sisteminin 05.07.2010 günü saat 11:40:00'daki performansı, soğutma ihtiyacının %92'sini karşılayacak düzeydedir. Sistemde nihai olarak elde edilen soğutma ile bunu karşılamak için sisteme verilen dış enerji karşılaştırıldığı zaman sistemin etkinliği eşitlik (8.24) ile verilir.

$$\epsilon_{Sistem} = \frac{\text{Amaç (Test odasından duvarlara transfer olan ısı enerjisi)}}{\text{Araç (Dışardan verilen toplam güç)}} \quad (8.24)$$

Enerji evinin bilgi işlem merkezinde de duvardan soğutma uygulanmaktadır. Bilgi işlem merkezi ve test odası özdeş kabul edilebilir ve bu durumda test odasında elde edilen soğutma niceliği değeri bilgiişlem merkezi için de kabul edilebilir. Ayrıca gün boyunca

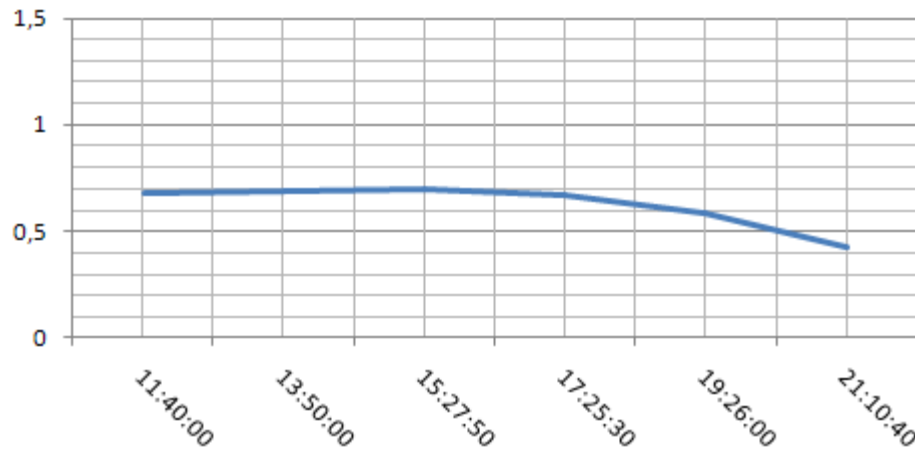
kompresörün çalışma yüzdesi 0,06'dır. DTKIP ile duvardan ısıtma ve soğutma sisteminde toplam 3 adet 0,132 kW'lık pompa da bulunmaktadır.

$$\epsilon_{\text{Sistem}} = \frac{2 \times (0,593)}{[1,244 + 3(0,132) + 0,1]}$$

$\epsilon_{\text{Sistem}} = 0,68$ olarak bulundu.

05.07.2010 günü farklı saatlerde yapılan hesaplar sonucu elde edilen sistem performansı şekil 8.27'de grafik halinde görülmektedir.

Soğutmada Sistem Etkinliği



Şekil 8. 27 05.07.2010 günü farklı saatlerde YYEE DTKIP ile duvardan soğutma sisteminin etkinliği

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'nde bulunan Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'ne ait dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası ile hidronik radyant duvardan ısıtma ve soğutma sisteminin performansı incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'nin TS 825 standardına uygunluğu incelenmiş, daha sonra ısı kayıp ve kazançları hesaplanmıştır. Sistemin çalışması sonucu elde edilen ve sisteme dışardan verilen enerjiler karşılaştırılarak sistemin konut ısıtma ve soğutmasında ne kadar verimli olabileceği değerlendirilmiştir.

Isı pompası cihazı ısıtma konumunda çalışırken 12.03.2010 tarihli veriler referans alınmıştır. Saat 12.00.00'da ısı pompası cihazından alınan verilere göre yapılan hesaplama sonucu ısı pompasının kondenserinden elde edilen ısı enerjisi 7,06 kW ve ısıtma performans katsayısı (COP_H) değeri 3,88 bulunmuştur. Aynı günün farklı saatlerinde yapılan hesaplamalar sonucunda COP_H değerinin 4 civarında olduğu saptanmıştır. Bu değer, sistemin ısınma sürecinde harcadığı enerjinin %25'inin elektrik enerjisi şeklinde sağlanarak faturalandırıldığı, kalan %75'inin ise toprak kaynağından bedava olarak sağlandığını ifade etmektedir.

Duvardan ısıtma enerji dağıtım sistemi olan duvar serpantinlerine giden ve ısıtılan mahalleri dolaştıktan sonra dönen suyun sıcaklığı ve debisi ölçülerek duvar panellerine transfer olan ısı enerjisi 1,43 kW olarak hesaplanmıştır. Test odasının ve test odasındaki duvarların sıcaklıkları ölçülerek duvarlardan odaya radyasyon ve doğal konveksiyon yoluyla transfer olan ısı enerjisi hesaplanmış ve bunların toplamı 1,041 kW olarak bulunmuştur. Bulunan 1,041 değerinin test odasının ısıtma ihtiyacını karşıladığı görülmüştür.

Sistemin nihai performansını hesaplamak için radyasyon ve doğal konveksiyon yolu ile odaya transfer olan 1,041 kW'lık ısı enerjisi, sistemin çalışması için gerekli olan ve dışardan sisteme verilen elektrik enerjisi ile karşılaştırılmış ve sistem etkinliği 1,41 olarak bulunmuştur. Günün farklı saatlerinde yapılan hesaplamalar sonucunda sistem etkinliğinin 1 civarında olduğu saptanmıştır.

Isı pompası cihazı soğutma konumunda çalışırken 05.07.2010 tarihli veriler referans alınmıştır. Saat 11.40.00'da ısı pompası cihazından alınan verilere göre yapılan hesaplama sonucu ısı pompasının evaporatöründen çekilen ısı enerjisi 6,93 kW ve soğutma performans katsayısı (COP_C) değeri 5,15 bulunmuştur. Aynı günün farklı saatlerinde yapılan hesaplamalar sonucunda COP_C değerinin 5,4 civarında olduğu saptanmıştır. Bu değer, sistemin soğutma sürecinde harcadığı enerjinin % 18,5'inin elektrik enerjisi şeklinde sağlanarak faturalandırıldığı, kalan %81,5'inin ise toprak kaynağından bedava olarak sağlandığını ifade etmektedir.

Duvar serpantinlerine giden ve dönen suyun sıcaklığı ve debisi ölçülerek test odasındaki duvar panellerinden aktarılan ısı enerjisi 0,82 kW olarak hesaplanmıştır. Test odasının ve test odasındaki duvarların sıcaklıkları ölçülerek odadan duvarlara radyasyon ve doğal konveksiyon yoluyla transfer olan ısı enerjisi hesaplanmış ve bunların toplamı 0,593 kW olarak bulunmuştur. Bulunan 0,593 kW değeri test odası için standart olarak hesaplanan ısı kazancı değerini karşılamamaktadır ancak test odasının ısı kazancı değeri yapılan bu standart hesaptan çok daha düşüktür. Test odasının gerçek ısı kazancı değeri hesaplandığında bulunan 0,593 kW'lık değer test odasının soğutma yükünü karşıladığı görülmüştür.

Soğutma konumundayken sistemin nihai performansını hesaplamak için radyasyon ve doğal konveksiyon yolu ile odadan duvarlara transfer olan 0,593 kW'lık ısı enerjisi, sistemin çalışması için gerekli olan ve dışardan sisteme verilen elektrik enerjisi ile karşılaştırılmış ve sistem etkinliği 0,68 olarak bulunmuştur. Günün farklı saatlerinde yapılan hesaplamalar sonucunda sistem etkinliğinin 0,6 civarında olduğu saptanmıştır.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının etkin olarak kullanımı, enerji kullanımının sürdürülebilirliğini temin ederken ekonomik ve ekolojik bakımdan da büyük avantajlar

sağlayacaktır. Bu bağlamda ülkemizde toprak kaynaklı ısı pompası destekli duvardan ısıtma ve soğutma sistemi kullanımının da hızla yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] The Geothermal Exchange Organization, Geothermal Heat Pumps, http://www.geoexchange.org/index.php?option=com_content&view=article&id=48:geothermal-heat-pumps&catid=375:geothermal-hvac&Itemid=32, 15 Ekim 2010.
- [2] Svec, O.J., (1987). "Potential of Ground Heat Source Systems", International Journal of Energy Research, 11(4):273-581.
- [3] Akbulut, A., Kurtbaş, İ. ve Gülçimen, F., (2006). "Toprak Kaynaklı Isı Pompası Destekli Bir Biyogaz Sisteminin Sera Isıtmasında Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi", Mühendis ve Makine Dergisi, 47(555):50-61.
- [4] Hepbaşlı, A. ve Ertöz, A.Ö., (1999). "Geleceğin Teknolojisi: Yer Kaynaklı Isı Pompaları", IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 4-7 Kasım 1999, İzmir.
- [5] Kıncay, O., Akbulut, U. ve Açıkgöz, Ö., (2008a). "Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Konvansiyonel Sistemlerle Ekonomik Olarak Karşılaştırılması", IV. Ege Enerji Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2008, İzmir.
- [6] Açıkgöz, Ö., (2007). Bir Birleşik Enerji Sisteminde Güneş Enerji Desteğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Bakırcı, K., Özyurt, Ö., Çomak, Ö. ve Yüksel, B., (2007). "Güneş-Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Deneysel İncelenmesi", Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı : 100:48-53.
- [8] Wikipedia The Free Encyclopedia, Radiant Heating, http://en.wikipedia.org/wiki/Radiant_heating, 20 Eylül 2010.
- [9] Kıncay, O., Akbulut, U., Yörü, Y., Açıkgöz, Ö. ve Başkal, A., (2010a). "Duvardan Isıtmalı Yapılarda Dış Cephe Kaplamasının Isıl Performansa Etkisi", Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı : 119:11-18.
- [10] Vangtook, P., ve Chirattananon, S., (2006). "An Experimental Investigation of Application of Radiant Cooling in Hot Humid Climate", Energy and Buildings, 38:273-285.

- [11] Karadağ, R. ve Teke, İ., (2004). “Tabandan Isıtmada Duvar Isıl Şartlarının Taban Nusselt Sayısına Etkisi”, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2004/3:84-93.
- [12] MMO Oda Raporu, (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, TMMOB-MMO Yayınları No : MMO/2008/479, Ankara.
- [13] Kartal, D., (2010). “Taner YILDIZ, TBMM Plan ve Bütçe Komisyonu’nda ETKB Bütçesi Sunuş Konuşması,16.11.2009”, TMMOB-MMO Enerji Verimliliği Kanunu ve Enerji Yöneticiliği Sistemi Semineri, 25 Ağustos 2010, İstanbul.
- [14] ASHRAE Handbook, (2004). Heating Ventilating and Air Conditioning Systems and Equipments, SI Edition, ASHRAE, Atlanta; Çeviren : Demircioğlu, N. ve Ersoy, H., (2007). ASHRAE El Kitabı, (2007). Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri ve Ekipmanları, TTMD Teknik Yayın No : 17, İstanbul.
- [15] Watson, R.D. ve Chapman, K.S., (2002). Radiant Heating and Cooling Handbook, McGraw-Hill, New York.
- [16] Wikipedia The Free Encyclopedia, Thermal Comfort, http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort, 20 Eylül 2010.
- [17] Isısan Çalışmaları, (2001). Klima Tesisatı, Isısan Yayınları No:305, İstanbul.
- [18] Wikipedi Özgür Ansiklopedi, Radyasyon, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Is%C5%9F%C4%B1n%C4%B1m>, 25 Eylül 2010.
- [19] Wikipedi Özgür Ansiklopedi, Isı Aktarımı, http://tr.wikipedia.org/wiki/Is%C4%B1_transferi, 25 Eylül 2010.
- [20] Kaizen Isıtma Sistemleri, Kaizen Duvardan Isıtma, <http://www.kaizenisitma.com/kaizensite/>, 1 Kasım 2010.
- [21] Konenerji Mühendislik, Duvardan/ Tavandan Isıtma ve Serinletme Sistemleri, http://www.yerdenisitma.com/duvardan_isitmasogutma.html, 02 Ocak 2010.
- [22] Kıncay, O., Akbulut, U., Yörü, Y. ve Açıkgöz, Ö., (2010b). “Isıl Konforda Yeni Bir Yöntem; Duvardan Isıtma ve Soğutma Sistemleri”, Enerji Teknolojileri ve Mekanik Tesisat Dergisi, Sayı : 174:90-96.
- [23] Özkol, N., (1988). Soğutma Tekniği, TMMOB-MMO Yayınları No:115, Ankara.
- [24] Hepbaşlı, A., (2008). “Isı Pompaları”, TTMD Isıtma Soğutma Havalandırma Klima Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, Sayı : 55:24.
- [25] Çengel, Y. ve Boles, M.A., (1994). Thermodynamics: An Engineering Approach, Second Edition, McGraw-Hill, New York; Çeviren : Derbentli, T., (1996). Çengel, Y. ve Boles, M.A., (1996). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [26] Öner, F., (2008). “Hava Kaynaklı Isı Pompaları ve Saha Testleri”, TTMD Isıtma Soğutma Havalandırma Klima Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, Sayı : 55:39-48.
- [27] Elibollar, S., Toprak-Su Kaynaklı Isı Pompaları, <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11266.pdf>, 15 Ekim 2010.

- [28] Erol, N., (1993). Soğutma ve İklimlendirmede Temel Yöntemler, YDOMD Yayınları, İstanbul.
- [29] Isısan Çalışmaları, (2008). Yenilenebilir Enerjiler ve Alternatif Sistemler, Isısan Yayınları No:375, İstanbul.
- [30] Wikipedi Özgür Ansiklopedi, Isı Pompası, http://tr.wikipedia.org/wiki/Is%C4%B1_pompas%C4%B1, 25 Eylül 2010.
- [31] Günerhan, H., (2008). "Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Toprak Isı Değiştiricisinin Tasarımı", TTMD Isıtma Soğutma Havalandırma Klima Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, Sayı : 53:27-35.
- [32] Yerlibucak, Ş.M., (2007). Isı Pompaları, Lisans Bitirme Tezi, DEÜ Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- [33] Kıncay, O., Utlu, Z., Ağustos, H., Akbulut, U. ve Açıkgöz, Ö., (2009). "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında Birleşme Eğilimi", Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 27(2):60-82.
- [34] Heat Pump Association, Types of Heat Pump Systems, <http://www.heatpumps.org.uk/TypesOfHeatPumpSystems.htm>, 10 Ekim 2010.
- [35] Omektron Mühendislik, Isı Pompası Tipleri, <http://www.omektron.com/heatpump.html>, 30 Ekim 2010.
- [36] Danfoss Heating, Danfoss Heat Pumps, http://www.heatpumps.danfoss.com/Content/5493D632-9953-42D3-B46C-9C40710A3138_MNU17434663_SIT403.html, 1 Kasım 2010.
- [37] Deltam Mühendislik, Su Kaynaklı Isı Pompası, <http://www.deltam.com.tr/sukaynakliisipompasi.asp>, 10 Kasım 2010.
- [38] Doty, S. ve Turner, W.C., (2009). Energy Management Handbook, The Fairmont Press, Inc., Lilburn.
- [39] Yoldaş, T. ve Durmaz, Ş., (2008). "Isı Pompası Sistemleri ve Toprak Kaynaklı Bir Isı Pompasının Bir Villaya Uygulanması", TTMD Isıtma Soğutma Havalandırma Klima Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, Sayı : 55:31-38.
- [40] Retscreen International Clean Energy Decision Support Centre, Ground Source Heat Pump Project Analysis, www.retscren.net/download.php/ang/479/0/Textbook_GSHP.pdf, 12 Kasım 2010.
- [41] Sanner, B., (2003). "Current Status of Ground Source Heat Pumps in Europe", 9th International Conference on Thermal Energy Storage", 1-4 September 2003, Warsaw.
- [42] Kalafat, E., (2006). "Yer Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinde Maliyet Azaltıcı Tasarım Stratejileri ve Teknikleri", TTMD Isıtma Soğutma Havalandırma Klima Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, Sayı : 41:30-35.
- [43] Viessmann Mesleki Yayınlar, Isı Pompaları, http://www.viessmann.com.tr/etc/medialib/internet-tr/prospekte.Par.67273.File.File.tmp/Mesleki_pompasi.pdf, 15 Ekim 2010.

- [44] Climate Master Geothermal Heat Pump Systems, How It Works, <http://residential.climatemaster.com/home>, 16 Ekim 2010.
- [45] TK Teknik, Kapalı Devre Sistemler, <http://www.tkteknik.com/yertip.html>, 22 Ekim 2010.
- [46] Kaçıkçoç, İ., (2008). Temiz Enerji Evinde Enerji Ekonomisi Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [47] KTH Royal Institute of Technology, The Application of Ground Source Heat Pump Systems in China, http://www.energy.kth.se/proj/courses/4A1610/Docs/2_Peter/Em_lei_memg_2.pdf, 25 Kasım 2010.
- [48] Kincay, O., Akbulut, U., Ağustos, H., Açıkgöz, Ö. ve Çetin, Ö., (2008b). “ Güneş Enerjisi ve Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Konvansiyonel Sistemlerle Ekonomik Olarak Karşılaştırılması”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı : 106:5-12.
- [49] Çelik, Ö., Dağ, C. ve Çorum, K., (2009). Yıldız Enerji Evi ve Kız Öğrenci Yurdu İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Sistemlerin Uygulanması, Lisans Bitirme Tezi, YTÜ Makine Fakültesi, İstanbul.
- [50] Yıldız Teknik Üniversitesi Prof.Dr. Olcay Kincay, Yıldız Enerji Evi, <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/yee.html>, 01 Ağustos 2010.
- [51] Genceli, O.F. ve Parmaksızoğlu,C., (2003). Kalorifer Tesisatı, TMMOB-MMO Yayınları No : MMO/2003/352, Ankara.

EK-A

TS 825/Nisan1998 BİNALARDA ISI YALITIM KURALLARI [51]

“TS 825/Nisan 1998 BİNALARDA ISI YALITIM KURALLARI”

ÖZET BİLGİ*

* Bu bölümde ilgili standart özellenerek, sadece proje yapımı için gerekli bilgiler verilmiştir. Özetlenirken diğer standartlarla ve bu konudaki teknik yayınlar ile uyum sağlaması bakımından, bu standartta bazı tanım ve sembol değişiklikleri yapılmıştır. Daha geniş bilgi için ilgili standarda ve Bölüm 3’de verilen “Isı Geçişinin Temelleri” kısmına başvurulmalıdır.

0 – KONU, TARİF, KAPSAM, AMAÇ, UYGULAMA ALANI

0.1 - Konu

Bu standart, binalarda ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını hesaplama kurallarına ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisi değerlerinin belirlenmesine dairdir.

0.2 – Tarifler, Semboller ve Birimler

0.2.1 - Tarifler

0.2.1.1 - Aylık Isıtma Enerjisi İhtiyacı ($Q_{1,ay}$) : Bir ay içinde verilmesi gereken ısı enerjisi miktarıdır. (J).

0.2.1.2 - Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı ($Q_{1,yıl}$) : Bir yıl içinde verilmesi gereken ısı enerjisi miktarıdır. (J)

0.2.1.3 - Binanın Özgül Isı Kaybı (H) : Binanın dış kabuğundan (yüzeylerinden) ve havalandırma yolu ile kaybedilen ısı enerjisi miktarıdır. (W/K).

0.2.1.4 - Aylık Ortalama Dış Sıcaklık ($T_{dış}$) : Dış sıcaklığın aylık ortalama değeridir. (°C).

0.2.1.5 - Aylık Ortalama İç Sıcaklık ($T_{iç}$) : İç sıcaklığın aylık ortalama değeridir. (°C).

0.2.1.6 - Binanın İç Isı Kazançları (ϕ_i) : Isıtılan ortam içinde bulunan ısı kaynaklarından, ısıtılan ortama yayılan ısı enerjisi miktarıdır. (W).

0.2.1.7 - Güneş Enerjisi Kazançları (ϕ_g) : Isıtılan ortama doğrudan ulaşan güneş enerjisi miktarıdır. (W).

0.2.1.8 - Isı Kazancı Kullanım Faktörü (η) : İç ısı kazançlarının ve güneş enerjisi kazancının toplamının ortamın ısıtılmasına olan katkı oranıdır. Birimsizdir.

0.2.1.9 - Bina Kullanım Alanı (A_n) : Binanın net kullanım alanıdır. (m^2).

0.2.1.10 - Binanın Brüt Hacmi ($V_{brüt}$) : Binayı çevreleyen dış kabuğun hacimidir. (m^3).

0.2.1.11 - Binanın Isı Kaybeden Yüzeylerinin Toplam Alanı (A_{top}) : Dış duvar, tavan, taban/döşeme, pencere, kapı vb. ısı kaybeden dış yapı bileşenlerinin yüzey alanlarının toplamıdır. (m^2).

0.2.1.12 - $A_{top}/V_{brüt}$ Oranı : Isı kaybeden toplam dış yüzeyin (A_{top}) ısıtılmış yapı hacmine ($V_{brüt}$) oranıdır. (m^{-1}).

