

768498

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR HASTAHANE KLİMASINDA HİJYEN ODA
ŞARTLANDIRILMASI VE SİSTEMİN
TERMOEKONOMİK ANALİZİ

Makina Müh. Deniz UĞURLU

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

Doç. Dr. Eyüp AKARYILDIZ

Prof. Dr. Bahri SAHİN

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. TEMİZ ODA TEKNOLOJİSİ	2
2.1 Temiz Odaların Tarihçesi	2
2.2 Temiz Odalarda Kirlilik Kontrolü	2
2.3 Federal Standart 209 E.....	3
2.4 Hava Filtreleri	4
2.4.1 Filtrasyon Mekanizmaları	4
2.4.1.1 Elek Etkisi	4
2.4.1.2 Atalet Etkisi	5
2.4.1.3 Yakalama Etkisi	5
2.4.1.4 Difüzyon Etkisi	5
2.4.2 Hava Filtrelerinin Belirlenmesindeki Kriterler	5
2.4.3 Temiz Odaların Filtrelenmesi	6
2.4.4 HEPA Filtreler	7
2.4.5 ULPA Filtreler	7
2.5 Hastahanelerdeki Temiz Oda Sistemleri.....	8
2.5.1 Odaların Sınıflandırılması.....	8
2.5.2 Taze Hava Debileri	10
2.5.3 Filtreler ve Tesisattaki Yerleşimi.....	10
2.5.4 Odalar Arasındaki Hava Akışı.....	12
2.5.5 Hastahane Bölümlerinde Hava Değişimi ve Basınç İlişkisi	13
2.5.6 Hastahanelerdeki Temiz Oda Sistemlerinin Teknik Özellikleri	14
2.5.6.1 Taze Hava Emiş ve Egzost Havası Panjurları.....	14
2.5.6.2 Hava Kanalları	15
2.5.6.3 Damperler	15
2.5.6.4 Klima Santralleri.....	16
2.5.6.5 Ameliyathanelerde Klima Sistemleri.....	18
3. TEMİZ ODA TEKNOLOJİSİNDE TERMODİNAMİK VE EKSERJİ EKONOMİK BAĞINTILAR	19
3.1 Genel Termodinamik Bağıntılar	19
3.1.1 Entalpi	19
3.1.2 Mükemmel Gazlar, Sıvılar ve Katıların İç Enerji ve Özgül Isı Bağıntuları	19
3.1.3 Sürekli Akışlı Açık Sistemler	20
3.1.4 Psikometri	21
3.1.4.1 Kuru Havanın Entalpisi.....	21