0.2.2 – Semboller ve Birimler

Sembol	Açıklama	Birim
ρ	Yoğunluk	kg/m ³
β	Fanların çalıştığı zaman oranı	-
μ	Su buharı difüzyon direnci katsayısı	-
φ	Bağıl nem	-
η_{oy}	Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü	-
$\phi_{g,oy}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı	W
λ	Isı iletim katsayısı	W/m.K
ϕ_{av}	Aylık ortalama iç ısı kazancı	W
η_v	Havadan havaya ısı geri kazanım sisteminin verimi	-
$1/U$	Toplam ısı geçiş direnci	m ² .K/W
$1/\Lambda$	İletimle toplam ısı geçiş direnci	m ² .K/W
$1/\Delta$	Su buharı difüzyon direnci	m ² .h.Pa/kg
$1/\alpha_d$	Dış yüzey ısı taşınım direnci	m ² .K/W
$1/\alpha_i$	İç yüzey ısı taşınım direnci	m ² .K/W
A	Alan	m ²
A_D	Dış duvar alanı	m ²
A_d	Dış hava ile temas eden taban/döşemenin alanı	m ²

A_{dnc}	Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı	m^2
A_i	i yönündeki toplam pencere alanı	m^2
A_n	Bina kullanım alanı $A_n=0.32V_{brüt}$	m^2
A_p	Pencere alanı	m^2
A_T	Tavan alanı	m^2
A_f	Taban/döşeme alanı	m^2
A_{top}	Binanın ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanı	m^2
c	Özgül ısı	J/kgK
d	Yapı bileşeninin kalınlığı	m
e	Mekanik havalandırma hesabında kullanılacak katsayı	-
f	Binada dış ortama açık bir yüzey varsa 15, birden fazla yüzey varsa 20 alınır	-
g_{\perp}	Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü	-
$g_{i,ay}$	i yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü	-
H	Binanın özgül ısı kaybı	W/K
H_h	Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı	W/K
H_i	Binanın ısı kaybeden yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı	W/K
m''	Difüzyon kütleleşme akısı (standartta i sembolü ile gösterilip, difüzyon akış yoğunluğu olarak anılmakta)	kg/m^2h
$l_{i,ay}$	i yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti	W/m^2
KKO_{ay}	Kazanç / kayıp oranı	-
n_{50}	İç ve dış ortamlar arasında 50 Pa basınç farkı varken hava değişim sayısı	-
n_h	Hava değişim sayısı	-
p	Kısmi su buharı basıncı	Pa
p_d	Yapı bileşeninin dış tarafındaki havanın su buharı kısmi basıncı	Pa
p_i	Yapı bileşeninin iç tarafındaki havanın su buharı kısmi basıncı	Pa
p_s	T sıcaklığındaki, doymuş su buharı basıncı	Pa
q''	Isı akısı	W/m^2
Q_{ay}	Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı	J
Q_{yil}	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	J
$r_{i,ay}$	i yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü	-
S_d	Su buharı difüzyonu eş değer hava tabakası kalınlığı	m
t	Zaman, (saniye olarak bir ay 86400×30)	s
T_d	Aylık ortalama dış sıcaklık	$^{\circ}C$
T_o	Dış ortam sıcaklığı	$^{\circ}C$
T_i	Aylık ortalama iç sıcaklık	$^{\circ}C$
T_j	İç ortam sıcaklığı	$^{\circ}C$

T_s	Çiğ noktası sıcaklığı (standartta yoğuşma noktası olarak anılmakta)	$^{\circ}C$
t_T	Yoğuşma dönemi periyodu	h
T_V	Buharlaşma dönemi periyodu	h
$T_{dış}$	Dış yüzey sıcaklığı	$^{\circ}C$
$T_{iç}$	İç yüzey sıcaklığı	$^{\circ}C$
U	Yapı bileşeninin toplam ısı geçiş katsayısı	W/m^2K
U_d	Dış havaya açık tabanın toplam ısı geçiş katsayısı	W/m^2K
U_D	Dış duvarın toplam ısı geçiş katsayısı	W/m^2K
U_{dnc}	Düşük sıcaklıklardaki ortamları ayıran yapı elemanlarının toplam ısı geçiş katsayısı	W/m^2K
U_p	Pencerelerin toplam ısı geçiş katsayısı	W/m^2K
U_T	Tavanın (çatı) toplam ısı geçiş katsayısı	W/m^2K
U_f	Toprak temaslı tabanın/döşemenin toplam ısı geçiş katsayısı	W/m^2K
V_o	Fanların çalışmadığı durum için hacimsel hava değişim debisi	m^3/h
V_z	Rüzgar etkisi ile oluşan ilave hacimsel hava değişim debisi	m^3/h
$V_{brüt}$	Binanın brüt hacmi	m^3
V_F	Hava çıkış debisi	m^3/h
V_h	Havalandırılan hacim	m^3
V''	Hacimsel hava değişim debisi	m^3/h
V_g	Hava giriş debisi	m^3/h
W_T	Birim alanda yoğuşan suyun kütlesi	kg/m^2
W_V	Birim alandan buharlaşan suyun kütlesi	kg/m^2

0.3 – Kapsam

Bu standart, yeni inşa edilecek binaların ve mevcut binaların oturma alanının % 15'i oranında ve üzerinde yapılacak tadilatlarda, tadil edilen bölümünün ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplama kurallarını ve izin verilebilecek en yüksek ısı kaybı değerlerini ve hesaplama ile ilgili bilgilerin sunulmuş şeklini kapsar.

Bu kurallar pasif güneş enerjisi sistemlerini ihtiva eden binalarda kullanılamaz. Standartta tanımlanan hesap metodunun kullanılması sırasında gerekli olan bazı bilgiler, yoğuşma hesabı dahil ekler halinde standardın sonuna eklenmiştir.

Bu standartta açıklanan hesap metodu, kararlı durum için denge denklemlerini kullanmakla birlikte, dış ortam sıcaklık değişimleri ve güneş enerjisi kazançlarının yıllık değişimlerini dikkate almaktadır.

0.4 – Amaç

Bu standardın amacı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamayı, dolayısıyla enerji tasarrufunu arttırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve değerlerini belirlemektir.

0.5 – Uygulama Alanı

Bu standart aşağıda belirtilen binalarda uygulanır.

- Konut olarak kullanılacak binalar,
- Büro ve idari binalar, tiyatrolar, kongre ve konser salonları, kültür merkezleri,
- Eğitim yapıları, kütüphaneler, spor tesisleri, öğrenci yurtları,
- Hastaneler, huzur evleri, bakım evleri, doğum evleri ve kreşler, ceza evleri ve kışla binaları,
- Konaklama tesisleri,
- Alışveriş merkezleri, iş hanları, banka ve borsa binaları,
- Genel kullanım amaçları dolayısıyla iç sıcaklıkları asgari 15 °C olacak şekilde ısıtılan iş yerleri,
- Yukarıda belirtilen amaçların birçoğuna yönelik olarak veya bunlara benzer amaçlar için kullanılan binalar.

Not : Bu standartta yıllık ısı ihtiyacı hesabında kullanılacak olan; binaların iç sıcaklık değerleri konutlar için 19 °C alınacaktır (Diğer binalar için bk. TS 2164). Dış sıcaklık değerleri TS 825 EK 2, illerin bulunduğu derece gün bölgeleri ise TS 825 EK 4 de verilmiştir.

1 - GENEL AÇIKLAMALAR

Not : Bu standarttaki hesap metodunun belirlenmesi sırasında uluslararası standartlar ile uyum sağlanması amacıyla, ISO 9164 ve EN 832 standartlarındaki hesap kabulleri esas alınmış ancak bire bir tercüme yapılduktan kaçınılmış ve ülkemiz şartlarına adaptasyon gerçekleştirilmiştir.

1.1 – Binanın Isıtma Enerjisi İhtiyacını Etkileyen Faktörler

Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacını etkileyen faktörler aşağıda açıklanmıştır;

- *Bina özellikleri:* bina dış yüzlerden ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları (varsa ısı geri kazanımı) ve ısı kapasite,
- *Isıtma sisteminin karakteristikleri:* Özellikle kontrol sistemleri ve ısıtma sisteminin, ısıtma enerjisi ihtiyacındaki değişmelere cevap verme süresi,

- *İç iklim şartları:* Binayı kullananların istediği sıcaklık değeri, binanın farklı bölümlerinde ve günün farklı zamanlarında bu sıcaklık değerlerindeki değişmeler,

- *Dış iklim şartları:* Dış hava sıcaklığı, hakim rüzgarın yönü ve şiddeti,

- *İç ısı kazanç kaynakları:* Isıtma sistemi dışında, ısıtmaya katkısı olan iç ısı kaynakları, yemek pişirme, sıcak su elde etme, aydınlatma gibi amaçlarla kullanılan ve ortama ısı yayan çeşitli cihazlar ve insanlar,

- *Güneş enerjisi:* Pencere gibi saydam bina elemanlarından ısıtılan mekâna doğrudan ulaşan güneş enerjisi miktarı.

Bu standartta belirtilen hesap metodunda, dış kabuk ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları ile iç ısı kazançları ve güneş enerjisi kazançları dikkate alınmıştır.

Bu standartta, yapı elemanını oluşturan malzemelerin su buharı geçişine gösterdikleri dirence ve malzemelerin sırasına bağlı olarak su buharının gaz halinden sıvı hale geçmesi, yani yoğuşması ihtimali olduğundan malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerindeki kötüleşme TS 825 EK 6'da tanımlanan metotla tahkik edilmeli, eğer yoğuşma varsa TS 825 EK 6 Madde 9.2.5.2.1'de tanımlanan sınırların içerisinde kalmalıdır.

Hesap metodunda net iç ısı kazançları ve net güneş enerjisi kazançları dikkate alınmıştır. Bu sebeple kazançların toplamı, "Isı Kazancı Kullanım Faktörü" ile çarpılır.

1.2 – Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Sınır Değerleri

Bu standart, Madde 1.1'deki etkenlerin ihtiyacı bu standartta hesaba katılmasıyla binaların ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplandığı bir metot belirlemektedir. Bu metotla hesaplanan, binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı Ek 1-B'de verilen değerleri ($A_{top}/V_{brüt}$ oranına göre) aşmamalıdır.

Yeni binaların tasarımı aşamasında, bu standartta verilen hesap metodu kullanılarak, binanın enerji verilen sınırları aşmayacak şekilde hesaplanmalı ve malzeme seçimi, eleman boyutlandırılması ve detay çözümlerinin de belirtildiği bir ısı yalıtım projesi hazırlanmalıdır.

Belediye sınırları dışındaki alanlarda iki kata kadar olan ve ısıtılan toplam döşeme

alanı $100 m^2$ ' den küçük olan yeni binalar ile, bu alanlardaki mevcut binalara ısı yalıtımı uygulanmasının yapılması sırasında, yapı elemanlarının tavsiye edilen *U-değerleri* TS 825 EK 1-C' de ve "*Derece Gün*" bölgelerine göre ve binanın $A_{top}/V_{brüt}$ oranı göz önünde bulundurularak sınırlamalar getirilen *Yıllık Isıtma Enerjisi ihtiyacı* ($Q_{yıl}$) TS 825 EK 1-B'de verilmiştir. Bu binalarda yapı elemanlarının *U-değerlerinin* bu sınırların altında kalması ve pencere alanının, dış duvar alanının (A_D) %12' sine eşit veya daha küçük olması halinde, bu standartta açıklanan hesap metodunun kullanılmasına ve ısı yalıtım projesi hazırlanmasına gerek yoktur. Herhangi bir *U değeri* belirtilen sınırın üzerinde olması durumunda ise, bu standartta verilen hesap metodu kullanılarak TS 825 EK 1-B'deki $Q_{yıl}$ değerinin altında olduğunun ispatlanması gereklidir.

Belediye sınırları içindeki mevcut binalarda ısı yalıtımı uygulaması yapılması durumunda da bu standartta belirtilen hesap metodu kullanılarak binanın yalıtım projesi hazırlanmalıdır. Yalıtım projesinde, uygulanan yalıtımın sağlayacağı tahmini enerji tasarrufu hesaplanmalı, yalıtım uygulamasından önceki ve sonraki ısı ihtiyacı belirtilmelidir. Ayrıca, yalıtım uygulaması ile ilgili malzeme seçimi, eleman boyutlandırılması ve detay çözümleri de belirtilmelidir.

2 - HESAP METODU

2.1 - Genel

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

Tanımlanan hesap metodunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma dönemini kapsayan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunur. Böylece binanın ısı performansının gerçeğe daha yakın bir şekilde

değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, tasarımcıya, önerdiği tasarımın güneş enerjisinden faydalanma kapasitesini değerlendirme imkânı sağlayacaktır.

Hesap metodunda ısıtılan ortamın sınırları, bu ortamı dış ortamdaki ve eğer varsa ısıtılmayan ortamlardan ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencereden oluşur. Hesaplamalarda dıştan dışa ölçüler kullanılır. Eğer binanın tamamı aynı sıcaklığa kadar ısıtılıyorsa veya ortamlar arasındaki sıcaklık farkı $4 ^\circ C$ ' den küçük ise, binanın tamamı tek bölge olarak ele alınır ve ısıtma enerjisi ihtiyacı TS 825 Madde 2.2'de açıklanan metot uygulanarak hesaplanır. Aksi takdirde farklı ısıtma bölgelerinin sınırları belirlenmeli ve hesaplar TS 825 Madde 2.3'e göre yapılmalıdır.

2.2 – Tek Bölge İçin Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacının Hesabı

Binalarda tek bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (1)$$

$$Q_{ay} = [H(T_{i,ay} - T_{d,ay}) - \eta_{ay}(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})]t \quad (2)$$

Burada;

$Q_{yıl}$: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, (J)
 Q_{ay} : Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı, (J)
 H : Binanın özgül ısı kaybı, (W/K)
 $T_{i,ay}$: Aylık ortalama iç sıcaklık, ($^\circ C$)
 $T_{d,ay}$: Aylık ortalama dış sıcaklık, ($^\circ C$)
 η_{ay} : Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü, (Birimsiz)
 $\phi_{i,ay}$: Aylık ortalama iç kazançlar (sabit alınabilir), (W)
 $\phi_{g,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı, (W)
 t : Zaman, (saniye olarak bir ay = 86400×30), (s)
 anlamlarındadır.

Not : 2 no'lu formülde köşeli parantez içindeki ifadenin pozitif olduğu aylar için toplama yapılacaktır. Negatif olan aylar dikkate alınmaz.

Hesaplamalar aşağıda verilen işlem sırasına göre yapılmalıdır
 a - Isıtılan ortamın sınırları ve gerekli ise farklı sıcaklıktaki bölgelerin veya ısıtılmayan ortamların sınırları belirlenir.

b - Tek bölge bir binada, binanın özgül ısı kaybı (H) hesaplanmalıdır (Madde 2.2.1).

c - Aylık ortalama iç sıcaklıklar ($T_{i,ay}$) konutlar için 19 °C alınmalıdır (Diğer binalar için bk. TS 2164).

d - Aylık ortalama dış sıcaklıklar ($T_{d,ay}$) TS 825 EK 2'den alınmalıdır.

e - Aylık dış kabuktan ve havalandırma ile ısı kaybı " $[H(T_{i,ay}-T_{d,ay})]$ " formülü kullanılarak hesaplanmalıdır.

f - Aylık ortalama iç kazançlar ($\phi_{i,ay}$) hesaplanmalıdır (Madde 2.2.2).

g - Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\phi_{g,ay}$) hesaplanmalıdır (Madde 2.2.3). Hesap sırasında kullanılacak ($T_{i,ay}$) değerleri TS 825 EK 3'den alınmalıdır.

h - Aylık ortalama dış sıcaklık değerleri kullanılarak aylık kazanç/kayıp oranı (KKO) ve ısı kazancı yararlanma faktörü (η_{ay}) hesaplanmalıdır (Madde 2.2.4).

i - Aylık ortalama değerler kullanılarak, " $[\eta_{ay} (\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})]$ " formülü ile faydalı kazançlar " W " cinsinden hesaplanmalıdır.

j - Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı formül (2)'ye göre hesaplanmalıdır.

k - Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı formül (1)'e göre hesaplanmalıdır.

Isıtılan binanın bölümlerinde farklı sıcaklıklar isteniyorsa, hesap Madde 2.3'de verilen metotlardan birine göre yapılmalıdır.

2.2.1 - Binanın Özgül Isı Kaybının Hesabı

Binanın özgül ısı kaybı (H), binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı (H_i) ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının (H_h) toplanması ile bulunur.

$$H = H_i + H_h \quad (3)$$

2.2.1.1 - Yapı Kabuğundan Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı :

Yapı kabuğundan gerçekleşen ısı kaybı (4) no'lu formülle hesaplanır. Bu formülle yapı elemanlarının bünyesinden oluşan ısı kaybına, varsa ısı köprülerinden iletilen ısı kaybı eklenir. Isı köprüsü, bitişik yüzeye göre kompozisyonu değişik, ısı kaybı binanın ortalama ısı kaybından daha yüksek ve kısmen iç yüzey sıcaklığının daha düşük olduğu bölümdür. Cepheye dik bölme duvarların, kolon, giriş ve döşemelerin mümkünse mutlaka

yalıtılmaları gereklidir. Ancak balkon vb. ısı köprüsü oluşturan ve yalıtımı çok zor olan bölgeler için ise ısı kaybı hesabı yapılarak binanın dış yüzeylerinden olan ısı kaybına ilâve edilmesi gereklidir.

$$H_i = \sum AU + I U_l \quad (4)$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_A A_A + U_d A_d + 0.5 U_{dsvc} A_{dsvc} \quad (5)$$

Burada;

U_D : Dış duvarın toplam ısı geçiş katsayısı, (W/m^2K)

U_P : Pencerenin toplam ısı geçiş katsayısı, (W/m^2K)

U_T : Tavanın toplam ısı geçiş katsayısı, (W/m^2K)

U_l : Toprak temaslı tabanın /döşemenin toplam ısı geçiş katsayısı, (W/m^2K)

U_d : Dış havaya açık tabanın toplam ısı geçiş katsayısı, (W/m^2K)

U_{dsvc} : Düşük sıcaklıklardaki ortamları ayıran yapı elemanlarının toplam ısı geçiş katsayısı, (W/m^2K)

A_D : Dış duvarın alanı, (m^2)

A_P : Pencerenin alanı, (m^2)

A_T : Tavan alanı, (m^2)

A_l : Toprak temaslı taban/döşeme alanı, (m^2)

A_d : Dış ortama açık tabanın/döşemenin alanı, (m^2)

A_{dsvc} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamları ayıran yapı elemanlarının alanı, (m^2)

UYARI : Çatı döşemesi doğrudan dış hava ile temas ediyorsa (teras) formülde yer alan U_T 'nin önündeki 0,8 katsayısı 1 olarak alınır.

U değerinin hesaplanması (TS 8442), TS 825 EK 6 - Formül 4 'de belirtilen hesap metodu ile yapılır. Hesap yapılırken kullanılması gereken ve malzemelerin ısı iletim katsayılarını gösteren λ_h değerleri TS 825 EK 5'da millî veya milletlerarası standartları olan malzemeler için verilmiştir. TS 825 EK 5'de verilen λ_h değerleri doğrudan kullanılabilir. Ancak tam karşılığı bulunmayan λ_h değerleri (Örneğin TS 825 EK 5, Madde 10.2'deki ısı yalıtım malzemeleri) ilgili ürün standardında belirtilen deney metotlarına göre belirlenen λ ölçüm değerleri TS 415 e göre λ_h değerlerine dönüştürülerek kullanılır.

TS belgeli malzemelerin λ_h değerleri, ilgili ürün standardında belirtilen deneylerle tespit edilmelidir.

(4) no'lu formülde 1, ısı köprüsü uzunluğunu (m cinsinden) U_l ısı köprüsünün doğrusal geçirgenliğini (W/mK cinsinden) göstermektedir.

Isı köprüsü olması durumunda ilgili büyüklükler TS 8441'de verilen metot ile hesaplanmalıdır.

2.2.1.2 - Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (6) no'lu formül ile hesaplanır.

$$H_h = \rho \cdot c \cdot V' = \rho \cdot c \cdot n_h \cdot V_h = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h \quad (6)$$

Burada;

- ρ : Havanın yoğunluğu, (kg/m^3)
- c : Havanın özgül ısı, (J/kgK)
- V' : Hacimsel hava değişim debisi, (m^3/h)
- n_h : Hava değişim sayısı, (h^{-1})
- V_h : Havalandırılan hacim, ($V_h = 0,8V_{brüt}$), (m^3)

anlamlarındadır.

" ρ " ve " c " sıcaklık ve basınca bağlı olarak az da olsa değişir, fakat aşağıdaki eşitlikte bu durum ihmal edilmiştir. Alınan değerler $20^\circ C$ ve $100 kPa$ içindir. Giren ve çıkan hava arasındaki entalpi artışı ihmal edilmiştir. $0,33$ katsayısının hesabında kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$(\rho \cdot c / 3600) = (1,184 \cdot 1006 / 3600) =$$

$$0,33 \text{ Jh/m}^3\text{Ks} = 0,33 \text{ Wh/m}^3\text{K}$$

Doğal havalandırma yapılan binalarda ölçüm sonucuna dayanan bir belge veya değer yoksa, hava kaçakları ve kontrollü doğal havalandırmayı kapsayacak şekilde " n_h " değeri olarak, millî veya milletlerarası yetkili kuruluşlardan verilmiş uygunluk belgesine sahip firmaların pencere sistemlerinin kullanılması halinde $n_h = 1,0 h^{-1}$ değeri, diğer pencere sistemleri için $n_h = 2,0 h^{-1}$ değeri kullanılır.

Binada mekanik havalandırma uygulanıyorsa, hacimsel hava değişim debisi aşağıdaki formüllerden faydalanılarak hesaplanır ve 6 nolu formülde yerine konularak havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesaplanır.

Mekanik havalandırma bulunması durumunda, toplam hacimsel hava değişim debisi, sistem vantilatörleri çalışırken vantilatörlerdeki ortalama hacimsel hava değişim debisi ile, rüzgâr etkisi ile oluşan ilâve hacimsel hava değişim debisinin toplamına eşittir:

$$V' = V_f + V_x$$

Burada;

V' : Toplam hacimsel hava değişim debisi, (m^3/h)

V_f : Sistem fanları çalışırken fanlardaki ortalama hacimsel hava değişim debisi, (m^3/h)

V_x : Rüzgâr etkisi ile oluşan ilâve hacimsel hava değişim debisi, (m^3/h)

anlamlarındadır.