3.1.4.2	Nemli Hava İle İlgili Tanımlar	21
3.1.4.3	Bir Hastahanedeki İklimlendirme İşlemleri.....	22
3.1.5	Termodinamiğin İkinci Yasası.....	23
3.1.5.1	Isı Makineleri ve Isıl Verim.....	24
3.1.5.2	Soğutma Makineleri ve Etkinlik Katsayısı	24
3.1.5.3	Entropi.....	25
3.2	Bir Hastahane Klimasında Termoeconomik Analiz.....	27
3.2.1	Ekserji	28
3.2.1.1	Ekserji Bileşenleri.....	28
3.2.1.2	Ekserjinin Yok Olması.....	31
3.2.1.3	Ekserjinin Maliyeti.....	32
4.	HASTAHANE ŞARTLANDIRILMASINDA TERMOEKONOMİK ANALİZ VE UYGULAMASI.....	33
4.1	Ameliyathaneler-Uyanma Hacimleri	34
4.1.1	Yaz Sezonu İçin Ekserji Analizi.....	34
4.1.1.1	Temiz Hava Üfleme Santralinde Ekserji Analizi.....	34
4.1.1.2	Hava Soğutmalı Chillerde Ekserji Analizi.....	45
4.1.1.3	Kazanda Ekserji Analizi	50
4.1.1.4	Egzost Santrali İçin Ekserji Analizi.....	57
4.1.2	Soğutma Sistemi Elemanları İçin Maliyet Analizi	62
4.1.2.1	Birinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi	65
4.1.2.2	İkinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi	71
4.1.3	Kış Sezonu İçin Ekserji Analizi.....	76
4.1.3.1	Temiz Hava Üfleme Santralinde Ekserji Analizi.....	76
4.1.3.2	Kazanda Ekserji Analizi	84
4.1.3.3	Egzost Santrali İçin Ekserji Analizi.....	88
4.1.4	Isıtma Sistemi Elemanları İçin Maliyet Analizi.....	92
4.1.4.1	Birinci Grup Mahal Mahaller için Maliyet Analizi	94
4.1.4.2	İkinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi	98
4.2	Steril Koridor ve Çevresi	102
4.2.1	Yaz Sezonu İçin Ekserji Analizi	102
4.2.1.1	Temiz Hava Üfleme Santralinde Ekserji Analizi.....	102
4.2.1.2	Hava Soğutmalı Chillerde Ekserji Analizi.....	112
4.2.1.3	Kazanda Ekserji Analizi	116
4.2.1.4	Egzost Santrali İçin Ekserji Kayıpları.....	120
4.2.2	Soğutma Sistemi Elemanları İçin Maliyet Analizi	125
4.2.2.1	Birinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi	126
4.2.2.2	İkinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi	132
4.2.2.3	Üçüncü Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi	138
4.2.3	Kış Sezonu İçin Ekserji Analizi.....	143
4.2.3.1	Temiz Hava Üfleme Santralinde Ekserji Analizi.....	143
4.2.3.2	Kazanda Ekserji Analizi	151
4.2.3.3	Egzost Santrali İçin Ekserji Kayıpları.....	155
4.2.4	Isıtma Sistemi Elemanları İçin Maliyet Analizi.....	159
4.2.4.1	Birinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi	161
4.2.4.2	İkinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi	165
4.2.4.3	Üçüncü Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi.....	169
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	173

KAYNAKLAR	175
EKLER.....	176
Ek 1 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için tesisat projesi.....	177
Ek 2 Steril koridor ve çevresi için tesisat projesi.....	178
Ek 3 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için yaz sezonunda belirlenen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi	179
Ek 4 Santral hücrelerindeki basınç kayıpları	180
Ek 5 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için belirtilen noktaların R22 diyagramında gösterilmesi	181
Ek 6 Mahaller için hava akış yönleri ve basınçlandırma.....	182
Ek 7 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için kış sezonunda belirlenen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi.....	183
Ek 8 Steril koridor ve çevresi için yaz sezonunda belirlenen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi	184
Ek 9 Steril koridor ve çevresi için belirtilen noktaların R22 diyagramında gösterilmesi.....	185
Ek 10 Steril koridor ve çevresi için kış sezonunda belirlenen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi	186
ÖZGEÇMİŞ	187

SİMGE LİSTESİ

c	Birim ekserjinin ortalama fiyatı, €/kj
C	Birim ekserji akımının fiyatı, €/h
C_p	Sabit basınçta özgül ısı, kj/(kgK)
C_v	Sabit hacimde özgül ısı, kj/(kgK)
$CELF$	Eskalasyon düzeltme faktörü
COP	Etkinlik katsayısı
COP_{SM}	Soğutma makinesinin etkinlik katsayısı
CRF	Anapara geri kazanım faktörü
e	Özgül ekserji, kj/kg
E	Ekserji akısı, kj/h
$€$	Euro
f	Termoekonomik faktör
F	Bir değere getirilme faktörü
g	Özgül Gibbs fonksiyonu, kj/kg
G	Toplam Gibbs fonksiyonu, kj
h	Özgül entalpi, kj/kg
\bar{h}	Yanma entalpisi, kj/kmol
\bar{h}_f°	Oluşum entalpisi, kj/kmol
H	Toplam entalpi, kj
i	Özgül tersinmezlik, kj/kg
i_{eff}	Geri ödeme faktörü, %
I	Toplam tersinmezlik, kj
k	Bir değere getirilmiş fiyat düzeltme faktörü
m	kütle, kg
M	Mol kütlesi, kg/kmol
n	Mol miktarı, kmol
P	Basınç
Q	Isı transferi, kj
s	Özgül entropi, kj/(kgK)
T	Sıcaklık, °T veya °K
u	Özgül iç enerji, kj/kg
U	Toplam iç enerji, kj
v	Özgül hacim, m ³ /kg
V	Toplam hacim, m ³
w	Mutlak nem, kg su buharı/kg kuru hava
W	Toplam iş, kj
x	Kuruluk derecesi
y	Ekserji oranı
Z	Bir değere getirilmiş parasal değer, €/h

Yunan Harfleri

Δ	Sonlu değişim miktarı
η_{th}	Isıl verim
ϕ	Bağıl nem
θ	Akışkanın toplam enerjisi, kj/kg

Alt İndisler

O	Çevre hali
I	Başlangıç hali

<i>z</i>	Son hal
<i>a</i>	Hava
<i>ç</i>	Çıkış
<i>D</i>	Tahrip olan
<i>f</i>	Yakıt
<i>g</i>	Giriş
<i>G</i>	Kazanç
<i>KH</i>	Kontrol hacmi
<i>L</i>	Kaybolan
<i>p</i>	Ürün
<i>tr</i>	Tersinir hal
<i>v</i>	Buhar
Üst indisler	
•(nokta)	Birim zamanda
-(üst çizgi)	Birim mol için
o(çember)	Standart referans hali
<i>CH</i>	Kimyasal
<i>KN</i>	Kinetik
<i>PH</i>	Fiziksel
<i>PT</i>	Potansiyel



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Geleneksel yöntemle imal edilmiş yüksek verimlilikteki bir filtre (Whyte, W., 1995).....	6
Şekil 2.2 Mini kıvrımlı yöntemle imal edilmiş yüksek verimlilikteki bir filtre (Whyte, W., 1995).....	7
Şekil 4.1 Yaz sezonu için iklimlendirme sisteminin şematik gösterimi.....	33
Şekil 4.2 Kış sezonu için iklimlendirme sisteminin şematik gösterimi.....	34
Şekil 4.3 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için taze hava üfleme santrali.....	37
Şekil 4.4 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için hava soğutmalı chiller.....	45
Şekil 4.5 Kazan sisteminin şematik gösterimi (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için yaz sezonu).....	53
Şekil 4.6 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için egzost santrali.....	57
Şekil 4.7 1. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kaybı (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri).....	70
Şekil 4.8 1.grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri).....	71
Şekil 4.9 2. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kaybı (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri).....	76
Şekil 4.10 2. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri).....	76
Şekil 4.11 Kazan sisteminin şematik gösterimi (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için kış sezonu).....	86
Şekil 4.12 1. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kaybı (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri).....	98
Şekil 4.13 1. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri).....	98
Şekil 4.14 2. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kaybı (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri).....	102
Şekil 4.15 2. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri).....	102
Şekil 4.16 Steril koridor ve çevresi için taze hava üfleme santrali.....	104
Şekil 4.17 Steril koridor ve çevresi için hava soğutmalı chiller.....	112
Şekil 4.18 Kazan sisteminin şematik gösterimi (steril koridor ve çevresi için yaz sezonu)....	117
Şekil 4.19 Steril koridor ve çevresi için egzost santrali.....	120
Şekil 4.20 1. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi)....	132
Şekil 4.21 1. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi).....	132
Şekil 4.22 2. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi)....	137
Şekil 4.23 2. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi).....	137
Şekil 4.24 3. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi)....	143
Şekil 4.25 3. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi).....	143
Şekil 4.26 Kazan sisteminin şematik gösterimi (steril koridor ve çevresi için kış sezonu)....	153
Şekil 4.27 1. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi).....	164
Şekil 4.28 1. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi).....	165
Şekil 4.29 2. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi).....	168
Şekil 4.29 2. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi).....	169
Şekil 4.30 3. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi).....	172