Sistem sürekli ve kararlı halde çalışıyorsa, hacimsel hava değişim debisi (V_f), hava giriş debisi (V_s) ile çıkış debisinden (V_E) büyük olana eşit alınır. " V_x " in yaklaşık olarak hesaplanması için aşağıdaki formülden yararlanılır:

$$V = \frac{V_h \cdot n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \left[\frac{V_s - V_E}{V_h \cdot n_{50}} \right]^2}$$

Burada ;

V_h : Havalandırılan hacim, (m^3)

n_{50} : İç ve dış ortamlar arasında $50 Pa$ basınç farkı varken hava değişim sayısı

f : Binada dış ortama açık bir yüzey varsa 15 , birden fazla yüzey varsa 20 alınır

e : Çizelge 1'den alınacak katsayı

V_s : Hava giriş debisi, (m^3/h)

V_E : Hava çıkış debisi, (m^3/h)

anlamlarındadır.

TS 825 ÇİZELGE 1 - Bina Sınıfı ve "e" Değerleri.

Bina sınıfı	"e" değeri	
	Birden fazla dışa açık yüzey	Dışa açık bir yüzey
Açık alandaki binalar veya şehir içindeki 10 kattan daha yüksek binalar	0,10	0,03
Kırsal alandaki binalar	0,07	0,02
Şehir merkezlerindeki 10 kattan daha az katlı binalar	0,04	0,01

Binadaki havalandırma sistemi zaman zaman kapatılıyorsa, hacimsel hava değişim debisi için aşağıdaki formül kullanılır :

$$V' = V_0 (1 - \beta) + (V_f + V_x) \cdot \beta$$

Burada;

V_0 : Fanların çalışmadığı durum için hacimsel hava değişim debisi

β : Fanların çalıştığı zaman oranı

anlamlarındadır.

Mekanik sistem farklı " V_f " ler için tasarlanmışsa, " V_f " olarak ortalama değer kullanılır.

Mekanik havalandırma sistemi dışarı atılan havadaki ısı enerjisi ortama gönderilen havanın ön ısıtmasını sağlamak amacıyla kullanılacak bir ısı değiştiricisine (eşanjörüne) ve geri kazanım sistemine sahip ise, mekanik havalandırma ile meydana gelecek ısı kayıplarının hesaplanmasında bir azaltma faktörünün kullanılması gerekir. Bu amaçla hacimsel hava değişim debisinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılır.

$$V' = V_f (1 - \eta_v) + V_x$$

Burada, η_v havadan havaya ısı geri kazanım sisteminin verimidir.

Yukarıdaki formül, ısı geri kazanım sistemi dışarı atılan havadan alınan ısı enerjisini, sıcak su sistemine veya ısı pompası gibi bir başka sistem aracılığıyla ısıtma sistemine iletiyorsa kullanılmaz. Bu durumlarda azaltma, ilgili sistemin enerji tüketiminin hesaplanması sırasında dikkate alınmalıdır.

2.2.2 - Aylık Ortalama İç Kazançlar ($\phi_{i,ay}$)

İç kazançlar aşağıda verilenleri kapsar.

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

Ortalama değerler ile çalışılması halinde, aydınlatma dışındaki ortalama değerler yıl boyunca hemen hemen sabittir. Bu standartta aydınlatmadan kaynaklanan kazançlar da sabit kabul edilmiştir ve her bir kaynak için alınacak değerler aşağıda verilmiştir.

Konutlarda, okullarda ve normal donanımlı (büro binaları vb.) binalarda iç kazançlar olarak birim döşeme alanı başına en fazla 5 W/m^2 alınırken; yemek fabrikaları gibi pişirme işleminin ağırlıklı olduğu binalarda, normalin üstünde elektrikli cihaz çalıştırılan

binalarda (aydınlatmanın sadece elektrikle sağlandığı binalar vb.) veya etrafa ısı veren sanayi cihazların kullanıldığı binalarda, iç kazançlar için birim döşeme alanı başına en fazla 10 W/m^2 değeri alınır.

Konutlarda..... $\phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n \text{ (W)}$

Ticari binalarda..... $\phi_{i,ay} \leq 10 \times A_n \text{ (W)}$.

2.2.3 - Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazançları ($\phi_{g,ay}$)

Bu madde pencerelerden sağlanan doğrudan güneş ışınımının hesaplanmasını tarif etmektedir. Pasif güneş enerjisi sistemlerinden sağlanacak kazançlar ihmal edilmiştir.

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı ($\phi_{g,ay}$) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (7)$$

Burada;

$r_{i,ay}$: "i" yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü

$g_{i,ay}$: "i" yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü

$I_{i,ay}$: "i" yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti (W/m^2)

A_i : "i" yönündeki toplam pencere alanı, (m^2)

anlamlandırılır. $I_{i,ay}$ değerleri TS 825 Ek 3'den alınır.

Hesaplanmış değerler yoksa, $r_{i,ay}$ 'ın ısıtma periyodu boyunca sabit kaldığı kabul edilir ve binanın bulunduğu veya inşa edileceği yerleşim bölgesinin özelliğine göre aşağıdaki değerlerden biri seçilir.

Ayrık (müstakil) ve az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yerleşim bölgeleri için : $r_{i,ay} = 0,8$

Ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmeye maruz kalınıyorsa : $r_{i,ay} = 0,6$

Bitişik nizam ve/veya çok katlı binaların bulunduğu yerleşim bölgeleri için : $r_{i,ay} = 0,5$

olarak alınır.

$$g_{i,ay} = 0,80 g_{\perp}$$

Burada, g_{\perp} laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörüdür. Ölçü değerlerinin olmaması durumunda " g_{\perp} için aşağıdaki değerler kullanılabılır.

Tek cam için : $g_{\perp} = 0,85$

Çok katlı cam (berrak) için : $g_{\perp} = 0,75$

Isıl geçirgenlik değeri $\leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan ısı yalıtım üniteleri için : $g_{\perp} = 0,50$.

2.2.4 - Kazanç Kullanım Faktörü (η)

İç kazançlar ve güneş enerjisi kazançlarının toplamının, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması açısından faydalı enerji olarak kabul edilmesi her zaman uygun olmaz. Çünkü ısı kazançlarının yüksek olduğu sürelerde, kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir. İç ortam sıcaklık kontrol sistemi mükemmel değildir ve yapı elemanlarının bünyesinde bir miktar ısı depolanır. Bu nedenle iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir yararlanma faktörü ile azaltılır; bu faktörün büyüklüğü, kazançların ve kayıpların bağlı büyüklüğüne ve binanın ısı kütlesine bağlıdır.

Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü, aşağıda verildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{-1 \cdot KKO_{ay}} \quad (8)$$

Burada, KKO_{ay} Kazanç / Kayıp Oranı olup, aşağıda verildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay}) / H(T_{i,ay} - T_{d,ay}) \quad (9)$$

Burada;

- $T_{i,ay}$: Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı
[Konutlar için 19°C alınır. (Diğer binalar için bk. TS 2164)]
- $T_{d,ay}$: Aylık ortalama dış hava sıcaklığı [TS 825 Ek 2'den alınır ($^{\circ}\text{C}$)]
- $\phi_{i,ay}$: Aylık iç kazançlar [Madde 2.2.2'ye göre hesaplanır (W)]
- $\phi_{g,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı [Madde 2.2.3'e göre hesaplanır (W)]

anlamlandırılır.

KKO_{ay} oranı 2,5 ve üzerinde olursa o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir.

2.3 - Birden Fazla Bölge İçin Isıtma Enerjisi İhtiyacının Hesabı

Madde 2.1'de belirtildiği gibi, binadaki birimler içerisinde sıcaklık farkı 4°C 'den büyük ortamlar mevcut ise, farklı ısıtma

bölgelerinin sınırları belirlenmeli ve hesaplar aşağıda verilenlerden birine göre yapılmalıdır.

- İç sıcaklık T_b binadaki ortalama sıcaklık olarak alınmalı ve tek bölge hesap metodu uygulanmalıdır.

- Tek bölge hesap metodu, farklı sıcaklıktaki her bölge için ayrı ayrı uygulanmalı ve her bölgedeki ısıtma enerjisi ihtiyacı toplanmalıdır.

- Ortalama sıcaklık hesabında tavan yüksekliği 3 m ve altında ise döşeme alanı ağırlıklı, 3 m 'den yukarı ise hacim ağırlıklı ortalama değer kullanılmalıdır.

3 - HESAP RAPORU

3.1 - Birimler

Bu standarda göre yapılacak hesaplarda ve raporun hazırlanmasında SI birimleri kullanılır. Buna göre sıcaklık K veya $^{\circ}\text{C}$ olarak, enerji $Joule$ olarak ve güç $Watt$ olarak belirtilmelidir. Toplam ısı geçiş katsayısı değeri olan U ise W/m^2K birimi ile gösterilmelidir.

3.2 - Hesap Raporu

Bu standardın amacı, Madde 0.4'de belirtildiği gibi, binaların enerji verimliliklerinin artırılması amacıyla uzun ömürlü ve sağladığı enerji tasarrufu kalıcı olacak şekilde, binalarda ısı yalıtımının sağlanmasıdır. Bu amaçla sektörde mevcut yalıtım malzemelerinin ve tekniklerinin karşılaştırılarak o proje için en uygununun seçilebileceği bir hesap metodu önerilmiştir ve sonuç olarak bir ısı yalıtım projesi hazırlanması gerekmektedir. Bu projede, standartta belirtilen hesap metoduyla binanın enerji ihtiyacının bu standartta verilen sınır değerlerin altında kalmasını sağlayacak şekilde malzeme seçimi, eleman boyutlandırılması ve detay çözümlerinin belirtilmesi gerekmektedir. Isıtılacak yapı hacmi ($V_{brüt}$) ile ve binanın kullanım alanı (A_n) ile ilişkili olarak azami yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı değerleri ($A_{top}/V_{brüt}$) oranlarına bağlı olarak TS 825 EK 1-B'de verilmiştir.

Binanın kullanım alanıyla ilişkili olarak verilen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Q) sadece, temiz ölçüler verildiğinde oda yükseklikleri $2,60 \text{ m}$ veya daha az olan binalarda kullanılabilir. Oda yüksekliklerinin $2,60 \text{ m}$ 'nin üzerinde olması

durumunda ise ısıtılacak yapı hacmiyle ilişkili olarak verilen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Q) göz önüne alınarak hesaplama yapılacaktır. Isı yalıtımı projesinde aşağıdaki verilen bilgiler bulunmalıdır;

- İç ortam sıcaklıklarında $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den daha büyük fark olan bölgeler varsa bu bölgelerin sınırları,
- Farklı ısıtma bölgeleri varsa, her bölge için dış duvar, çatı, zemin ve pencerelerde kullanılan malzemeler, bu malzemelerin eleman içindeki sıralanışı ve kalınlıkları, duvar, pencere, tavan ve taban/döşeme elemanlarının alanları ve " U " değerleri. Isı köprüleri varsa ısı köprülerinin " I " ve " U_I " değerleri,
- Pencere sisteminde kullanılan cam ve çerçevenin tipi (çok katlı cam, düşük yayımlı ısı yalıtım üniteleri veya firmasının serisi gibi), çerçeve sisteminin sızdırmazlık değerleri,
- Duvar-pencere, duvar-tavan, taban/döşeme duvar birleşim yerlerinin detayları,
- Havalandırma tipi,
- Farklı ısıtma bölgeleri varsa, her bölge için ısı kayıpları, ısı kazançları, KKO kullanım faktörü ve ısıtma enerjisi ihtiyacının çizelge halinde aylık ve ısıtma periyodu için büyüklükleri.

Hesapta İzlenen Yol

İki katlı bir konutun yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı geniş olarak "Projelendirme Örnekleri" bölümünde verilmiştir. Burada hesapta izlenmesi gereken yol açıklanacaktır.

1) Öncelikle binadaki dış duvar, pencere, tavan, taban/döşeme, dış ortamla temas eden döşeme alanı vb. alanlar hesaplanır.

2) Daha sonra yapı elemanlarının ayrı ayrı U değerleri hesaplanır. Yapı elemanlarında yoğunlaşma ve ısı köprüsü meydana gelmeyecek şekilde, elemanlarının U değerleri TS 825 EK 6 Madde 4'de belirtilen klasik hesap metoduna göre yapılır.

3) Binadan havalandırma ile olan kayıplar bulunur.

4) Formül (5)'den binanın özgül ısı kaybı (H) bulunur.

5) Madde 2.2.2'den binanın iç ısı kazançları hesaplanır.

6) Madde 2.2.3'den binanın güneş enerjisi kazançları hesaplanır.

7) Binanın her yöndeki toplam pencere alanları bulunur. Her ay için TS 825 EK 3'de verilen, $I_{i,ay}$ ortalama aylık güneş ışınımı şiddet değerleri kullanılarak, Formül. (7)'den $\phi_{z,ay}$ aylık ortalama güneş enerjisi kazançları hesaplanır.

8) Formül (9) ile KKO_{ay} kazanç/kayıp oranı hesaplandıktan sonra, Formül. (8)'den η_{ay} aylık ortalama kazanç kullanım faktörü bulunur.

9) Bulunan değerler, Formül (2)'de yerine konularak her ay için Q_{ay} aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı bulunur.

10) Son olarak Formül (1) yardımıyla göz önüne alınan binanın $Q_{yıl}$ yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı bulunur.

Bu hesaplamalar, TS 825 Çizelge 2 ve TS 825 Çizelge 3 doldurularak sistematik ve kontrollü bir şekilde yapılabilir.

TS 825'in açık olmayan hususlarına getirilen yorumlar :

TS 825 ile yapılan hesaplamalarda açık olmayan bazı hususlar için aşağıdaki öneriler göz önüne alınabilir.

1. Bina cepheleri ara yönlere karşı geliyorsa TS 825 tablolarını kullanırken binanın enerji ihtiyacı artacak şekilde bina döndürülür.

2. (5) nolu eşitlikte camlı balkon kapısı pencere gibi ele alınır.

3. Toprak temaslı duvar, toprak temaslı döşeme gibi ele alınır.

4. Isı köprüsü içeren yapı bileşeni halinde, (5) nolu eşitlik ısı köprüsü halde IU_I terimi hesaplanmadan, TS 8441 göre hesaplanan toplam ısı geçiş katsayısı ile de hesaplanabilir.

TS 825 ÇİZELGE 2

Binanın Özgül Isı Kaybı Hesaplama Çizelgesi.

Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı, L (m)	Isı iletim katsayısı, λ_t (W/mK)	$L/\lambda_t, l/\alpha$ ($m^2 K/W$)	Toplam ısı geçiş katsayısı, U ($W/m^2 K$)	Isı kaybeden yüzey, A (m^2)	Isı kaybı $A \times U$ (W/K)
Duvar yüzeyleri						
Toplam						
Taban						
Toplam						
Tavan						
Toplam						
Pencere						
Yapı elemanlarından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı =						
$\Sigma AU = U_{i1}A_{i1} + U_p A_p + 0,8 U_T A_T + 0,5 U_l A_l + U_d A_d + 0,5 U_{disc} A_{disc}$ <p>Özgül ısı kaybı $H = H_i + H_h$</p> <p>İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı $H_i = \Sigma AU + l U_l$</p> <p>Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı $H_h = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h$</p>						

Not : Bu çizelge TS 825'de Ek 8'de verilmiştir.

TS 825 ÇİZELGE 3

Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesaplama Çizelgesi.

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam			
	$H=H_r+H_h$ (W/K)	T_r-T_d (K, °C)	$H(T_i, T_d)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_g (W)	$\phi_r = \phi_i + \phi_g$ (W)	(-)	η_{ay} (-)	Q_{ay} (kJ)
Ocak									
Şubat									
Mart									
Nisan									
Mayıs									
Haziran									
Temmuz									
Ağustos									
Eylül									
Ekim									
Kasım									
Aralık									
$Q_{ay} = [H(T_{i,ay} - T_{d,ay}) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \cdot t$ (Joule)							$Q_{yil} = \sum Q_{ay} =$		
<p>Toplam ısı kaybı $Q_{yil} = 0.278 \times 10^3 \times \dots (kJ) = \dots kWh$</p> <p>Konullar için iç ısı kazancı $\phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n$ (W)</p> <p>Güneş enerjisi kazancı $\phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$</p> <p>Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay}) / H(T_{i,ay} - T_{d,ay})$</p> <p>Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1 \cdot KKO_{ay})}$</p> <p>Örnek binadaki kullanım alanı A_n başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı:</p> <p>$Q = Q_{yil}/A_n = \dots kWh/m^2$ $A_n = 0.32 V_{brüt} = \dots m^2$</p> <p>Örnek binadaki ısıtılan yapı hacmi ($V_{brüt}$) başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı:</p> <p>$Q = Q_{yil}/V_{brüt} = \dots kWh/m^3$</p> <p>$A_{iup}/V_{brüt} = \dots$ oranı \dots bölge için TS 825 EK 1'den alınan $Q' = \dots$ formülünde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = \dots kWh/m^2$ veya $Q = \dots kWh/m^3$ bulunur ve hesaplanan Q ile karşılaştırılarak projenin ısı kaybı açısından uygunluğu tanımlanır.</p> <p>Yapılan hesaplamada $\dots < \dots$ yani $Q < Q'$ olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje, TS 825 standartında verilen hesap metoduna uygundur.</p>									

Not : Bu çizelge TS 825'de Ek 9'da verilmiştir.

TS 825 EK 1

A - En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri.

	$A_{top}/V_{brüt} \leq 0.2$ için	$A_{top}/V_{brüt} \geq 1.05$ için	
$Q'_{1.DG} =$	27	66	kWh/m^2
	8,5	21	kWh/m^2
$Q'_{2.DG} =$	48	104	kWh/m^2
	14,7	33	kWh/m^2
$Q'_{3.DG} =$	64	121	kWh/m^2
	20,4	39	kWh/m^2
$Q'_{4.DG} =$	104	175	kWh/m^2
	33,4	56	kWh/m^2

B - Bölgelere göre $A_{top}/V_{brüt}$ oranlarına bağlı olarak gereken Q 'nun hesaplanması.

A_n ile ilişkili	$Q'_{1.DG} =$	46,62	$A_{top}/V_{brüt} +$	17,38	$[kWh/m^2]$
$V_{brüt}$ ile ilişkili	$Q'_{1.DG} =$	14,92	$A_{top}/V_{brüt} +$	5,56	$[kWh/m^2]$
A_n ile ilişkili	$Q'_{2.DG} =$	68,59	$A_{top}/V_{brüt} +$	32,30	$[kWh/m^2]$
$V_{brüt}$ ile ilişkili	$Q'_{2.DG} =$	21,95	$A_{top}/V_{brüt} +$	10,34	$[kWh/m^2]$
A_n ile ilişkili	$Q'_{3.DG} =$	67,29	$A_{top}/V_{brüt} +$	50,16	$[kWh/m^2]$
$V_{brüt}$ ile ilişkili	$Q'_{3.DG} =$	21,74	$A_{top}/V_{brüt} +$	16,05	$[kWh/m^2]$
A_n ile ilişkili	$Q'_{4.DG} =$	82,81	$A_{top}/V_{brüt} +$	87,70	$[kWh/m^2]$
$V_{brüt}$ ile ilişkili	$Q'_{4.DG} =$	26,5	$A_{top}/V_{brüt} +$	28,06	$[kWh/m^2]$

C - Bölgelere göre tavsiye edilen U değerleri.

	U_D (W/m^2K)	U_T (W/m^2K)	U_i (W/m^2K)	U_p^* (W/m^2K)
1. Bölge	0,80	0,50	0,80	2,80
2. Bölge	0,60	0,40	0,60	2,80
3. Bölge	0,50	0,30	0,45	2,80
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,80

* : U_p olarak verilen ısı iletim katsayıları TS 825 EK 1C'de bir cam türü için verilmiştir. Diğer kapı ve pencere türleri için toplam ısı geçiş katsayıları TS 2164'den alınır ve hesaba katılır.

NOT - Bölgeler için bk. TS 825 EK 4.

TS 825 EK 2

Farklı Derece Gün (DG) Bölgeleri İçin Hesaplamalarda Kullanılacak Aylık Ortalama Dış Sıcaklık Değerleri [$T_{d,ay}$ ($^{\circ}C$)]

	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
OCAK	8,0	3,3	1,3	-5,2
ŞUBAT	9,3	4,5	2,0	-4,1
MART	11,5	7,2	5,0	-1,3
NİSAN	15,7	12,6	9,8	5,1
MAYIS	20,6	17,8	14,1	10,1
HAZİRAN	25,4	21,9	18,1	13,5
TEMMUZ	28,0	24,4	21,1	17,2
AĞUSTOS	27,2	23,8	20,6	17,2
EYLÜL	23,3	19,6	16,5	13,2
EKİM	18,1	14,1	11,3	6,9
KASIM	13,3	9,1	6,5	1,3
ARALIK	9,4	4,9	2,6	-3,0

TS 825 EK 3

Bütün Derece Gün Bölgeleri İçin Hesaplamalarda Kullanılacak Olan Ortalama Aylık Güneş Işınımı Şiddeti Değerleri [W/m^2].

	$I_{güneş}$	I_{kuzey}	$I_{batı/doğu}$
Ocak	72	26	43
Şubat	84	37	57
Mart	95	52	77
Nisan	83	66	90
Mayıs	92	79	114
Haziran	95	83	122
Temmuz	93	81	118
Ağustos	93	73	106
Eylül	89	57	81
Ekim	82	40	59
Kasım	67	27	41
Aralık	64	22	37

TS 825 EK 4

İllere Göre Derece Gün Bölgeleri.