Şekil 4.31 3. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi) 172



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Havadaki parçacık temizliliği sınıfları (Özkaynak, F.T., 1994).....	4
Çizelge 2.2 Hastahane kliması için gerekli şartlar (Güven, K.O., 2003).....	9
Çizelge 2.3 Hastahanelerin çeşitli bölümleri için önerilen filtre verimleri (www.reform.com.tr/teknik_bilgiler/kutuphane).....	12
Çizelge 2.4 Hastahane odalarında hava akış yönleri (Güven, K.O., 2003)	14
Çizelge 4.1 Sistemdeki noktaların fiziksel değerleri (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için yaz sezonu).....	36
Çizelge 4.2 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için chillerdeki noktaların fiziksel değerleri ..	46
Çizelge 4.3 Kazanda yakılan doğalgazın bileşimi ve gazların mol oranları.....	50
Çizelge 4.4 Kazanda yanma reaksiyonuna giren ve çıkan maddelerin entalpisi (yaz sezonu).52	
Çizelge 4.5 Ameliyathane ve uyanma hacimlerinde yaz sezonu için tanımlanan noktalardaki fiziksel değerler	56
Çizelge 4.6 Ameliyathane ve uyanma hacimlerinde basınçlar	57
Çizelge 4.7 Ameliyathane ve uyanma hacimlerinde yaz sezonu için egzost santralindeki fiziksel değerler	62
Çizelge 4.8 Soğutma sistemi elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri) 62	
Çizelge 4.9 1. grup mahaller (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	65
Çizelge 4.10 1. grup mahaller için sistem elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	67
Çizelge 4.11 1. grup mahaller için egzost sistemi elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri).....	68
Çizelge 4.12 1. grup mahallerde soğutma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	69
Çizelge 4.13 1. grup mahallerde soğutma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	70
Çizelge 4.14 2. grup mahaller (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	71
Çizelge 4.15 2.grup mahaller için sistem elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	73
Çizelge 4.16 2. grup mahaller için egzost sistemi elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri).....	74
Çizelge 4.17 2. grup mahallerde soğutma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	75
Çizelge 4.18 2. grup mahallerde soğutma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	75
Çizelge 4.19 Sistemdeki noktaların fiziksel değerleri (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için kış sezonu).....	77
Çizelge 4.20 Kazanda yanma reaksiyonuna giren ve çıkan maddelerin entalpisi (kış sezonu)85	
Çizelge 4.21 Ameliyathane ve uyanma hacimlerinde kış sezonu için tanımlanan noktalardaki fiziksel değerler	88
Çizelge 4.22 Ameliyathane ve uyanma hacimlerinde kış sezonu için egzost santralindeki fiziksel değerler	92
Çizelge 4.23 Isıtma sistemi elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri) ..	93
Çizelge 4.24 1. grup mahallerde ısıtma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	97
Çizelge 4.25 1. grup mahallerde ısıtma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	97
Çizelge 4.26 2. grup mahallerde ısıtma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	101
Çizelge 4.27 2. grup mahallerde ısıtma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve	