<p>1. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ ADANA, ANTALYA, AYDIN, HATAY, İÇEL, İZMİR, OSMANİYE</p> <p>İli 2. Bölgede olup da kendisi 1.Bölgede olan Belediyeler AYVALIK (Balıkesir), BODRUM (Muğla), DALAMAN (Muğla), DATÇA (Muğla), FETHİYE (Muğla), GÖKOVA (Muğla), KÖYCEĞİZ (Muğla), MARMARİS (Muğla), MİLAS (Muğla),</p>
<p>2. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ ADAPAZARI, ADIYAMAN, AMASYA, BALIKESİR, BARTIN, BATMAN, BURSA, ÇANAKKALE, DENİZLİ, DİYARBAKIR, EDİRNE, GAZİANTEP, GİRESUN, İSTANBUL, KAHRAMANMARAŞ, KİLİS, KOCAELİ, MANİSA, MARDİN, MUĞLA, ORDU, RİZE, SAMSUN, SİİRT, SİNOP, ŞANLIURFA, ŞİRNAK, TEKİRDAĞ, TRABZON, YALOVA, ZONGULDAK</p> <p>İli 3. Bölgede olup da kendisi 2.Bölgede olan Belediyeler ARHAVİ (Artvin), DÜZCE (Bolu), HOPA (Artvin),</p> <p>İli 4. Bölgede olup da kendisi 2.Bölgede olan Belediyeler ABANA (Kastamonu), BOZKURT (Kastamonu), CİDE (Kastamonu), ÇATALZEYTİN (Kastamonu), DOĞANYURT (Kastamonu), İNEBOLU (Kastamonu),</p>
<p>3. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ AFYON, AKSARAY, ANKARA, ARTVİN, BİLECİK, BİNGÖL, BOLU, BURDUR, ÇANKIRI, ÇORUM, ELAZIĞ, ESKİŞEHİR, İÇDIR, ISPARTA, KARABÜK, KARAMAN, KIRIKKALE, KIRKLARELİ, KIRŞEHİR, KONYA, KÜTAHYA, MALATYA, NEVŞEHİR, NİĞDE, TOKAT, TUNCELİ, UŞAK</p> <p>İli 1. Bölgede olup da kendisi 3.Bölgede olan Belediyeler KORKUTELİ (Antalya), POZANTI (Adana)</p> <p>İli 2. Bölgede olup da kendisi 3.Bölgede olan Belediyeler DURSUNBEY (Balıkesir), MERZİFON (Amasya), ULUS (Bartın)</p> <p>İli 4. Bölgede olup da kendisi 3.Bölgede olan Belediyeler TOSYA (Kastamonu)</p>
<p>4. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ AĞRI, ARDAHAN, BAYBURT, BİTLİS, ERZİNCAN, ERZURUM, GÜMÜŞHANE, HAKKARİ, KARS, KASTAMONU, KAYSERİ, MUŞ, SİVAS, VAN, YOZGAT</p> <p>İli 2. Bölgede olup da kendisi 4.Bölgede olan Belediyeler AFŞİN (K.Maraş), ELBİSTAN (K.Maraş), GÖKSUN (K.Maraş), KELES (Bursa), MESUDİYE (Ordu), ŞEBİNKARAHİSAR (Giresun), ULUDAĞ (Bursa),</p> <p>İli 3. Bölgede olup da kendisi 4.Bölgede olan Belediyeler KIĞI (Bingöl), PÜLÜMÜR (Tunceli), SOLHAN (Bingöl)</p>

TS 825 EK 5

Yapı Malzeme ve Bileşenlerinin Isıl İletkenliği Hesap Değerleri (λ_h) ve Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörleri (μ) "1), 2), 3), 4), 5), 6)"

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi ¹⁾ (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı λ_h ⁴⁾ (W/mK)	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ ⁶⁾
1	Doğal taşlar			
1.1	Kristal yapılı püskürtük ve metamorfik taşlar (granit, bazalt, mermer, vb.)	> 2800	3,5	
1.2	Tortul, sedimante taşlar (kum taşı, traverten, konglomeralar vb.)	2600	2,3	
1.3	Gözenekli püskürtük taşlar	< 1600	0,55	
2	Doğal zeminler (doğal nemlilikte)			
2.1	Kum, kum-çakıl	1800	1,4	
2.2	Kil,sıkı toprak	2000	2,1	
3	Dökme malzemeler (hava kurusunda, üzeri örtülü durumda) Kum, çakıl, kırma taş (mıcır)			
3.1	Kum, çakıl, kırma taş (mıcır)	1800	0,7	
3.2	Bims çakılı (TS 3234)	≤ 1000	0,19	
3.3	Yüksek fırın curufu	≤ 600	0,13	
3.4	Kömür curufu	≤ 1000	0,23	
3.5	Gözenekli doğal taş mıcırları	≤ 1200	0,22	
		≤ 1500	0,27	
3.6	Genleştirilmiş perlit agregası (TS 3681)	≤ 50	0,046	
		≤ 100	0,058	
		≤ 150	0,070	
		≤ 200	0,081	
3.7	Genleştirilmiş mantar parçacıkları	≤ 200	0,050	
3.8	Polistiren, sert köpük parçacıkları	15	0,045	
3.9	Testere ve plânya talaşı	200	0,07	
3.10	Saman	150	0,058	
4	Sıvalar, şaplar ve diğer harç tabakaları			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	1800	0,87	15 - 35
4.2	Çimento harcı	2000	1,40	15 - 35
4.3	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	1400	0,70	10
4.4	Yalnız alçı kullanarak (agregasız) yapılmış sıva	1200	0,35	10
4.5	Alçı harçlı şap	2000	1,20	15 - 35
4.6	Çimento harçlı şap	2000	1,40	15 - 35
4.7	Dökme asfalt kaplama, kalınlık ≥15 mm	2300	0,90	
4.8	Anorganik aşılı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	800	0,30	
		900	0,35	
		1000	0,38	
4.9	Genleştirilmiş perlit agregasıyla yapılan sıvalar ve harç ve tabakaları	400	0,14	
		500	0,16	
		600	0,20	
		700	0,24	
		800	0,29	
5	Büyük boyutlu yapı elemanları ve bileşenleri (kolon, giriş, döşeme ve ısı iletkenliği hesabına esas yüzeyi 0,25 m² den büyük olan perde, panolar gibi)			
5.1	Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar			
	Donatılı	2400	2,10	70 - 150
	Donatısız	2200	1,74	70 - 150

TS 825 EK 5

Devam

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütle ¹⁾ (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı λ_v ²⁾ (W/mK)	Su buharı difüzyon direnci faktörü μ ³⁾
5.2	Kesif dokulu hafif betonlar, (agregalar arası boşluksuz) donatılı veya donatısız			
5.2.1	Gözenekli hafif agregalar kullanılarak ve kuvars kumu katılmaksızın yapılmış betonlar, TS 1114'e uygun agregalarla ³⁾	800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1800 2000	0,39 0,44 0,49 0,55 0,62 0,70 0,79 0,89 1,00 1,30 1,60	70 - 150 " " " " " " " " " " "
5.2.2	Yalnız genişletilmiş perlit kullanılarak ve kuvars kumu katılmaksızın yapılmış betonlar (TS 3649'a uygun) ³⁾	300 400 500 600 700 800 900 1000 1200 1400 1600	0,10 0,13 0,15 0,19 0,21 0,24 0,27 0,30 0,35 0,42 0,49	" " " " " " " " " " "
5.3	Tuvenan halindeki hafif agregalarla yapılan hafif betonlar (agregalar arası boşluklu)			
5.3.1	Gözeneksiz agregalar kullanılarak yapılmış betonlar	1600 1800 2000	0,81 1,10 1,40	3 - 10 5 - 10 5 - 15
5.3.2	Gözenekli hafif agregalar kullanılarak kuvarz kumu katılmadan yapılmış betonlar ³⁾	600 700 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000	0,22 0,26 0,28 0,36 0,46 0,57 0,75 0,92 1,20	" " " " " " " " "
5.3.3	Yalnız doğal bims kullanılarak ve kuvars kumu katılmadan yapılmış betonlar (TS 3234'e uygun) (TS 2823'e uygun yapı elemanları dahil)	500 600 700 800 900 1000 1200	0,15 0,18 0,20 0,24 0,27 0,32 0,44	5 - 15 " " " " " "
5.4	Organik bazlı agregalarla yapılmış hafif betonlar			
5.4.1	Ahşap testere veya plânya talaşı betonu	400 600 800 1000 1200	0,14 0,19 0,25 0,35 0,44	" " " " "
5.4.2	Çeltik kapçığı betonu	600 700	0,14 0,17	" "

TS 825 EK 5

Devam

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütle ¹⁾ (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı λ_h ⁴⁾ (W/mK)	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ ⁶⁾
5.5	Buharla sertleştirilmiş gaz betonlar (TS 453'e uygun yapı elemanları dahil)	400	0,14	5 - 10
		500	0,16	"
		600	0,19	"
		700	0,21	"
		800	0,23	"
6	Yapı plâkları ve levhaları			
6.1	Gaz beton yapı levhaları (TS 453'e uygun plaklar)			
6.1.1	Normal derz kalınlığında ve normal harçla yerleştirilen levhalar	500	0,22	5 - 10
		600	0,24	"
		700	0,27	"
		800	0,29	"
6.1.2	İnce derzli veya özel yapıştırıcı kullanılarak yerleştirilen levhalar	500	0,19	5 - 10
		600	0,22	"
		700	0,24	"
		800	0,27	"
6.2	Hafif betondan duvar plâkları	800	0,29	5 - 10
		900	0,32	"
		1000	0,37	"
		1200	0,47	"
		1400	0,58	"
6.3	Alçıdan duvar levhalar ve blokları (gözenekli, delikli, dolgu veya agregalı olanlar dahil) (TS 451, TS 452 TS 1474'e uygun)	600	0,29	5 - 10
		750	0,35	"
		900	0,41	"
		1000	0,47	"
		1200	0,58	"
6.4	Genleştirilmiş perlit agregası katılmış alçı duvar levhaları (TS 3682 ye uygun)	600	0,29	5 - 10
		750	0,35	"
		900	0,41	"
6.5	Alçı karton plâkalar (TS 452'ye uygun)	900	0,21	8
7	Kâgir duvarlar (Harç fugaları- derzleri dahil)			
7.1	Tuğla duvarlar			
7.1.1	TS 704, TS 705 'e uygun tuğlalarla yapılan kâgir duvarlar, dolu klinker, düşey delikli klinger, (TS 4562) seramik klinger (TS 2902).	1800	0,81	50 - 100
		2000	0,94	"
		2200	1,20	"
7.1.2	TS 704, TS 705 'e uygun dolu veya düşey delikli tuğlalarla duvarlar	1200	0,50	5 - 10
		1400	0,58	"
		1600	0,68	"
		1800	0,81	"
		2000	0,96	"
7.1.3	Düşey delikli tuğlalarla duvarlar (TS 4377'ye uygun AB sınıfı tuğlalarla, normal derz veya harç cepli)			
7.1.3.1	Normal harç kullanarak AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	700	0,35	5 - 10
		800	0,38	"
		900	0,42	"
		1000	0,45	"
7.1.3.2	TS4916 'ya uygun harç kullanılarak AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar ²⁾	700	0,30	5 - 10
		800	0,33	"
		900	0,36	"
		1000	0,39	"

TS 825 EK 5

Devam

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi ¹⁾ (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı λ_h ⁴⁾ (W/mK)	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ ⁶⁾
7.1.4	Düşey delikli hafif tuğlarla duvarlar (TS 4377'ye uygun W sınıfı tuğlarla, normal derz veya harç cepli)			
7.1.4.1	Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlarla yapılan duvarlar	≤700 800 900 1000	0,30 0,33 0,36 0,39	5 - 10 " " "
7.1.4.2	TS 4916'ya uygun harç kullanılarak W sınıfı tuğlarla yapılan duvarlar ²⁾	≤700 800 900 1000	0,24 0,27 0,30 0,33	5 - 10 " " "
7.1.5	Düşey delikli hafif tuğlarla duvarlar (TS 4377'ye uygun W sınıfı lâmba zıvanalı tuğlarla)			
7.1.5.1	Normal harç kullanılarak W sınıfı lâmba zıvanalı tuğlarla yapılan duvarlar	≤700 800 900 1000	0,24 0,27 0,30 0,34	5 - 10 " " "
7.1.5.2	TS 4916 'ya uygun harç kullanılarak W sınıfı Lâmba zıvanalı tuğlarla yapılan duvarlar ²⁾	≤700 800 900 1000	0,18 0,21 0,24 0,28	5 - 10 " " "
7.1.6	Yatay delikli tuğlarla duvarlar (TS 4563)	≤1000	0,45	5 - 10
7.2	Kireç kum taşı duvarlar (TS 808 'e uygun)	700 800 900 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200	0,35 0,40 0,44 0,50 0,57 0,70 0,79 0,99 1,10 1,30	5 - 10 " " " " " 5 - 25 " " "
7.3	Gaz beton duvar blokları ile duvarlar (TS 453'e uygun)			
7.3.1	Normal derz kalınlığında ve normal harçla yerleştirilmiş bloklarla duvarlar	400 500 600 700 800	0,20 0,22 0,24 0,27 0,29	5 - 10 " " " "
7.3.2	İnce derzli (derz kalınlığı ≤ 3 mm) veya özel yapıştırıcısıyla yerleştirilmiş bloklarla duvarlar (blok uzunluğunun en az 500 mm olması şartıyla)	400 500 600 700 800	0,15 0,17 0,20 0,23 0,27	5 - 10 " " " "
7.3.3	TS 4916 'ya uygun harç kullanılarak gaz beton bloklarla yapılan duvarlar ²⁾	400 500 600 700 800	0,14 0,16 0,18 0,21 0,23	5 - 10 " " " "

TS 825 EK 5

Devam

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi ¹⁾ (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı λ_n ⁴⁾ (W/mK)	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ ⁶⁾
7.4	Beton briket veya duvar blokları ile duvarlar			
7.4.1	Hafif betondan dolu briket veya dolu bloklarla duvarlar (TS 406'ya uygun ve kuvars kumu katılmaksızın yapılmış briket ve bloklarla)	500 600 700 800 900 1000 1200 1400 1600 1800 2000	0,32 0,34 0,37 0,40 0,43 0,46 0,54 0,63 0,74 0,87 0,99	5 - 10 " " " " " " 10 - 15 " " "
7.4.2	Doğal bims betondan dolu bloklarla duvarlar (TS 2823'e uygun DDB türü bloklarla, kuvars kumu katılmaksızın yapılmış)	500 600 700 800 900 1000 1200 1400 1600 1800 2000	0,29 0,32 0,35 0,39 0,43 0,46 0,54 0,63 0,74 0,87 0,99	5 - 10 " " " " " " 10 - 15 " " "
7.4.3	Kuvars kumu katılmaksızın doğal bimsle yapılmış betondan özel yarıklı dolu duvar bloklarıyla duvarlar (TS 2823'e uygun SW türü bloklarla)			
	Uzunluk ≥ 490 mm	500 600 700 800	0,20 0,22 0,25 0,28	5 - 10 " " "
	240 mm \leq Uzunluk < 490 mm	500 600 700 800	0,22 0,24 0,28 0,31	5 - 10 " " "
7.4.4	Genleştirilmiş perlit betonundan dolu bloklarla duvarlar (kuvartz kumu katılmaksızın yapılmış bloklarla) (TS 3681'e uygun agregayla TS 406'ya uygun olarak yapılmış bloklarla ³⁾)	500 600 700 800	0,26 0,29 0,32 0,35	5 - 10 " " "
7.5	Boşluklu briket veya bloklarla duvarlar			
7.5.1	Hafif betondan boşluklu bloklarla duvarlar (kuvars kumu katılmaksızın TS 2823 uygun BDB türü bloklarla)			
7.5.1.1	2 sıra boşluklu; genişlik ≤ 240 mm, 3 sıra boşluklu; genişlik ≤ 300 mm, 4 sıra boşluklu; genişlik ≤ 365 mm, 5 sıra boşluklu; genişlik ≤ 490 mm, 6 sıra boşluklu; genişlik ≤ 490 mm olan bloklarda	500 600 700 800 900 1000 1200 1400	0,29 0,32 0,35 0,39 0,44 0,49 0,60 0,73	5 - 10 " " " " " " "

TS 825 EK 5

Devam

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi ¹⁾ (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı λ_h ⁴⁾ (W/mK)	Su buharı difüzyon direnci faktörü μ ⁶⁾
7.5.1.2	2 sıra boşluklu; genişlik = 300 mm, 3 sıra boşluklu; genişlik = 365 mm olan bloklarda	500 600 700 800 900 1000 1200 1400	0,29 0,34 0,39 0,46 0,55 0,64 0,76 0,90	5 - 50 " " " " " " "
7.5.2	Normal betondan boşluklu briket ve bloklarla duvarlar (TS 406'ya uygun)			
7.5.2.1	2 sıra boşluklu; genişlik \leq 240 mm , 3 sıra boşluklu; genişlik \leq 300 mm, 4 sıra boşluklu; genişlik \leq 365 mm, olan bloklarda	\leq 1800	0,92	20 - 30
7.5.2.2	2 sıra boşluklu; genişlik = 300 mm, 3 sıra boşluklu; genişlik = 365 mm, olan bloklarda	\leq 1800	1,3	20 - 30
7.6	Doğal taşlarla örülmüş moloz taş duvarlar Taşın birim hacim kütlesi ; $< 1600 \text{ kg/m}^3$ $\geq 1600, < 2000 \text{ kg/m}^3$ $\geq 2000, < 2600 \text{ kg/m}^3$ $\geq 2600 \text{ kg/m}^3$		0,81 1,16 1,74 2,56	
8	Ahşap ve ahşap mamulleri			
8.1	Ahşap			
8.1.1	İğne yapraklı ağaçlardan elde edilmiş olanlar	600	0,13	40
8.1.2	Kayın, meşe, dişbudak	800	0,20	40
8.2	Ahşap mamulleri			
8.2.1	Kontrplâk (TS 46), kontrtabla (TS 1047)	800	0,13	50 - 400
8.2.2	Ahşap yonga levhalar			
8.2.2.1	Yatık yongalı levhalar (TS 180, TS 1617)	700	0,13	50 - 100
8.2.2.2	Dik yongalı levhalar (TS 3482)	700	0,17	20
8.2.3	Odun lifi levhalar			
8.2.3.1	Sert ve orta sert odun lifi levhalar (TS 64)	600 800 1000	0,13 0,15 0,17	70 " "
8.2.3.2	Hafif odun lifi levhalar	\leq 200 \leq 300	0,046 0,058	5 "
9	Kaplamalar			
9.1	Döşeme kaplamaları			
9.1.1	Linolyum	1000	0,17	
9.1.2	Mantarlı linolyum	700	0,08	
9.1.3	Sentetik malzemeden kaplamalar (örneğin PVC)	1500	0,23	
9.1.4	Halı vb. kaplamalar	250	0,07	
9.2	Suya karşı yalıtım kaplamaları			
9.2.1	Mastik asfalt kaplama \geq 7 mm	2000	0,70	

TS 825 EK 5

Devam

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi ¹⁾ (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı λ_n ⁴⁾ (W/mK)	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ ⁵⁾
9.2.2	Bitüm ve bitüm emdirilmiş kaplamalar			
9.2.2.1	Armatürlü bitümlü pestiller (membranlar)			
	Bitümlü karton	1100	0,19	2000
	Cam tülü armatürlü bitümlü pestil	1200	0,19	14000
	0,01 mm Al. Folyolu bitümlü pestil	900	0,19	100000
	Cam tülü armatürlü polimer bitümlü membran	2000	0,19	14000
	Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	2000-5000	0,19	20000
9.2.3	Armatürlü veya armatürsüz plâstik pestil ve folyolar			
	Polietilen folyo	1000	0,19	80000
	PVC örtü	1200	0,19	42000
	PIB polyisobütülen örtü	1600	0,26	300000
	ECB etilen kopolimer örtü	1000	0,19	80000
	EPDM etilen propilen kauçuk örtü	1200	0,30	100000
10	Isı yalıtım malzemeleri			
10.1	Odun talaşı levhaları (TS 305)			
	levha kalınlığı ≥ 25 mm	360-480	0,09	2 - 5
	levha kalınlığı =10 mm	570	0,15	2 - 5
10.2	Sentetik köpük malzemeler			
10.2.1	Polistiren sert köpük levhalar (EPS)			
10.2.1.1	Polistiren - partiküler köpük (TS 7316)	≥ 15	0,040	20 - 250
10.2.1.2	Polistiren - ekstrüde köpük XPS (TS 11989)			
10.2.1.2.1	Yüzeyi pürüzlü veya pürüzlü ve kanallı levhalar	> 20	0,031	8 - 250
10.2.1.2.2	Yüzeyi düzgün (ciltli) levhalar	≥ 30	0,028	8 - 250
10.2.2	Poliüretan sert köpük levhalar (PUR) (TS 2193) (TS 10981)	≥ 30	0,035	30 - 100
10.3	Fenol reçinesinden sert köpük levhalar	≥ 30	0,040	10 - 50
10.4	Mineral ve bitkisel lifli yalıtım malzemeleri (TS 901)	8 - 500	0,040	1
10.5	Cam köpüğü levhalar	100 - 500	0,052	10000
10.6	Maatardan ısı yalıtım levhaları (TS 304)	80 - 160	0,040	10
		$> 160 - 250$	0,050	30
		$> 250 - 500$	0,055	35
10.7	Kamıştan hafif levhalar		0,058	

- Bu EK 'de verilen birim hacim kütleleri bir yapı malzeme veya bileşenin gerçek birim hacim kütlelerinden farklı olabilir. Bu gibi durumlarda göz önünde bulundurulacak ısı iletkenliği hesap değeri, esas malzemenin (meselâ tuğla duvarda tuğlanın) kuru durumdaki birim hacim kütlelerine (varsa içindeki boşluk ve delikler dahil birim hacim kütlesi) en yakın ancak ondan daha büyük olan birim hacim kütlesi için verilen değerdir. Bir malzeme veya bileşen için yalnız bir birim hacim kütlelerine bağlı olarak ısı iletkenliği hesap değeri verilmişse, malzeme veya bileşenin gerçek birim hacim kütlesi farklı da olsa bu ektaki değer geçerlidir. Gerekliğinde, yapı malzeme veya bileşenlerinin birim alan kütlelerinin hesabında da bu ektaki birim hacim kütleleri yukarıdaki esaslara göre göz önünde bulundurulur.
- TS 4916'ya uygun hafif örgü harcı kullanılması durumunda, bu ek 'de; briket ve bloklarla yapılan duvarlar için verilen ısı iletkenliği hesap değerleri 0,06 W/mK kadar azaltılabilir. Ancak bu harcın kullanılması halinde;
 - Duvarların taşıyıcı olmaması,
 - Kullanılacak harcın ilgili standartlarca üretilmiş olması ve şantiyelere ambalajlı olarak getirilmesi,
- Yapılacak azaltma sonucu bulunacak ısı iletkenliği hesap değerleri, duvar örgüsünde kullanılan briket ve blokların yapıldıkları betonlar için verilen ısı iletkenliği hesap değerlerinden daha küçük olmaması, gereklidir.

4. Kuvartz kumu katılmadan yapılmış beton elemanlar için verilen ısı iletkenliği hesap değerleri, kuvartz kumu katılması durumunda %20 artırılarak uygulanır. Bazı gevşek dokulu malzemeler kullanıldığı yerlerde, üzerine gelen yükler sonucu sıkışabilirler (Meselâ döşeme kaplaması altındaki gevşek dokulu yalıtım tabakaları gibi.) Bu gibi durumlarda malzemenin sıkışmış olarak birim hacim kütlesi, bu malzeme için bu ek’de verilen birim hacim kütlesi değerinden daha büyük değilse, verilen ısı iletkenlik hesap değerleri aynen geçerlidir. Ancak yapılacak ısı geçirgenlik direnci hesaplarında, malzemenin sıkışmış durumdaki kalınlığının göz önünde bulundurulması gerekir. Ayrıca, gevşek dokulu veya sıkışabilir malzemeler üzerine yapılacak kaplamaların, üzerlerine gelecek sabit ve hareketli yükleri, zarar görmeden taşıyacak şekilde seçilmesine ve uygulanmasına özen gösterilmelidir.
5. Bir yapı bileşeni veya elemanı birden fazla, değişik ısı iletkenliği hesap değerine sahip malzemenin meydana geliyorsa, o yapı bileşeni veya elemanın ısı iletkenliği hesap değeri; her bir malzemenin kalınlıkları ve alanları dikkate alınarak ısı geçirgenlik dirençleri hesaplanır böylece yüzey yüzde (%) oranlarına göre ortalama ısı iletkenlik değerleri bulunur ve bileşen veya elemanın boyutlarına göre derz durumları da göz önünde bulundurularak hesaplanır.
6. Yapı konstrüksiyonu için uygun olmayan değerler her defasında gözardı edilir.

EK-B

ISI KAYBI HESABINA ESAS PROJELENDİRME TABLOLARI [51]

Normal Durumlar İçin kalorifer tesisatı ısı kaybı hesabına esas projelendirme dış sıcaklıkları ve rüzgar durumları.

İsim	Sıcaklık °C	İsim	Sıcaklık °C	İsim	Sıcaklık °C	İsim	Sıcaklık °C	İsim	Sıcaklık °C
ADAPAZARI	-3R	Araç	-15	Besni	-9	Çal	-9	Cüngüş	-9
Acıpayam	-6	Araklı	-3	Beşiri	-9	Çamardı	-15 R	Daday	-12
ADANA	0 R	Arapkir	-15	Beykoz	-3 R	Çameli	-6	Datça	+3 R
Adıcevaz	-15	Ardahan	-21	Beypazarı	-12 R	Çamlidere	-15	Darende	-15
ADİYAMAN	-9	Ardanuç	-9	Beyşehir	-12	Çan	-3 R	Demirci	-6 R
Afşin	-15	Ardeşene	-3	Beytişebap	-18	ÇANAKKALE	-3 R	Demirköy	-9 R
AFYON	-12 R	Arhavi	-3	Biga	-3 R	Çankaya	-12 R	DENİZLİ	-6
Ağın	-15	Arpaçay	-27	Bigadiç	-6 R	ÇANKIRI	-15	Derefi	-6
Ağlasun	-9	Argüven	-12	BİLECİK	-9 R	Çardak	-9	Derik	-6 R
AĞRI	-24	Artova	-12	BİNGÖL	-18 R	Çarşamba	-3 R	Develi	-15
Ahlat	-15	ARTVIN	-9	Birecik	-6 R	Çat	-21	Devrek	-9
Akçaabat	-3	Aşkale	-21	Bismil	-9	Çatak	-21	Devrekani	-12
Akçadağ	-12	Avanos	-15	BİTLİS	-15	Çatalca	-6 R	Dicle	-9
Akçakale	-6 R	Ayançık	-3 R	Bodrum	+3 R	Çatalzeytin	-3 R	Digor	-27
Akçakoca	-3 R	Ayaş	-12 R	Boğazlıyan	-15	Çay	-12	Dikili	-3 R
Akdağmadeni	-15			BOLU	-15	Çaycuma	-6 R	Dinar	-9
Akhisar	-3 R	AYDIN	-3 R	Bolvadin	-12	Çayeli	-3	Divriği	-18
Akkuş	-6	Ayvacık	-3 R	Bor	-15 R	Çayıralan	-15	Diyadin	-24
AKSARAY	-15	Ayvalık	-3 R	Borçka	-3 R	Çayırli	-18	DIYARBAKIR	-9 R
Akselvi	-9 R	Azdavay	-9	Bornova	0 R	Çaykara	-9	Doğanhisar	-12
Akşehir	-12	Babaeski	-9 R	Boşabat	-9	Çekerek	-15	Doğanşehir	-12
Akyazı	-6 R	Bafra	-3 R	Bozcaada	-3 R	Çelikhhan	-9	Doğubeyazıt	-27
Alaca	-15	Bahçe	-3	Bozdoğan	-3 R	Cemişgezek	-15	Dörtöyl	+3 R
Alaçam	+3 R	Bala	-12 R	Bozkır	-9	Çerkezköy	-9 R	Durağan	-9
Alanya	+3 R			Bozkurt	-3 R	Çerkeş	-15	Dursunbey	-9 R
Alaşehir	-6	BALIKESİR	-3 R	Bozova	-6 R	Çermik	-9 R	Düzce	-9 R
Almus	-12	Balya	-3 R	Bozuyük	-9 R	Çeşme	0 R	Eceabat	-3 R
Altınözü	0 R	Banaz	-3 R	Bucak	-9	Çiçekdağı	-15	EDİRNE	-9
Altıntaş	-12	Bandırma	-6 R	Bulancak	-3	Çifteler	-12 R	Edremit	-3 R
Aluçra	-12	BARTIN	-3 R	Bulanık	-21	Çınar	-6 R	Eflani	-12
		Başkil	-12	Buldan	-6	Çine	-3 R	Eğridir	-9
AMASYA	-12	Başkale	-27	BURDUR	-9	Çivril	-9	ELAZIĞ	-12
Anamur	+3	BATMAN	-9	Burhaniye	-3 R	Çıldır	-21	Eleşkirt	-24
Andırın	-9	Bayat	-15	BURSA	-6 R	Çorlu	-9R	Elmalı	-9
		Bayburt	-15	Bunyan	-15	Çoruh	-9	Elbistan	-17
ANKARA	-12 R	Bayındır	-3	Ceyhan	0 R	ÇORUM	-15	Emet	-9 R
ANTAKYA	0 R	Bayhan	-12	Cide	-3 R	Çubuk	-12R	Emirdağ	-12
ANTALYA	+3 R	Bayramiç	-3 R	Cihanbeyli	-12	Çukurca	-18	Enez	-9 R
Araban	-9	Bergama	-3 R	Cizre	-6	Çumra	-12	Erbaa	-12
Erdek	-6 R	Horasan	-27	Koyunhisar	-12	Palu	-15	Şefaati	-15
Erdemli	+3	Hozat	-18	Kozaklı	-15	Pasinler	-24	Şemdinli	-27
Ercis	-15	İğdir	-18	Kozan	-3 R	Patnos	-21	Şenkaya	-21
Ereğli (Konya)	-15	İlgaz	-15	Kozluk	-12	Pazar	-3	Şereflikoçhisar	-12
Ereğli (Zonguldak)	-3 R	İlgin	-12	Köyceğiz	-3 R	Pazarçık	-9	Şile	-3 R
Ergani	-9	İdil	-6	Kula	-6	Pazaryeri	-9	Şiran	-15
Ermeneek	-9	İliç	-18	Kulp	-15	Pehlivan köyü	-9 R	Şirnak	-6
Eruh	-6	İkizdere	-9	Kumluca	0	Perşembe	-3R	Şirvan	-12
ERZINCAN	-18	İmranlı	-18	Kurşunlu	-15	Pertek	-12	Şuhut	-12 R
ERZURUM	-21	İmroz	-3 R	Kurtalan	-9	Pervani	-15	Tarsus	0
Espiye	-3	İncesu	-15	Kurucaşile	-3R	Pınarbaşı	-15	Taşköprü	-12
Eskipazar	-15	İnebolu	-3 R	Kuşadası	0 R	Pınarhisar	-9 R	Taşlıçay	-24
ESKİŞEHİR	-12	İnegöl	-9 R	Kuyucak	-3	Pülümür	-18	Taşova	-12
Eşme	-6 R	İpsala	-9 R	Küre	-6 R	Polatlı	-12 R	Tatvan	-15
Ezine	-3 R	İskenderun	+3	KÜTAHYA	-12	Posof	-15	Tavas	-3
Fatsa	-3 R	İskilip	-15	Ladik	-9	Pozantı	-9	Tavşanlı	-9 R
Feke	-9	İslahiye	-3	Lalapasa	-9 R	Pütürge	-9	Tefenni	-9
Felahiye	-15	İSPARTA	-9	Lapseki	-3 R	Refahiye	-18	TEKİRDAĞ	-6 R
Fethiye	+3	İSTANBUL	-3 R	Lice	-15	Reşadiye	-12	Tekmen	-21
Fındıklı	-3	İspir	+18	Lüleburgaz	-9 R	Reyhanlı	-3 R	Tercan	-21
Finike	+3 R	İvrindi	-3 R	Maden	-9	RİZE	-3	Terme	-3 R
Foça	0 R	İZMİR	0	Maçka	-3	Safranbolu	-12	Tire	-3 R
GAZİANTEP	-9	İZMIT	-3 R	Mağara	-15	Saimbeyli	-12	Tirebolu	-3
Gazipaşa	+3 R	İznik	-3 R	MALATYA	-12	Salihli	-3	TOKAT	-15
Gebze	-3 R	Kadirli	-3 R	Mahmudiye	-12 R	Samandağ	+3 R	Tomarza	-15
Gediz	-9 R	Kadıköy	-3 R	Malazgirt	-21	SAMSUN	-3 R	Tonya	-3

1 (devam)

Normal Durumlar İçin kalorifer tesisatı ısı kaybı hesabına esas projelendirme dış sıcaklıkları ve rüzgar durumları.

İsim	Sıcaklık °C	İsim	Sıcaklık °C	İsim	Sıcaklık °C	İsim	Sıcaklık °C	İsim	Sıcaklık °C
Gelibolu	-3 R	Kadınhan	-12	Malkara	-6 R	Sandıklı	-12 R	Torbali	0 R
Gelenüst	-12	Kağızman	-24	Manavgat	+3 R	Sapanca	-3 R	Tortum	-21
Gemerek	-15	Kahte	-9 R	MANİSA	-3 R	Saray	-9 R	Torul	-9
GEMLİK	-3 R	Kalecik	-12	Manyas	-6 R	Sarayköy	-6	Tosya	-15
Genç	-15	Kaman	-12	MARAS	-9	Sarıcakaya	-9 R	Tozanlı	-12
Gecüş	-6	Kandıra	-3 R	MARDİN	-6	Sarıgöl	-6	TRABZON	-3
Gerede	-15	Kangal	-18	Marmaris	+3 R	Sarıkamış	-27	TUNCELİ	-18
Gerger	-9	Karaburun	-3	Mazıdağı	-6	Sarıyer	-3 R	Turgutlu	-3
Germencik	-3 R	KARABÜK	-12	Mazgirt	-18	Sarız	-15	Turhal	-12
Gebze	-3 R	Karacabey	-6 R	Mecitözü	-15	Sason	-15	Tutak	-22
Gevaş	-15	Karacasu	-3	Menemen	0 R	Savaştepe	-3 R	Tuzluca	-18
Geyve	-6 R	Karahallı	-9	Mengen	-15	Savur	-6	Türkeli	-3 R
GİRESUN	-3	Karaisali	-3 R	Meriç	-9 R	Seben	-12	U la	-3 R
Göksun	-12	Karakoçan	-18	MERSİN	+3	Seferihisar	0 R	Ulubey	-9
Göbbaşı	-9	Karaman	-12	Merzifon	-12	Selçuk	0 R	Ulubortu	-9
Gölcük	-3 R	Karamürsel	-3	Mesudiye	-12	Selendi	-6 R	Uludere	-12
Göle	-21	Karapınar	-12	Midyat	-6	Selim	-27 R	Ulukışla	-15
Göhlisar	-9	Karasu	-3 R	Mihalıççık	-12 R	Senirkent	-9	Ulus	-6 R
Gölköy	-6	Karataş	+3 R	Milas	0 R	Serik	+3 R	URFA	-6 R
Gölpazarı	-6	Karayazı	-23	Mucur	-12	Seydişehir	-12	Urfa	0
Gönen	-6 R	Kargı	-12	Mudanya	-3 R	Seyitgazi	-12	UŞAK	-9 R
Görece	-3	Karlıova	-21	Mudurnu	-9	SIİRT	-9	Uzunköprü	-9 R
Gördes	-6 R	KARS	-27	MUĞLA	-3 R	Silifke	+3	Ünye	-3 R
Göynük	-9 R	Kartal	-3 R	Muradiye	-18	Silivri	-6 R	Ürgüp	-15
Göknticek	-15	KASTAMONU	-12	Muratlı	-6 R	Silvan	-9	Üsküdar	-3 R
Güdü	-12 R	KAYSERİ	-15	M.Kemalpaşa	-6 R	Simav	-9 R	Vakıfkebir	-3
Gülнар	-3	Kaş	+3 R	MUŞ	-18	Sincanlı	-12 R	VAN	-15
Gülşehir	-15	Kavak	-6	Mut	-9	SINOP	-3 R	Varto	-21
Gümüşhacıköy	-12	Keban	-12	Mutki	-15	SIVAS	-18	Vezirköprü	-9
GUMÜŞHANE	-12	Keçiörlü	-9	Nallıhan	-12 R	Sivaslı	-9 R	Viranşehir	-6 R
Gündoğmuş	-3 R	Keles	-9 R	Narman	-24	Sivrice	-12	Vize	-9 R
Güney	-6	Kelkit	-15	Nazilli	-3	Siverek	-6 R	Yahyalı	-15
Gürpınar	-18	Kemah	-18	Nazimiye	-18	Sivrihisar	-12 R	Yalvaç	-12
Gürün	-15	Kemaliye	-18	NEVŞEHİR	-15	Sındırgı	-6 R	Yapraklı	-15
Hacıbektaş	-12	Kemalpaşa	-3	NIĞDE	-15 R	Solhan	-18	Yayladağı	0 R
Hadım	-9	Kepsut	-6 R	Niksar	-12	Soma	-3 R	Yalova	-3 R
Hafik	-18	Keskin	-12	Nizip	-6 R	Sorgun	-15	Yatağan	-3 R
HAKKARİ	-24	Keşan	-3	Nusaybin	-6 R	Söğüt	-9 R	Yavuzeli	-9
Halfeti	-9 R	Kıbrısçık	-12	Of	-3	Söke	0 R	Yenice	-3 R
Hamur	-24	Kiğı	-18	Oğuzeli	-9	Sultandağı	-12	Yenişehir	-6 R
Hanak	-21	Kilis	-6	Oltu	-24	Sultanhisar	-3	Yerköy	-15
Hani	-12	Kınık	-3 R	Olur	-18	Suluova	-12	Yeşilova	-9
Hasan	-3 R	Kiraz	-3	ORDU	-3	Suruç	-6 R	Yeşilhisar	-15
Havsa	-9 R	Kırıkhan	0 R	Orhaneli	-6 R	Sungurlu	-15	Yeşilyurt	-12
Havza	-9	Kırkkale	-12	Orhangazi	-3 R	Susurluk	-6 R	Yığılca	-12
Haymana	-12 R	Kırkağaç	-3	Ortaköy	-15	Suşehri	-15	Yıldızeli	-18
Hayrabolu	-9 R	KIRLARELİ	-9 R	Osmancık	-12	Sürmene	-3	YOZGAT	-15
Hazro	-12	KIRŞEHİR	-12	Osmaneli	-6 R	Sütçüler	-9	Yunak	-12
Hekimhan	-15	Kızılcadamam	-12	Osmaniye	-3 R	Şabanözü	-15	Yusufeli	-12
Hendek	-6 R	Kızıltepe	-6	Ovacık	-18	Şarkikaraağaç	-12	Yüksekova	-27
Hilvan	-6 R	Koçarlı	-3 R	Ödemiş	-3	Şarkışla	-18	Zara	-18
Hizan	-18	KONYA	-12	Ömerli	-6	Şarköy	-3 R	Zile	-15
Hınıs	-21	Korkuteli	-9	Özalp	-15	Şavşat	-12	ZONGULDAK	-3 R
Hopa	-3					Şebinkarahisar	-12		

Kaynak [TS 2164]

Kalorifer tesisatı projelendirme iç hava sıcaklık değerleri .

ISITILACAK HACMİN ADI	T _i (°C)	ISITILACAK HACMİN ADI	T _i (°C)
1- KONUTLAR ¹⁾		7) CAMİ ve KİLİSELER ³⁾	
1.1 - Tam olarak ısıtılan konutlar:		- Cami ve kilise mahalleri genel	15
- Oturma ve yatak odaları	20 ²⁾	- Helalar, komşu mahaller ve merdiven boşlukları, yönetim binaları için verilen değerlerden alınmalıdır.	
- Mutfaklar	20	8) HASTAHANELER ⁶⁾	
- Banyo ve duşlar	24	- Ameliyathane, ön hazırlama ve anestezi mahalleri ile erken doğum odaları	25
- Helalar	24	- Geri kalan bütün mahaller	22
- Yan mahaller: Hol, sofa, antre, koridor ³⁾ vb.	15	9) İMALAT ve ATÖLYE MAHALLERİ	
- Merdiven, asansör vb. mahaller	10	- Genel olarak en az	15
1.2 - Sınırlı olarak kısmen ısıtılan konutlar ⁴⁾		- Oturularak çalışmada	20
a) Hesaplanması gereken mahallin sıcaklığı, gerektiğinde konutlar için verilen değerlerden alınmalıdır.		10) KIŞLALAR	
b) Komşu mahallere çevrili ısıtılmayan mahallin sıcaklığı, EK III-3'den alınmalıdır.		- Derslikler	20
2- YÖNETİM BİNALARI		- Geri kalan mahaller, yönetim binaları için verilen değerlerde alınmalıdır	
- Büro mahalleri, toplantı salonları, sergi mahalleri, giriş holleri vb. ile ana merdiven boşlukları	20	11) YÜZME HAVUZLARI	
- Helalar	15	- Holler (bununla birlikte su sıcaklığının en az 2 °C üstünde olmalıdır)	28
- Komşu mahaller ve komşu merdiven mahalleri, konutlar için verilen değerlerden alınır.		- Diğer banyo mahalleri (duş hacimleri, elbise değiştirme, komşu mahaller, merdiven boşlukları)	22
3- İŞ ve HİZMET BİNALARI		12- CEZA ve TUTUK EVLERİ	
- Satış mahalleri ve dükkanlar, genel olarak :		- Derslikler	20
- Ana merdiven mahalleri	20	- Geri kalan bütün mahaller, öğretim binaları için verilen değerlerden alınmalıdır.	
- Besin maddesi satış mahalleri	18	13- SERGI GALERİLERİ	
- Depolar, genel olarak	18	- Müşterinin verilerine göre en az	15
- Peynir depoları	12	14- MÜZE ve GALERİLER	
- Sucuk, salam depolar, et ürünleri hazırlama ve satış mahalleri vb.	15	- Genel olarak	20
- Helalar, komşu mahaller ve komşu merdiven boşlukları, yönetim binaları için verilen değerlerden alınmalıdır.		15 - DEMİR YOLU GARLARI	
4- OTEL, MOTEL ve LOKANTALAR		- Yönetme olmaksızın durak mahallerinde olduğu gibi ve kapalı olmak üzere bütün mahaller	15
- Otel ve motel odaları	20	16 - HAVA LİMANLARI	
- Banyo ve duşlar	24	Yolcu kabulü, işlem tamamlama ve bekleme mahalleri	20
- Otel holleri, toplantı mahalleri, sergi mahalleri, ana merdiven boşlukları vb.	20	17 - Don tutması istenmeyen bütün mahaller	5
- Helalar, komşu mahaller ve komşu merdiven boşlukları, konutlar için verilen değerlerden alınmalıdır.		1) TS 3419/06.79 kapsamına giren tesislerin bulunduğu mahaller için, anılan standarttaki kurallar geçerlidir.	
5) ÖĞRETİM BİNALARI		2) Aksi belirtilmedikçe verilen değerlerin işareti pozitifdir.	
- Derslik, kütüphane, yönetim mahalleri, tenefüs holleri, çok amaçlı avlular gibi öğretim mahalleri ve kapalı çocuk holleri	20	3) Apartmanların iç kısımlarında bulunan koridorların, kural olarak ısıtılmaları gerekmez.	
- Öğretim mutfakları	18	4) Sınırlı olarak kısmen ısıtılmış komşu mahallerin mevcut olması durumunda, mahal ısıtma gücünün belirlenmesi için, kullanım tarzı da göz önüne alınmalıdır.	
- Bedensel zorlamalara göre işlikler	15 - 20	5) Çok defa ve sürekli olarak en az 5 °C olarak tutulmalıdır.	
- Banyo ve duş mahalleri	24	6) TS 3419/06.79 hastahanelerle ilgili verilere de bakılmalıdır.	
- Hekim ve muayene odaları	24	Geride kalan bütün bina tiplerinde, hesaplama esas sıcaklıklar, müşteri ile birlikte tespit edilmelidir.	
- Jimnastik holleri	20		
- Beden eğitimi salonları	20		
- Helalar, komşu mahaller, merdiven boşlukları, yönetim binaları için verilen değerlerden alınmalıdır.			
6) TİYATRO ve KONSER SALONLARI			
- Ön mahaller dahil, helalar, komşu mahaller ve merdiven boşlukları vb. yönetim binaları için verilen değerlerden alınmalıdır.			

Kaynak [TS 2164]

Komşu hacimlerle çevrili ısıtılmayan hacimlerin sıcaklıkları.

U (W/m ² .K)		Dış hava sıcaklığı, (°C)													
		+3	0	-3	-5	-9	-10	-12	-15	-18	-20	-21	-24	-25	-27
Çatı arası hacim	U < 2,3	+12	49	46	43	0	-1	-3	-6	-9	-10	-12	-12	-14	-15
	2,3 < U < 5,8	+9	+6	+3	0	-3	-4	-6	-9	-12	-13	-15	-15	-17	-18
	U > 5,8	+6	+3	0	-3	-6	-7	-9	-12	-15	-16	-18	-18	-20	-22
Isıtılmayan hacim, ısıtılan hacimler ile sınırlanıyor ise sıcaklığı, Denk. (6.1.1)'e göre hesaplanmalıdır.															
Isıtılmayan hacim, bodrum odalarını da kapsamak üzere dış hava ile sınırlı, kapılı ve kapısız yan hacimlerle bağlantıyor ise		+15	+12	+10	+9	+6	+3	0							
Isıtılmayan hacim, dış havayla sınırlı ve aynı zamanda kapılar ile, örneğin garaj, hol, merdiven boşluğu vb. bir hacme açılıyorsa		+9	+6	+3	0	-3	-6	-9	-12	-15	-16	-18	-18	-20	-22
Döşeme altındaki toprak		+9		+6				+3				0			
2 m derinliğe kadar dış duvara bitişik toprak		+3		0				-3				-6			
Kaloriferle ısıtılan hacimlerle çevrili ısıtılmayan hacim sıcaklığı		+15 ¹⁾													
Soba ile ısıtılan hacimlerle çevrili ısıtılmayan hacim sıcaklığı		+10													
Kazan dairesi		+15 ila +20													
¹⁾ Tatil vb. nedenle uzunca bir zaman kesinti olmayacaksa															

Kaynak [TS 2164]

4a

Ara boşluk dolgusuna göre çok katlı camların toplam ısı geçiş katsayıları.

Tip	Cam		Olçüler, (mm)	Ara boşluk dolgusu cinsi (Gaz konsantrasyonu ≥ 90)			
	Cam	İşinim yayıma oranı, ε		Hava	Argon	Kripton	SFB
Çift cam	Kaplamasız cam (Normal cam)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0
			4-9-4	3,0	2,8	2,6	3,1
			4-12-4	2,9	2,7	2,6	3,1
			4-15-4	2,7	2,6	2,6	3,1
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1
			4-6-4	2,9	2,6	2,2	2,6
	Tek kaplamalı cam	≤ 0,4	4-9-4	2,6	2,3	2,0	2,7
			4-12-4	2,4	2,1	2,0	2,7
			4-15-4	2,2	2,0	2,0	2,7
			4-20-4	2,2	2,0	2,0	2,7
			4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3
			4-9-4	2,3	2,0	1,6	2,4
	Tek kaplamalı cam	≤ 0,2	4-12-4	1,9	1,7	1,5	2,4
			4-15-4	1,8	1,6	1,6	2,5
			4-20-4	1,8	1,7	1,6	2,5
			4-6-4	2,6	2,2	1,7	2,1
			4-9-4	2,1	1,7	1,3	2,2
			4-12-4	1,8	1,5	1,3	2,3
	Tek kaplamalı cam	≤ 0,1	4-15-4	1,6	1,4	1,3	2,3
			4-20-4	1,6	1,4	1,3	2,3
			4-6-4	2,5	2,1	1,5	2,0
			4-9-4	2,0	1,6	1,3	2,1
			4-12-4	1,7	1,3	1,1	2,2
			4-15-4	1,5	1,2	1,1	2,2
Tek kaplamalı cam	≤ 0,05	4-20-4	1,5	1,2	1,2	2,2	
		4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	2,0	
		4-9-4-9-4	2,0	1,9	1,7	2,0	
		4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0	
		4-6-4-6-4	2,0	1,7	1,4	1,6	
		4-9-4-9-4	1,7	1,5	1,2	1,6	
Uçlu cam	Kaplamasız cam (Normal cam)	0,89	4-12-4-12-4	1,5	1,3	1,1	1,6
			4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3
			4-9-4-9-4	1,4	1,2	0,9	1,3
	İki kaplamalı cam	≤ 0,4	4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,4
			4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0	1,2
			4-9-4-9-4	1,3	1,0	0,8	1,2
	İki kaplamalı cam	≤ 0,2	4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2
			4-6-4-6-4	1,6	1,3	0,9	1,1
			4-9-4-9-4	1,2	0,9	0,7	1,1
	İki kaplamalı cam	≤ 0,1	4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2
			4-6-4-6-4	1,6	1,3	0,9	1,1
			4-9-4-9-4	1,2	0,9	0,7	1,1
İki kaplamalı cam	≤ 0,05	4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1	

Kaynak [TS 2164, TS 825]

4b

Cam ve çerçevenin tipine ve toplam ısı geçiş katsayısına göre pencerenin toplam ısı geçiş katsayıları.

Cam tipi	$U_R^{1)}$ ($W/m^2.K$)	U_f ($W/m^2.K$) ²⁾								
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Tek cam	5,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,9
	3,3	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	4,0
Çift cam	3,1	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,9
	2,9	2,6	2,7	2,8	2,8	3,0	3,0	3,1	3,2	3,7
	2,7	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0	3,6
	2,5	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,4
	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	3,3
	2,1	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	3,0
	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,8
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6
	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5
Üçlü cam	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	3,2
	2,1	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,9
	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2	2,8
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6
	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	2,2
	0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0

¹⁾ U_k Camın toplam ısı geçiş katsayısı

²⁾ U_f : Çerçevenin toplam ısı geçiş katsayısı

Kaynak [TS 2164]

4c

Dış ve iç kapılarda toplam ısı geçiş katsayıları.

KAPILAR	U ($W/m^2.K$)
DIŞ KAPILAR	
- Ağaç, plastik	3,5
- Metal (ısı yalıtımlı)	4,0
- Metal (ısı yalıtımsız)	5,5
İÇ KAPILAR	2,0

Kaynak [TS 2164]

5

Isı taşınım katsayısı ve ısı taşınım dirençleri.

	α ($W/m^2.K$)	$1/\alpha$ ($m^2.K/W$)
Doğal hava hareketlerine sahip, kapalı hacimlerin iç yüzeylerindeki ısı taşınım katsayısı		
Divar yüzeyleri, iç ve dış pencereler, döşeme ve tavanlarda ısı geçişi aşağıdan yukarı doğru	$\alpha_i = 7,7$	$1/\alpha_i = 0,13$
Isı geçişi yukarıdan aşağıya doğru	$\alpha_i = 5,9$	$1/\alpha_i = 0,17$
Ortalama rüzgâr hızına uygun olarak dış yüzeylerde ısı taşınım katsayısı	$\alpha_e = 25$	$1/\alpha_e = 0,04$

Kaynak [TS 825]

6

Hava tabakalarının ısı geçiş dirençleri için hesap değerleri.

No	Hava tabakasının durumu ve ısı geçişinin doğrultusu	Hava tabakası kalınlığı d (mm)	Isı taşınım direnci $1/\Lambda$ ($m^2.K/W$)
1	Hava tabakası düşey	10	0,14
		20	0,16
		50	0,18
		100	0,17
		150	0,16
2	↑ Hava tabakası yatay, ısı geçişi aşağıdan yukarı doğru	10	0,14
		20	0,15
		≥ 50	0,16
3	↓ Hava tabakası yatay, ısı geçişi yukarıdan aşağıya doğru	10	0,15
		20	0,18
		≥ 50	0,21

Kaynak [TS 2164]

7

Birleştirilmiş artırım katsayısı ($Z_D = Z_U + Z_A$).

İşletme durumu	İşletme biçimi	D (W/m ² .K) değeri			
		0,11 – 0,34	0,35 – 0,80	0,81 – 1,73	≥ 1,74
Sürekli işletme : Konut, hastane vb. binalarda olduğu gibi ısı üreticisinin, yalnız geceleri ve en çok 8 saat hafifletilerek çalıştırılması	I	7	7	7	7
10 saat kesintili işletme : Okul, büro, işyeri vb. binalarda olduğu gibi, ısı üreticisinin günde 10 saat durdurulması	II	20	15	15	15
14 saat kesintili işletme : Cami, spor salonu vb. binalarda olduğu gibi, ısı üreticisinin günde 14 saat durdurulması	III	30	25	20	15

Kaynak [TS 2164]

8

Yön artırım katsayısı (Z_H).

Yön	G	GB	B	KB	K	KD	D	GD
Artırım miktarı Z_H	-5	-5	0	+5	+5	+5	0	-5

Kaynak [TS 2164]

9

Önerilen kat yükseklik artırımları (Z_W).

Bina Toplam Kat Adedi												Z_W (%)
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	4.3.2.1	5.4.3.2.1	0
4	4	5.4	5.4	5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	7.6.5	8.7.6	5
	5	6	6	7.6	8.7	9.8.7	9.8.7	9.8.7	9.8.7	10.9.8	11.10.9	10
			7	8	9	10	10	11.10	12.11.10	13.12.11	14.13.12	15
							11	12	13	14	15	20

Kaynak [14]

10

Kaliteli ve normal boyutlu kapı ve pencereler için m uzunluk başına (m^3/h) olarak aralıkların a sızdırganlık değerleri.

		m uzunluk başına, a sızdırganlık değeri (m^3/h)
Ağaç ve plastik çerçeveli pencere	Tek pencere	3,0
	Muntabik pencere	2,5
	Sızdırmazlığı garantilenmiş tek ve çift camlı pencere	2,0
Metal çerçeveli pencere	Tek pencere	1,5
	Muntabik pencere	1,5
	Sızdırmazlığı garantilenmiş tek ve çift camlı pencere	1,2
İç kapılar ¹⁾	Sızdırmazlığı olmayan eşiksiz kapı	40
	Sızdırmaz eşikli kapı	15

¹⁾ Dış kapılar, pencere gibi hesaplanır.

Kaynak [TS 2164]

Aralık boylarının yaklaşık belirlenmesi için, l (m) aralık uzunluklarının, A (m^2) pencere veya kapı yüzey alanlarına oranı olan $\omega = l/A$ değerleri.

Yapının şekli	Pencere veya kapının yüksekliği H (m)	$\omega = l/A$ (1/m)
Muhtelif çok kanatlı pencereler	0,50	7,20
	0,63	6,20
	0,75	5,30
	0,88	4,90
	1,00	4,50
	1,25	4,10
	1,50	3,70
	2,00	3,30
İki kanatlı kapı	2,50	3,00
Tek kanatlı kapı	2,10	2,60

Kaynak [TS 2164]

Kanat sayıları, aralık boyları normal büyüklükteki kapı ve pencereli odalar için R oda özeliği değerleri.

Pencere Cinsi	İç kapı	A_d / A_i ¹⁾	R oda özeliği
Ahşap veya plastik çerçeveli pencere	Sızdırır	< 3	0,9
	Sızdırmaz	< 1,5	
Metal çerçeveli pencere	Sızdırır	< 6	
	Sızdırmaz	< 2,5	
Ahşap veya plastik çerçeveli pencere	Sızdırır	3 ile 9	0,7
	Sızdırmaz	1,5 ile 3	
Metal çerçeveli pencere	Sızdırır	6 ile 20	
	Sızdırmaz	2,5 ile 6	

¹⁾ A_d : Dış pencere yüzey alanı ; A_i : İç kapı yüzey alanı.

Kaynak [TS 2164]

H ($W.h/m^3.K$), Yapı ısı özeliği.

		H ($W.h/m^3.K$), Yapı ısı özeliği		Rüzgar hızı (m/s)
		Sıra ev ¹⁾	Tek ev ²⁾	
Normal bölge	Korunmuş durum ³⁾	0,28	0,39	4
	Serbest durum ⁴⁾	0,48	0,67	6
	Olağanüstü serbest durum ⁵⁾	0,70	0,97	8
Rüzgarlı bölge	Korunmuş durum ³⁾	0,48	0,67	6
	Serbest durum ⁴⁾	0,70	0,97	8
	Olağanüstü serbest durum ⁵⁾	0,95	1,31	10

¹⁾ Sıra ev : Birden çok katlı üst üste ya da diletasyonla ayrılmış birden çok katlı yapılar
²⁾ Tek ev : Bir ya da iki katlı villa tipi yapılar
³⁾ Korunmuş durum : Normal genişlikteki cadde ve sokaklarla ayrılmış ve toplu halde inşa edilmiş, yüksekliği diğerlerine göre fazla olmayan yerdeki binalar
⁴⁾ Serbest durum : Bahçeli evler tipinde geniş araziye serpiştirilmiş veya şehir içinde, şehrin diğer kesimlerine göre daha yüksek kotta inşa edilmiş binalar
⁵⁾ Deniz, içdeniz, göl kıyıları, ırmak kenarları veya ağaçsız yüksek kotlu yerdeki binalar.

Kaynak [TS 2164]

Bina yüksekliğine bağlı olarak H ($W.h/m^3.K$), yapı ısı özeliği değerini artıran, E katsayısı.

Yükseklik (m)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70-75	80	85	90-95	100
E	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8

Kaynak [1]

EK-C

ISI KAZANCI HESABINA ESAS PROJELENDİRME KURAL ve TABLOLARI [17]

9. ISI KAZANCI HESABI

Bir yapının mimari tasarımında yer alacak cihazların saptanabilmesinin ilk etabı, proje ön raporudur. Bu rapor mimar ve yatırımcı (mal sahibi) ile tartışılıp yapıda uygulanacak sistem kesinleştirilmelidir. Sistem seçiminin sonradan binada kullanılacak cihazların kapasite tayini için binanın ısı kazancı hesabı yapılmalıdır. Aşağıda bir binanın basit olarak elle yapılabilecek ısı kazancı hesabı anlatılmıştır.

9.1. DIŞ ISI KAZANCI

9.1.1. Güneşten Radyasyonla Olan Isı Kazancı

Güneşten radyasyonla ısı kazancı pencerelerden meydana gelmektedir. Proje üzerinden pencere yön ve büyüklüklerinin belirlenmesi gereklidir. Pencere detayı çıkartılırken binanın iç mimarisine dikkat edilmelidir. İklimlendirilen mekan tek açık ofis şeklinde olabilir veya oda oda ayrılmış da olabilir. Buna göre, A. Pencere boyutları, B. Pencerenin yön durumu öğrenilmelidir. Mahallin güneş radyasyonundan kaynaklanan soğutma yükünü bulmak için pik yükün oluştuğu saati bulmak gerekir.

Örnek 1:

Şekil 9.1'de tek hacimli bir mekan için pencerelerden radyasyonla olan ısı kazancı hesabı örneği verilmiştir.

$$P_1 = 2,5 \text{ m}^2 \quad P_3 = 4,0 \text{ m}^2$$

$$P_2 = 1,8 \text{ m}^2 \quad P_4 = 2,5 \text{ m}^2$$

Doğu cephesindeki Σ pencere alanı: $P_1 + P_2 = 4,3 \text{ m}^2$

Batı cephesindeki Σ pencere alanı : $P_4 = 2,5 \text{ m}^2$

- Pencere yoğunluğu Doğu, KD ve GD cephelerinde fazla ise pik yük saat 8.00 de oluşur.
- Pencere yoğunluğu Batı, KB ve GB cephelerinde fazla ise pik yük saat 16.00 da oluşur.

$\Sigma P_{\text{doğu}} > \Sigma P_{\text{batı}}$ olduğu için pik yük saat 08.00'de oluşur. Pencereden olan ısı kazancı,

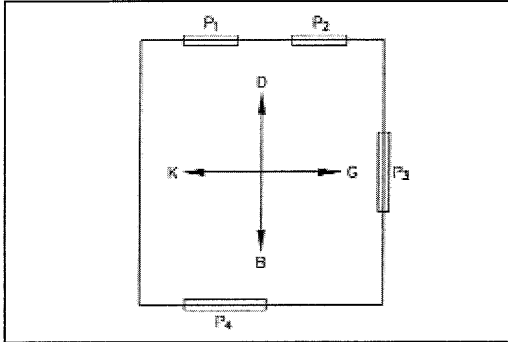
$$Q_R = F \times Q_G$$

olup burada F = (pencere alanı) Q_G = (radyasyonla gelen ısı akısı Watt/ m²)

$$Q_R = 4,3 \times 500 + 4 \times 50 + 2,5 \times 50 = 2475 \text{ Watt.}$$

Örnek 2:

Şekil 9.3'de bölümlü mimarisi olan bir mekan için pencerelerden radyasyonla ısı kazancı hesabı örneği verilmiştir.



Şekil 9.1. ÖRNEK 1 İÇİN MİMARİ PLAN

YÖN	SAAT 08.00	SAAT 12.00	SAAT 16.00
BATI	50	50	500
DOĞU	500	50	50
GÜNEY	50	200	50
KUZEY	50	50	50
KUZEY DOĞU	350	50	50
GÜNEY DOĞU	350	150	50
GÜNEY BATI	50	150	350
KUZEY BATI	50	50	350

Tablo 9.2. Güneş radyasyonu çeşitli yöndeki düşey pencerelere gelen ısı akısı (Watt/m²) 40 °C kuzey enlemi

- Her müstakil alanın pik yük saati aynı aynı hesaplanmalı ve bu pik yükü karşılayacak soğutma gücü her mahal için sağlanmalıdır.
- Katın toplam soğutma yükünün bulunması için kat bazında ayrıca pik yükün oluştuğu saat belirlenmelidir.

a) Mahal 1: Pencere yoğunluğu KB, GB \Rightarrow pik yük 16.00'da oluşur.

$$Q_1 = 3 \times 350 + 4 \times 350 = 2450 \text{ W}$$

Mahal 2: $P_2 \Rightarrow$ KB

$$P_3 \Rightarrow$$
 KD $P_3 > P_2 \Rightarrow$ pik yük 08.00'de oluşur.

$$Q_2 = 3 \times 50 + 4 \times 350 = 1550 \text{ W}$$

Mahal 3: $P_4 \Rightarrow$ KD pik yük 08.00'de oluşur.

$$Q_3 = 5,2 \times 350 = 1820 \text{ W}$$

Mahal 4: $P_5 \Rightarrow$ GD pik yük 08.00'de oluşur.

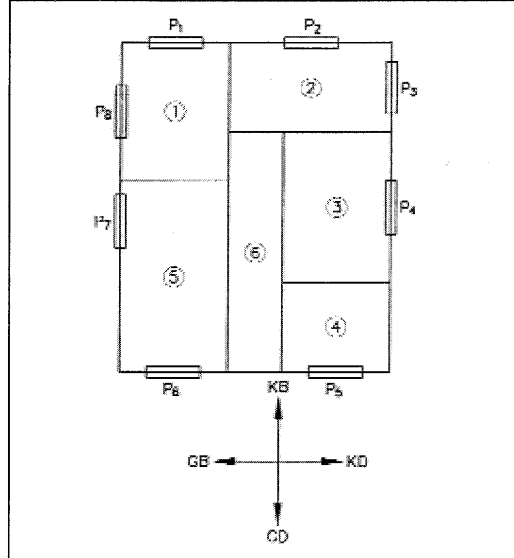
$$Q_4 = 3 \times 350 = 1050 \text{ W}$$

Mahal 5: $P_6 \Rightarrow$ GD

$$P_7 \Rightarrow$$
 GB $P_7 > P_6 \Rightarrow$ pik yük 16.00'da oluşur.

$$Q_5 = 3 \times 50 + 5,2 \times 350 = 1970 \text{ W}$$

Mahal 6: Güneş radyasyonundan gelen bir soğutma yükü yoktur.



Şekil 9.3. ÖRNEK 2 İÇİN MİMARİ PLAN



SÖNÜTÇ: Pencerelerden güneş radyasyonu vasıtasıyla oluşan soğutma yükü 1 ve 5 nolu mahallerde saat 16.00 2, 3 ve 4 nolu mahallerde ise saat 08.00'de oluşmaktadır.

• **Katın pik yük saatini bulmak için:**

$$P_{\text{zaman}} = P_7 + P_8 + P_1 + P_2 = 15,2 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{zaman}} = P_5 + P_6 + P_3 + P_4 = 15,2 \text{ m}^2$$

Görüldüğü üzere pik yükün saat 16.00'da oluştuğu GD/KD cephelerinde toplam pencere yüzeyi ile pik yükün saat 08.00'de oluştuğu GB/KB cephelerindeki toplam pencere yüzeyi eşit çıkmıştır. Bu durumda her iki saat için soğutma yükünü hesap etmek gerekir.

$$Q_{\text{soğ}} = (P_1 + P_2) q_{KB} + (P_3 + P_4) q_{KD} + (P_5 + P_6) q_{GD} + (P_7 + P_8) q_{GB}$$

$$\text{Saat 16.00 için} = 6x350 + 9,2x50 + 6x50 + 9,2x350 = 6 080 \text{ W}$$

$$\text{Saat 08.00 için} = 6x50 + 9,2x350 + 6x350 + 9,2x50 = 6 080 \text{ W}$$

Katın güneş radyasyonu sonucu oluşan pik soğutma yükü saat 08.00 ile saat 16.00 da eşittir. Eğer pencere yüzeyleri farklı veya eşit pencere halinde soğutma yükü farklı olsaydı, büyük olan değer ele alınacaktı. Ele alınan örnekte bunlar eşit olduğundan, katın güneş radyasyonu nedeniyle oluşan pik soğutma yükü, 6 080 W değerindedir. NOT: Soğutma yükü hesabı yapılan yer en üst kat ise çatıdan gelen ısı yükünü hesaplamayı unutmamak gerekir.

Radyasyonla olan ısı kazancını azaltmak için çift cam veya renkli cam kullanılması çok faydalıdır. Pencerelerden radyasyonla olan ısı kazancı hesaplandıktan sonra, Tablo 9.4 yardımıyla camın özelliğine ve gölgeleme faktörüne bağlı olarak net radyasyonla olan ısı kazancı hesaplanır.

$$Q_{RN} = K \times Q_R$$

K = gölgeleme faktörü (Tablo 9.4'den)

Pencereler sürekli gölgede kalıyorsa K = 0,10 alınabilir.

Q_R = Radyasyonla olan ısı kazancı

Q_{RN} = Net radyasyonla olan ısı kazancı.

Pencereler devamlı gölgede kalıyorsa K=0,10 alınabilir.

	Gölgeleme yok	İçte jaluzi veya perde, Açık renk	İçte jaluzi veya perde, Koyu renk	Dışta jaluzi/tente
Normal cam	1.0	0.6	0.75	0.15-0.20
Çift cam	0.9	0.50	0.65	0.15-0.20
Renkli cam	0.40-0.60	-	-	-

Tablo 9.4. PENCERELERDE GÖLGELEME FAKTÖRLERİ

Örnek 3 :

Şekil 9.1'de verilen örnekte toplantı salonunun pencerelerinde içte açık renk jaluzi vardır. Tüm jaluziler pencereleri örtmektedir. Cam cinsi çift camdır. Bu durumda söz konusu mahal için radyasyonla olan ısı kazancı.

$$Q_{RN} = K \times Q_R$$

$$Q_{RN} = 0,5 \times 2.475 = 1237,5 \text{ Watt.}$$

9.1.2. Çatıdan Gelen Yükler

Çatıdan gelen ısı kazancı gün içinde değişim gösterir. Çatıdan gelen ısı kazancını Tablo 9.5'deki veriler ışığında, aşağıdaki formül yardımıyla bulunabilir:

$$Q_{\text{ÇATI}} = K \times F \times \Delta t_{\text{eş}}$$

K = Isı geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

F = Çatı veya teras alanı (m²)

$\Delta t_{\text{eş}}$ = Eşdeğer sıcaklık farkı olup gün içinde zamana bağlı olarak değişir. (°C)

Isı geçirgenlik katsayısı K değerinin çatı yapı bileşenlerine bağlı olarak hesaplanması gereklidir. Yapı bileşenleri bilinmiyorsa pratik olarak aşağıdaki ısı geçirgenlik katsayıları kullanılabilir:

İzolesiz düz çatı veya eğimli çatılarda; K = 2,20 (W/m²k)

İzoleli (2,5 cm) düz veya eğimli çatılarda K = 1,0 (W/ m²k)

İzoleli (5 cm) düz veya eğimli çatılarda K = 0,6 (W/ m²k)

Örnek 4:

Şekil 9.1'deki mahalın binanın en üst katında olduğunu ve çatı alanının da 150 m² ve güneşe maruz 5 cm betonarme+ 5 cm izoleli çatı olduğunu kabul edelim. Çatıdan gelen toplam maksimum ısı kazancı saat 16.00 da oluşacak ve değeri:

$$Q_{\text{ÇATI}} = K \times F \times \Delta t_{\text{eş}}$$

$$= 0,6 \times 150 \times 32 = 2880 \text{ Watt}$$

Şekil 9.1 de pencerelerden güneş radyasyonu sonucu oluşan pik yükün saat 08.00 gerçekleştiğini saptamıştık. Buna karşın çatıdan gelen kazancın pik olduğu saat 16.00 dir. Bu takdirde örneğe tekrar geri dönerek pik saati kontrol etmek gerekir.

Saat 8.00 de $Q_{\text{rad}} = 2475 \text{ Watt}$

$$Q_{\text{çatı}} = 0,6 \times 150 \times 3,3 = 297 \text{ Watt}$$

$$Q_{\text{rad}} + Q_{\text{çatı}} = 2475 + 297 = 2772 \text{ watt}$$

Saat 16.00 $Q_{\text{rad}} = P_4 \times q_{\text{in}} = 2,5 \times 500 = 1250 \text{ Watt}$

$$Q_{\text{çatı}} = 2880 \text{ Watt}$$

$$Q_{\text{rad}} + Q_{\text{çatı}} = 1250 + 2880 = 4130 \text{ Watt}$$

Görüldüğü üzere saat 16.00 oluşan $Q_{\text{rad}} + Q_{\text{çatı}}$ değeri saat 08.00 den fazladır; o halde Örnek 1'deki toplantı salonunun en üst katta olması halinde mahaldeki pik yük saat 16.00'da oluşmaktadır.

9.1.3. Duvar ve Pencerelerden Konveksiyonla Olan Isı Kazancı

Duvarlardan konveksiyonla ısı kazancı

Proje üzerinden duvar yön ve büyüklüklerinin çıkartılması gereklidir. Duvar detayı çıkartılırken binanın iç mimarisine dikkat edilmelidir. Klima edilen mekan tek açık ofis şeklinde olabilir veya oda oda ayrılmış da olabilir. Duvardan konveksiyonla ısı kazancı aşağıdaki formül yardımıyla yapılabilir.

$$Q_{\text{duv}} = K \times F \times \Delta t_{\text{eş}} \text{ (W)}$$

K = ısı geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

F = duvar alanı (m²)

$\Delta t_{\text{eş}}$ = eşdeğer sıcaklık olup gün içerisinde zamana bağlı olarak değişir. (°C)

Isı geçirgenlik katsayısı, yapı elemanları bilinmiyorsa aşağıda formül yardımıyla hesaplanabilir:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_d}$$

α_i = ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

d = duvar kalınlığı (m)

λ = ısı iletkenliği hesap değeri (W/mK)

Çatı konstrüksiyonunun cinsi	Güneş zamanı								
	öğleden önce			öğleden sonra					
	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Hafif konstrüksiyonlu çatılar - Güneşe maruz									
2.5 cm tahta veya 2.5 cm tahta + 5 cm izolasyon	6,7	21,1	30,0	34,4	27,8	14,4	5,6	2,2	0,0
Orta konstrüksiyonlu çatılar - Güneşe maruz									
5 cm betonarme veya 5 cm betonarme+ 5 cm izolasyon	3,3	17	27	28	32	18	7,8	3,3	1,1
5 cm alçı veya 5 cm alçı + 2,5 cm izolasyon	0,0	11,1	22,2	28,9	30,0	23,3	11,1	5,6	3,3
5 cm tahta veya 5 cm betonarme + 10 cm cam yünü kaplı tavan.									
Ağır konstrüksiyonlu çatılar - Güneşe maruz									
15 cm betonarme	2,2	3,3	13,3	21,1	23,6	24,4	17,8	10,0	6,7
15 cm betonarme+5 cm izolasyon	3,3	3,3	11,1	18,9	23,3	24,4	18,9	11,1	7,8
Gölgedeki çatılar									
Hafif konstrüksiyonlar	-3,2	0,0	3,3	6,7	7,8	6,7	4,4	1,1	0,0
Orta konstrüksiyonlar	-2,2	-1,1	1,1	4,4	6,7	6,7	5,6	3,3	1,1
Ağır konstrüksiyonlar	-1,1	-1,1	0,0	2,2	4,4	5,6	5,6	4,4	2,2

Tablo 9.5 GÜNEŞE MARUZ VE GÖLGEDEKİ ÇATILARA AİT ISI KAZANCININ HESAPLANMASI İÇİN, (Δ_{tes}) EŞDEĞER SICAKLIK FARKLARI (TABLO 40° KUZEY ENLEMİ İÇİN GEÇERLİDİR)

α değeri ısı geçiş yönüne bağlı olarak Tablo 9.6'dan alınabilir.
Duvar yapı bileşenleri bilinmiyorsa ısı geçirgenlik katsayısı için pratik olarak aşağıdaki değerler alınabilir:
İzoleli (3 cm strophor veya camyünü izoleli) 20 cm. delikli tuğla veya
20 cm. İzobims / Ytong duvarlarda: $K = 0,75 \text{ W/m}^2\text{k}$
İzolesiz 20 cm delikli tuğla duvarlarda: $1,60 \text{ W/m}^2\text{k}$
İzolesiz 20 cm dolu tuğla duvarlarda: $2,3 \text{ W/m}^2\text{k}$
İzolesiz 20 cm betonarme duvarlarda: $2,9 \text{ W/m}^2\text{k}$
 Δ_{tes} değeri Tablo 9.7'den, duvar alanının en fazla olduğu yöne göre en fazla hangi saatte oluşuyorsa, söz konusu değer okunabilir. Δ_{tes} değeri okunurken duvar rengi göz önüne alınmalıdır.

Pencerelerden konveksiyonla olan ısı kazancı:

$$Q_{pen} = K \times F \times \Delta_t$$

K = Pencere ısı iletim katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$) pencere özelliklerine bağlı olarak Tablo 9.8 den alınabilir.

Yüzey ve ısı akım yönü	Isı taşınım katsayısı ($\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)
1 Duvar yüzeyleri iç tarafında	7
2 Dış pencere yüzeyleri iç tarafında	10
3 Isı akımı aşağıdan yukarıya olan döşeme yüzeyleri	7
4 Isı akımı yukarıdan aşağıya olan döşeme yüzeyleri	5
5 Dış yüzeylerde	20

Tablo 9.6 İÇ VE DIŞ HAVA TARAFINDAKİ ISI TAŞINIM KATSAYILARI

F = Toplam pencere alanı (m^2)

Δ_t = iç - dış sıcaklık farkı. Tablo 9.9 ve 9.10'dan yararlanarak alınabilir. Pratikte bu değer 8°C olarak kabul edilir.

Klimatize edilmeyen mahaller ile olan sıcaklık farkları;

Klimatize edilmeyen komşu mekanlardan olan ısı kazancı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$Q = K \times F \times \Delta_t$$

K = ısı iletim katsayısı ($\text{Watt/m}^2\text{k}$)

F = komşu duvar alanı (m^2)

Δ_t = sıcaklık farkı (Tablo 11'den alınabilir.)

9.1.4. Havalandırmadan Dolayı Gelen Soğutma Yüğü

Yaşam mahallerinde kullanılan halı, kağıt, elektronik eşyalar, ter ve deri döktüntülerinden oluşan kirlenme konfor şartlarını etkilemektedir. Ortamın uygun sıcaklıklar arasında tutulması her zaman konfor şartlarını sağlamaz. Bu bakımdan havalandırma şartının 12 ay boyunca sağlanması gereklidir. Taze hava miktarının belirlenmesinde mahallin amacı (büro, konut, sinema, çarşı, restaurant, bar vb.) önemli rol oynar.

Taze hava bağlantılarının her zaman maksimumda tutulup ayarlanabilir olması idealdir. Bunu sağlamak için kullanılacak taze hava vantilatörü hız anahtarı ile ayarlanabilir olması gerekmektedir. Özellikle dış hava sıcaklıklarının düşük olduğu gece ve bahar aylarında daha fazla taze hava alarak soğutma kapasitesini arttırmak mümkündür. (free cooling) Tablo 9.12'de kişi başına alınabilecek hava miktarları verilmiştir.



*UZUN KURSUZ DUVAR KÖNER	Güneş zamanı														Güney yarım küresi duvar yönleri			
	Öğleden önce							Öğleden sonra										
	8	10	12	14	16	18	20	22	24									
Duvar rengi		K = koyu A = açık																
	K	A	K	A	K	A	K	A	K	A	K	A	K	A	K	A	K	A

23 cm boşluklu tuğla yahut 20 cm briket

KD	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	5,6	8,9	5,6	5,6	3,3	6,7	5,6	7,8	6,7	6,7	5,6	4,4	4,4	GD
D	2,2	1,1	6,7	2,2	10,5	6,7	14,4	7,8	11,1	6,7	6,7	5,6	7,8	6,7	7,8	5,6	5,6	4,4	D
GD	1,1	0,0	1,1	0,0	8,9	4,4	11,1	6,7	11,1	7,8	7,8	6,7	7,8	6,7	6,7	5,6	4,4	3,3	KD
G	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	6,7	3,3	13,3	14,4	14,4	8,9	11,1	7,8	6,7	5,6	4,4	3,3	K
GB	1,1	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	3,3	2,2	6,7	14,4	14,4	10,0	16,7	11,1	14,4	10,0	4,4	3,3	KB
B	2,2	1,1	2,2	1,1	2,2	1,1	3,3	2,2	5,6	10,0	10,0	7,8	16,7	12,2	17,8	12,2	10,0	7,8	B
KB	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	2,2	1,1	4,4	6,7	6,7	5,6	12,2	10,0	16,7	12,2	5,6	4,4	GB
K (gölge)	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	0,0	0,0	3,3	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	3,3	3,3	G (gölge)

23 cm dolu tuğla yahut 35 cm boşluklu tuğla yahut 30 cm briket

KD	1,1	1,1	1,1	1,1	5,6	1,1	8,9	4,4	7,8	4,4	5,6	3,3	5,6	4,4	5,6	5,6	5,6	4,4	GD
D	4,4	5,3	4,4	4,4	7,8	4,4	1,0	5,6	10,0	5,6	7,8	4,4	7,8	5,6	7,8	5,6	6,7	5,6	D
GD	4,4	2,2	3,3	3,3	3,3	2,2	7,8	5,6	10,0	6,7	8,9	6,7	6,7	5,6	6,7	5,6	6,7	5,6	KD
G	2,2	2,1	2,2	2,2	2,2	1,1	2,2	1,1	5,6	3,3	8,9	5,6	8,9	6,7	6,7	5,6	5,6	4,4	K
GB	4,4	2,2	3,3	3,3	3,3	2,2	4,4	2,2	5,6	3,3	6,7	4,4	11,1	6,7	13,3	8,9	11,1	7,8	KB
B	4,6	2,2	3,3	3,3	3,3	3,3	4,4	3,3	5,6	3,3	7,8	4,4	11,1	8,9	13,3	8,9	13,3	8,9	B
KB	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,2	1,1	3,3	2,2	4,4	3,3	5,6	4,4	8,9	7,8	10,0	7,8	GB
K (gölge)	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1	3,3	3,3	4,4	4,4	4,4	4,4	3,3	3,3	G (gölge)

33 cm tuğla duvar

KD	4,4	3,3	4,4	3,3	4,4	2,2	4,4	2,2	5,6	2,2	6,7	3,3	6,7	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	GD
D	6,7	4,4	6,7	4,4	6,7	4,4	5,6	3,3	6,7	4,4	7,8	5,6	7,8	5,6	7,8	4,4	7,8	4,4	D
GD	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	6,7	4,4	7,8	5,6	7,8	5,6	6,7	4,4	KD
G	4,4	3,3	4,4	3,3	3,3	2,2	3,3	2,2	3,3	2,2	4,4	2,2	5,6	3,3	6,7	4,4	6,7	4,4	K
GB	3,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	4,4	5,6	4,4	6,7	4,4	7,8	5,6	KB
B	6,7	4,4	6,7	4,4	6,7	4,4	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	6,7	4,4	8,9	5,6	B
KB	4,4	3,3	4,4	3,3	4,4	2,2	4,4	2,2	4,4	2,2	4,4	2,2	4,4	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	GB
K (gölge)	2,2	2,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,2	2,2	3,3	3,3	G (gölge)

20 cm betonarme yahut taş yahut 15 veya 20 cm beton blokları

KD	2,2	1,1	2,2	0,0	8,9	4,4	7,8	4,4	5,6	3,3	6,7	4,4	6,7	5,6	5,6	4,4	4,4	3,3	GD
D	3,3	2,2	7,8	4,4	13,3	6,7	13,3	6,7	10,0	5,6	7,8	5,6	7,8	5,6	6,7	5,6	5,6	4,4	D
GD	3,3	1,1	3,3	3,3	8,9	5,6	10,0	6,7	10,0	6,7	7,8	6,7	6,7	5,6	6,7	5,6	5,6	4,4	KD
G	1,1	0,6	1,1	1,1	2,2	0,6	6,7	3,3	8,9	6,7	10,0	6,7	7,8	6,7	5,6	4,4	4,4	3,3	K
GB	3,3	1,1	2,2	2,2	3,3	1,1	4,4	2,2	7,8	5,6	12,2	8,9	13,3	8,9	12,2	8,9	5,6	4,4	KB
B	3,3	2,2	3,3	3,3	3,3	2,2	4,4	3,3	6,7	4,4	11,1	7,8	15,6	10,0	14,4	10,0	7,8	5,6	B
KB	4,0	1,1	2,2	2,2	2,2	1,1	2,2	2,2	3,3	3,3	6,7	5,6	11,1	7,8	12,2	8,9	4,4	3,3	GB
K (gölge)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1	2,2	2,2	3,3	3,3	4,4	4,4	3,3	3,3	2,2	2,2	G (gölge)

30 cm betonarme yahut taş

KD	3,3	2,2	3,3	1,1	3,3	1,1	7,8	4,4	7,8	4,4	5,6	4,4	5,6	4,4	6,7	5,6	5,6	4,4	GD
D	5,6	3,3	4,4	3,3	5,6	3,3	10,0	5,6	10,0	6,7	8,9	5,6	6,7	5,6	7,8	5,6	7,8	5,6	D
GD	4,4	2,2	4,4	2,2	3,3	2,2	7,8	4,4	8,9	5,6	8,9	5,6	7,8	5,6	6,7	5,6	6,7	5,6	KD
G	3,3	2,2	2,2	1,1	2,2	1,1	2,2	1,1	5,6	3,3	7,8	5,6	8,9	6,7	7,8	5,6	4,4	4,4	K
GB	4,4	2,2	4,4	2,2	3,3	2,2	3,3	2,2	4,4	3,3	5,6	4,4	10,0	7,8	11,1	7,8	10,0	6,7	KB
B	5,6	3,3	4,4	3,3	4,4	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	6,7	4,4	8,9	5,6	13,3	7,8	12,2	7,8	B
KB	3,3	2,2	3,3	1,1	3,3	1,1	3,3	2,2	3,3	2,2	4,4	3,3	5,6	4,4	10,0	6,7	11,1	7,8	GB
K (gölge)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1	2,2	2,2	3,3	3,3	4,4	4,4	3,3	3,3	G (gölge)

Tablo 9.7. GÜNEŞE MARUZ VE GÖLGEDEKİ DUVARLARA AİT ISI KAZANCININ HESAPLANMASI İÇİN (Δt_{g}) EŞDEĞER SICAKLIK FARKLILIKLARI

Pencereler ve Kapılar	Isı geçirme katsayısı (kcal/hm ² °C)
Ahşap pencere ve kapılar	
Basit tek camlı pencere ve dış kapı	4.5
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 6 mm)	2.8
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 12 mm)	2.5
Camsız dış kapı	3.0
Kasalı çift kanatlı pencere ve dış kapı	2.2
Metal pencere ve kapılar	
Basit tek camlı pencere ve dış kapı	5.0
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 6 mm)	3.4
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere ve dış kapı (iki cam arası 12 mm)	3.1
Kasalı çift kanatlı pencere ve dış kapı	2.8
Plastik (PVC) pencereler	
Basit tek camlı pencere	4.3
Özel birleştirilmiş çift camlı pencere	2.2

Tablo 9.8. PENCERE VE KAPILARIN ISI GEÇİRME KATSAYISI.

Havalandırmadan dolayı gelen soğutma yükü:

Duyulur ısı kazancı $Q_d = 4 \times n \times v$ (Watt)

Gizli ısı kazancı $Q_g = 3 \times n \times v$ (Watt)

$Q_T = 7 \times n \times v$ (Watt)

n = insan sayısı

v = insan başına gerekli hava miktarı (m³/h)

9.2. İÇ ISI KAZANCI

İç ısı enerji kaynakları, bir alanın toplam ısı kazancını oldukça artırabilirler. Tamamen izole, dış ortamla herhangi bir ilişkisi olmayan bir iç alanda, bütün ısı kazancı iç kaynaklardan olacaktır. İç ısı kaynaklarını insanlar, aydınlatma, pişirme cihazları ve elektrikli makineler gibi genel kategoriler halinde ayırabiliriz.

Bütün iç ısı kaynaklarının tam olarak tanımlanamaması ısı kazancının oldukça küçük olmasına, iç ısı kaynaklarının çok marjlı seçilmesi ise oldukça büyük yükler alınmasına sebep olabilir. Her iki durum da istenmemektedir. İç ısı kazancı hesabındaki zorluk insanların, aydınlatma yükünün ve ekipman yükünün ne zaman olduğunu tam bilememekten kaynaklanır. Örneğin, büyük bir ofiste bütün çalışanların her an bulunacağını, bütün aydınlatmanın ve ekipmanların hepsinin aynı anda çalışacağını varsayılması doğru olmayacaktır. Ama, binadaki belirli bir oda için toplam insanların yerinde olduğu, aydınlatma ve ekipmanın tam yükte çalıştığı varsayılarak odanın toplam ısı kazancı hesabı yapılır. Özetle, her hangi bir oda tam yükli olabilir ama bütün bina hiçbir zaman tam yükli olmayacaktır. Buna göre, hava soğutma ve dağıtma sistemleri alan yüklerini tam karşılayacak şekilde dizayn edilmeli, ama merkezi soğutma sistemi farklı zamanlarda kullanımları göz önüne alarak, daha düşük kapasiteli olarak dizayn edilmelidir. Bütün binaların iç yük dağılımı ve kullanılması zamanı eldeki bilgiler, tecrübe ve yargı kullanılarak belirlenmelidir.

Şehirler	KİŞ		YAZ	
	Dış hesap sıcaklığı°C	Rüzgar durumu	Kuru ter. Sıcaklığı°C	Yaş ter. Sıcaklığı°C
Adana	0	R	38	26
Adapazarı	-3	R	35	25
Afyon	-12	R	34	21
Ankara	-12	R	34	20
Antakya	0	R	37	28
Antalya	3	R	39	28
Aydın	-3	R	40	26
Balıkesir	-3	R	37	25
Bandırma	-6	R	34	25
Bilecik	-9	R	34	23
Bolu	-15	R	33	23
Burdur	-9	R	36	21
Bursa	-6	R	37	25
Çanakkale	-3	R	34	25
Çankırı	-15	R	37	23
Çorum	-15	R	35	22
Denizli	-6	R	38	24
Diyarbakır	-9	R	43	23
Edirne	-9	R	37	25
Elazığ	-12	R	38	21
Erzincan	-18	R	36	22
Erzurum	-21	R	30	19
Eskişehir	-12	R	34	22
G.Antep	-9	R	39	23
Giresun	-3	R	29	25
Iğdır	-18	R	36	25
Isparta	-9	R	34	21
İskenderun	3	R	37	29
İstanbul	-3	R	33	24
İzmir	0	R	37	24
Kars	-27	R	30	20
Kastamonu	-12	R	34	22
Kayseri	-15	R	36	22
Kırşehir	-12	R	35	21
Kocaeli	-3	R	36	25
Konya	-12	R	34	21
Kütahya	-12	R	33	21
Malatya	-12	R	38	21
Manisa	-3	R	40	25
Mardin	-6	R	38	23
Mersin	3	R	35	29
Muğla	-3	R	37	22
Niğde	-15	R	34	20
Rize	-3	R	30	26
Samsun	-3	R	32	25
Siirt	-9	R	40	23
Sinop	-3	R	30	25
Sivas	-18	R	33	20
Tekirdağ	-6	R	33	25
Trabzon	-3	R	31	25
Urfa	-6	R	43	24
Uşak	-9	R	35	22
Van	-15	R	33	20
Yozgat	-15	R	32	20
Zonguldak	-3	R	32	25

Tablo 9.9. İLLERE BAĞLI PROJE SICAKLIKLARI



DIŞ HAVA SICAKLIĞI °C	ODA SICAKLIĞI °C	ODA NEMİ %
20	20	80
22	21	75
24	22	72
25	22,5	70
26	23	68
28	24	64
30	25	60
32	26	50
34	27	45
36	28	40-30
38	29	40-30
40	30	35-30

Tablo 9.10. KONFOR KLİMASINDA DIŞ HAVA SICAKLIKLARINA BAĞLI ODA İÇ SICAKLIKLARI VE NEM ORANLARI

Cinsi	Sıcaklık farkı °C
Klimatize edilmeyen mahallere bitişik duvarlar	5,5
Mutfak, kazan dairesi, çamaşırhane gibi mahallere bitişik duvarlar	14
Klimatize edilmeyen mahallerin üstündeki döşemeler	5,5
Toprak üstündeki döşemeler	0
Mutfak, kazan dairesi, çamaşırhane gibi mahallerin üstündeki döşemeler	19,5
Üstünde klimatize edilmeyen mahal bulunan tavanlar	5,5
Üstünde mutfak çamaşırhane gibi kısımlar bulunan tavanlar	11

Tablo 9.11. KLİMATİZE EDİLMİYEN MAHALLER İLE OLAN SICAKLIK FARKLARI

Mahaller	İnsan sayısı Kişi/100 m ²	Kişi başına min. taze hava m ³ /h.
Restoranlar	80-100	50-60
Barlar, kokteyl salonu	100	50-60
Konferans, toplantı salonu	60	35
Ofisler	10-15	35
Kumarhaneler	120	50
Mağazalar, showromlar	20	20
Süpermarket	20	25
Tiyatrolar, sinemalar	150	25
Kütüphaneler	20	25
Sınıflar (okullar)	50	25
Spor salonları	40	50
Diskotekler, balo salonları	100	50
Ocakbaşı	35	50-60
Sinema	Koltuk sayısına bağlı	25-50
Berber, kuaför	25	50

Tablo 9.12. KİŞİ BAŞINA TAZE HAVA MİKTARLARI

9.2.1. İnsanlardan Gelen Isı Kazancı

İnsandan gelen ısı kazancı duyulur ve gizli ısı olarak iki kısma ayrılır. Duyulur ve gizli ısının toplamı, yapılan aktivitenin türüne göre değişmektedir. Genel olarak, duyulur ısının oranı aktivitenin miktarının artmasıyla artar. Tablo 9.13'de klimatize edilen mekânlardaki insanların oluşturduğu ısı kazancı değerleri verilmiştir.

MAHALLER	DUYULUR	GİZLİ	TOPLAM
Okullar, tiyatro, sinema	70	40	110
Ofisler, konutlar, oteller	70	60	130
Mağazalar, dükkanlar	70	60	130
Bankalar	75	70	145
Restoranlar	80	80	160
Diskotekler, barlar	95	150	245
Spor salonları	150	275	425

Tablo 9.13 İNSANLARDAN OLAN ISI KAZANCI (W/kişi)

9.2.2. Aydınlatmadan Oluşan Isı Kazancı

Aydınlatma genel olarak iç ısı kazancının en önemli elemanı olduğundan, doğru bir iç ısı kazancı hesabı için aydınlatma yükünün iyi hesaplanması gerekmektedir. Herhangi bir andaki ısı kazancının oranı, ortamdaki aydınlatmaya sağlanan o anki güçten oldukça farklı olabilir. Lambalar gibi ışık kaynaklarının yuvalarıyla ilgili elemanlardan yüklü bir ilave geliyor olsa da, aydınlatmadan gelen ısının ana kaynağı ışık yayan elementler veya lambalardır. Klima yapılan hacimlerdeki aydınlatma tesisatından gelen ısı kazancı:

$$Q_A = (Q_{TA} \times k_1 \times k_2)$$

$$Q_{TA} = \text{Mahaldeki toplam aydınlatma gücü (W)}$$

$$k_1 = \text{Kullanma faktörü}$$

$$k_2 = \text{Özel armatür faktörü 1,0-1,2}$$

Aydınlatmadan gelen ısı kazancının hesabında en önemli konu kullanma faktörünün tayinidir. Ofis, mağaza, dükkan, konferans ve toplantı salonları gibi ticari binalarda $k_1 = 1$ olarak alınacaktır. Konut ve otel odalarında güneş yükünün maksimum olduğu saatlerde, genellikle çok düşük aydınlatma yapıldığı için, aydınlatmadan gelen yükler aşırı olmadığı sürece ihmal edilebilir. Keza sinema ve tiyatrolarda da sahne aydınlatması hariç genel aydınlatma ihmal edilebilir. Aydınlatmadan dolayı m² ye gelen yükler için aşağıdaki tecrübi değerler kullanılabilir.

Konutlar, otel odaları	: 20 W/m ²
Ofisler, konferans salonları	: 30-50 W/m ²
Mağazalar, showromlar	: 100-150 W/m ²
Süpermarketler (yiyecek bölümü)	: 60-80 W/m ²
(avize bölümü)	: 600-900 W/m ²
(elektronik eşya)	: 300-500 W/m ²

9.2.3. Cihazlardan gelen ısı kazancı;

Klimatize edilen alanın içindeki bir ekipman elektrik motoru ile çalıştırılıyorsa, ısı eşdeğeri aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır:

$$q_m = (P/E_m) \cdot F_1 \cdot F_u$$

$$q_m = \text{motor ısı eşdeğeri, (kW)}$$

$$P = \text{motor gücü (kW)}$$

$$E_m = \text{motorun verimi, ondalık oran olarak } < 1,0$$

YAPI CİNSLERİ	Duyulur Isı Oranı			Toplam Soğutma Yüğü kcal/m ² h			Oda Duyulur Isısı kcal/m ² h			Yoğunluk m ² / Şahıs			Aydınlatma Watt / m ²			Kişi Başına Toplam Soğutma Ton / Şahıs			Havalandırma m ³ / h, m ²		
	Düş.	Nor.	Yük.	Düş.	Nor.	Yük.	Düş.	Nor.	Yük.	Düş.	Nor.	Yük.	Düş.	Nor.	Yük.	Düş.	Nor.	Yük.	Düş.	Nor.	Yük.
Apartmanlar, otel odaları	0.80	0.84	0.94	35	54	81	24	33	46	9.3	16.3	30.2	2.2	6.5	9.7	0.446	0.58	0.72	9.1	12.8	16.5
Sanat müzeleri ve kütüph.	0.80	0.83	0.90	81	138	203	54	95	422	3.7	5.6	7.4		10.8	21.5	0.12	0.23	0.40	16.8	29.3	38.4
Bankalar (özel ofisler hariç)	0.75	0.83	0.88	95	146	203	57	103	130	3.7	5.5	7.4	9.4	16.1	24.7	0.135	0.258	0.405	20.1	36.6	45.7
Büyük mağazalar																					
Bodrum kat	0.65	0.73	0.85	65	92	106	43	57	71	1.9	2.3	2.8	8.5	20.4	22.6	0.066	0.113	0.126	13.7	18.3	22.0
Zemin kat	0.72	0.80	0.88	71	108	163	49	81	117	1.5	2.3	4.1	15.4	32.3	54.9	0.078	0.108	0.145	15.5	25.6	36.6
Üst katlar	0.74	0.82	0.94	65	84	108	43	57	71	3.6	5.2	6.8	12.8	20.4	32.3	0.107	0.125	0.227	13.7	18.3	22.0
Oteller genel hacimler	0.74	0.82	0.89	87	144	201	54	98	125	3.7	5.4	7.2	9.1	12.9	23.7	0.13	0.24	0.41	16.8	31.1	38.4
Ofis binaları	0.84	0.91	0.93	62	98	141	52	71	100	7.5	10.2	12.1	8.9	17.7	28.0	0.204	0.283	0.389	18.3	23.8	34.8
Ofisler küçük odalar	0.82	0.89	0.93	89	122	174	65	89	117	4.6	6.8	11.9	5.7	15.5	36.6	0.195	0.308	0.463	22.0	31.1	40.2
Lokantalar	0.65	0.72	0.80	244	320	420	108	141	217	1.2	1.4	1.6	16.1	18.3	21.5	0.121	0.164	0.225	32.9	43.9	67.7
Özel dükkanlar																					
Berber ve güzellik salonları	0.69	0.80	0.91	136	206	317	89	152	244	2.3	3.8	4.3	29.3	54.9	100.0	0.140	0.262	0.392	27.4	47.6	76.8
Elbise, konfeksiyon	0.70	0.796	0.85	95	117	176	54	71	95	2.8	3.7	4.6	8.0	19.0	37.7	0.087	0.143	0.271	16.5	22.0	29.3
Eczane	0.66	0.72	0.79	182	239	296	108	136	146	1.6	2.1	3.3	10.8	19.7	26.9	0.180	0.198	0.240	32.9	42.1	54.9
Oyun salonları	0.65	0.725	0.825	95	149	271	41	84	114	1.4	2.2	3.3	12.3	26.9	58.1	0.075	0.102	0.168	12.8	25.6	36.6
Şapka	0.72	0.79	0.86	103	122	176	60	76	108	2.8	3.7	4.6	8.1	19.4	29.1	0.088	0.145	0.273	18.3	23.8	34.8
Ayakkabı	0.74	0.795	0.877	108	149	217	71	95	122	1.8	2.8	4.6	12.9	19.4	32.3	0.100	0.146	0.185	22.0	29.3	38.4
Tiyatrolar, auditoryumlar	0.65	0.70	0.722	160	168	178	82	91	97	0.563	0.709	1.804	-	-	-	0.053	0.055	0.059	26	34	51
Okullar, kolejler, üniversite										1.9	2.3	2.8	21.5	43.1	64.6	0.085	0.134	0.201	18.3	29.3	40.3
Fabrika: Makina alanları										2.3	3.3	4.6	32.3	48.4	64.6	0.103	0.237	0.547	36.6	65.9	101
Hafif imalat										9.3	13.9	18.6	96.9	10.8	12.9	0.500	1.000	2.000	29.3	45.8	69.5
Ağır imalat										18.6	23.2	27.9	16.1	48.4	64.6	2.000	3.135	4.982	45.8	73.2	119
Hastaneler: Hasta odaları										2.3	4.6	7.0	10.8	16.1	21.5	0.090	0.225	0.458	6.0	10.1	12.3
Genel hacimler										4.6	7.4	9.3	10.8	16.1	21.5	0.282	0.569	0.912	18.3	22.9	26.5
Konutlar : Büyük										19.6	38.2	56.7	10.8	21.5	53.8	0.352	0.822	1.606	14.6	22.0	29.3
Orta										19.6	33.5	56.7	7.5	16.1	32.3	0.302	0.656	1.524	12.8	20.1	25.6

Tablo 9.14. SOĞUTMA YÜKÜ HESAPLARINDA, BULUNAN DEĞERLERİN KONTROLÜ İÇİN (DEĞER MUKAYESE TABLOSU)

F_1 = motor-yük faktörü

F_u = motor-kullanma faktörü

Motor-kullanma faktörü, motorun işletme saatleri arasında kayda değer sürelerce çalışmadığı biliniyorsa (örneğin, kapı açma cihazı gibi) kullanılabilir. Ticari uygulamalar için 1,0 olarak alınır.

Motor-yük faktörü, soğutma yükü hesabının şartları altındaki verilen yükün oranını verir. Yukarıdaki formülde motorun ve cihazın aynı klimatize edilen alanda olduğu varsayılmıştır. Eğer cihaz klimatize alanın içindeyken motor alanın veya hava akımının dışında ise formül aşağıdaki şekle gelecektir:

$$q_m = P \cdot F_1 \cdot F_u$$

Eğer motor içeride, motorla çalışan ekipman klimatize edilen alanın veya hava akımının dışında ise formül aşağıdaki şekle gelecektir:

$$q_m = P \cdot [(1,0 - E_m) / E_m] \cdot F_1 \cdot F_u$$

Bu formül, klimatize alandan dışarı hava veya sıvı atan, alan için-

deki fan veya pompa için de geçerlidir. Uygulama alanındaki voltaj, cihazların plakalarında yazan voltaj değerinden daha az veya yüksek olabilir. Her iki durumda da verim düşecektir. Eğer elektrik motorunun yükü, toplam soğutma yükünün belli bir kısmını oluşturuyorsa, verim değeri üreticiye danışılmalıdır. Ayrıca, tasarıma bağlı olarak, maksimum verim toplam yükün %75 ile %110'u arasında oluşur; eğer az veya aşırı yüklemeye yapılırsa verim değeri üreticinin listesindeki değerden farkedebilir.

Bir motorun oluşturduğu ısı genelde aşırı yüklemeye limitleri içindeyken motor yüküyle doğru orantılıdır. Tipik yüksüz motorlarda, sabit kayıplar ve diğer sebeplerden dolayı F_1 bire eşit olarak alınır. Durum sabitlenmediyse az veya aşırı yüklemeye durumları için düzeltme yapmaya gerek yoktur. F_1 doğru olarak belirlenebilir ve azaltılmış yük verimi verileri motor üretici firmadan elde edilebilir. Üreticinin teknik verileri aksini söylemedikçe, soğutma yükü hesapları için ısı

KULLANIM ÖZELLİĞİ	YAPI ÖZELLİĞİ	ISI KAZANCI HESABI
Ev Banka şubesi Büro Toplantı salonu(küçük) Mağaza(küçük)	Yeni bina Pencereler çift camlı İzotüçla ve izoleli duvar İzoleli çatı Özellikle girdirme cephe değil Boydan boya cam değil ise	Klimatize edilecek alanın M ² 'si başına 100 kcal/h m ²
Ev Banka şubesi Büro Toplantı salonu(büyük) Mağaza(büyük)	Eski bina Tek camlı pencere İzolesiz duvar İzolesiz çatı Giydirme cephe Boydan boya cam	Klimatize edilecek alanın M ² 'si başına 130 kcal/h m ²
Restaurant Kafeterya Konferans salonu	Yeni bina Pencereler çift camlı İzotüçla ve izoleli duvar İzoleli çatı Özellikle girdirme cephe değil Boydan boya cam değil ise	80 kcal/h m ² + (insan sayısı x 100 kcal/h)
Sinema salonu	Yeni bina Pencereler çift camlı İzotüçla ve izoleli duvar İzoleli çatı Özellikle girdirme cephe değil Boydan boya cam değil ise	İnsan sayısı x 100 kcal/h
Bar Gece kulübü Diskotek	Yeni bina Pencereler çift camlı İzotüçla ve izoleli duvar İzoleli çatı Özellikle girdirme cephe değil Boydan boya cam değil ise	İnsan sayısı x 200 kcal/h Bu mahallerde ayrıca elektrik ve aydınlatma yükü hesaba alınmalıdır.

Tablo 9.15 GLOBAL ISI KAZANCI DEĞERLERİ (HAVALANDIRMA KAZANÇLARI HARİÇ)

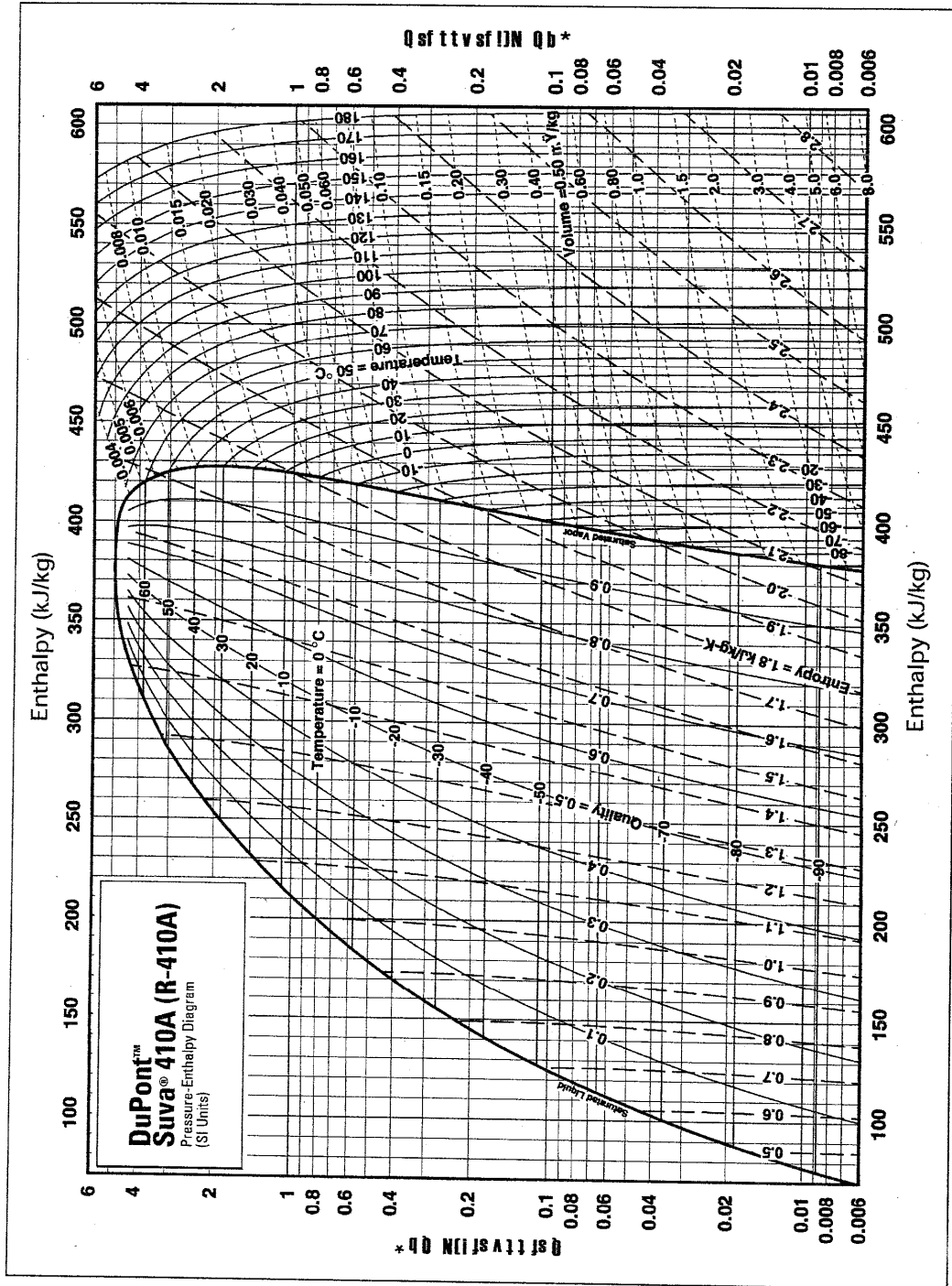
kazancının %70'i radyasyon %30'u konveksiyon olarak bölünür. Klima edilen ortamda muhtelif ısı yayan elemanlar var ise verdikleri ısı, ürün kataloglardan tespit edilerek toplam ısı kazancına eklenmelidir. Örneğin, Bilgisayar 116 W/adet ve Fotokopi 290 W/adet

9.3. PRATİK SOĞUTMA YÜKÜ DEĞERLERİ

Tablo 9.14'de pratikte karşılaşılan soğutma yükü değerleri karşılaştırma için bir arada verilmiştir. Hesaplanan soğutma yüklerinin normal hallerde bu tabloda verilen değerler arasında olması beklenir. Elbette bu tablo sınırlayıcı ve bağlayıcı değildir. Tablo 9.15'de ise çeşitli tip yapılar için global ısı kazancı değerleri verilmiştir.

EK-D

R 410 A InP-h DİYAGRAMI



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aslıhan BAŞKAL
Doğum Tarihi ve Yeri : 1978 - Bakırköy
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : asbamak@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Mak.Müh	YTÜ	2011
Lisans	Mak.Müh	YTÜ	2007
Lise	Fen Bilimleri	Yahya Kemal Beyatlı Lisesi	1995

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
1998-2000	Klimatek San. ve Tic. Ltd. Şti.	Tekniker
2007-2008	Etkin Servis Hizmetleri Ltd. Şti.	Mühendis

YAYINLARI

Makale

1.	Kıncay, O., Akbulut, U., Yörü, Y., Açıkgoz, Ö. ve Başkal, A., (2010). “Duvardan Isıtılmalı Yapılarda Dış Cephe Kaplamasının Isıl Performansa Etkisi”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı : 119:11-18.
----	--