termoekonomik faktör (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)	101
Çizelge 4.28 Sistemdeki noktaların fiziksel değerleri (steril koridor ve çevresi için yaz sezonu)..	104
Çizelge 4.29 Steril koridor ve çevresi için chillerdeki noktaların fiziksel değerleri	113
Çizelge 4.30 Steril koridor ve çevresinde yaz sezonu için tanımlanan noktalardaki fiziksel değerler.....	119
Çizelge 4.31 Steril koridor ve çevresi mahal basınçları	120
Çizelge 4.32 Steril koridor ve çevresinde yaz sezonu için egzost santralindeki fiziksel değerler	125
Çizelge 4.33 Soğutma sistemi elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi).....	125
Çizelge 4.34 1. grup mahaller (steril koridor ve çevresi)	127
Çizelge 4.35 1. grup mahaller için sistem elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)	129
Çizelge 4.36 1. grup mahaller için egzost sistemi elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)	130
Çizelge 4.37 1. grup mahallerde soğutma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)	131
Çizelge 4.38 1. grup mahallerde soğutma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (steril koridor ve çevresi)	131
Çizelge 4.39 2. grup mahaller (steril koridor ve çevresi)	132
Çizelge 4.40 2. grup mahaller için sistem elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi) .	134
Çizelge 4.41 2. grup mahaller için egzost sistemi elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)	135
Çizelge 4.42 2. grup mahallerde soğutma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)	136
Çizelge 4.43 2. grup mahallerde soğutma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (steril koridor ve çevresi)	137
Çizelge 4.44 3. grup mahaller (steril koridor ve çevresi)	138
Çizelge 4.45 3. grup mahaller için sistem elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)	140
Çizelge 4.46 3. grup mahaller için egzost sistemi elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi).....	141
Çizelge 4.47 3. grup mahallerde soğutma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)	142
Çizelge 4.48 3. grup mahallerde soğutma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (steril koridor ve çevresi)	142
Çizelge 4.49 Sistemdeki noktaların fiziksel değerleri (steril koridor ve çevresi için kış sezonu).....	144
Çizelge 4.50 Steril koridor ve çevresinde kış sezonu için tanımlanan noktalardaki fiziksel değerler	155
Çizelge 4.51 Steril koridor ve çevresinde kış sezonu için egzost santralindeki fiziksel değerler	159
Çizelge 4.52 Isıtma sistemi elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)	160
Çizelge 4.53 1. grup mahallerde ısıtma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)	163
Çizelge 4.54 1. grup mahallerde ısıtma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (steril koridor ve çevresi)	164
Çizelge 4.55 2. grup mahallerde ısıtma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)	167
Çizelge 4.56 2. grup mahallerde ısıtma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (steril koridor ve çevresi)	168
Çizelge 4.57 3. grup mahallerde ısıtma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)	171
Çizelge 4.58 3. grup mahallerde ısıtma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (steril koridor ve çevresi)	172

ÖNSÖZ

Temiz oda teknolojileri, teknolojik gelişme sonucu, kirliliğin kontrol altında tutulmasının öneminin anlaşılmasıyla artan bir uygulama alanına sahip olmuştur. Temiz odaların en yaygın kullanım alanlarından biri hiç kuşkusuz hastahanelerdir. Bir hastahane kliması tasarlarken, konfor ve hijyen şartlarını sağlaması çok önemlidir. Fakat en az bunun kadar önemli olan bir diğer madde ise bu tasarımda bileşenlerden maksimum faydanın sağlanmasıdır.

Bu çalışmada mevcut bir tez çalışmasındaki hastahane kliması uygulamasının klima tesisatı ile ilgili bazı bölümleri kaynak alınarak, sözü edilen tesisatın termoeconomik analizi yapılmış ve sistem için optimizasyon önerilerinde bulunulmuştur.

Tez çalışmamı yöneten ve çalışmam süresince, benden desteğini, yardımını ve sabrını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Galip Temir'e, teknik konularda bilgi veren teknisyen arkadaşım Gürkan Yoldaş'a, ayrıca çalışmam boyunca sabır gösteren ve destek veren aileme teşekkür ederim.



ÖZET

Bu çalışmada, temiz oda tasarımı ve temiz odalarda termoeconomik analiz konusu incelenmiştir.

Öncelikle temiz oda tasarımının temel unsurları tanımlanmış ve hastahane temiz oda sistemlerinin özellikleri belirtilmiş, daha sonra ise temiz oda sistemlerinin analizinde kullanılacak termoeconomik analiz bağıntıları verilmiştir.

Teorik bilgilerin kullanılmasıyla, İstanbul'daki bir hastahane için yaz ve kış sezonunda iklimlendirme tesisatı, İstanbul için pik sıcaklıklara göre tasarlanmış, bu tesisattaki klima santralleri, sıcak su kazanları ve su soğutma grupları için ekserji analizi yapılmış ve bu analiz sonuçları tesisatta ekserji kayıplarını hesaplamak ve ekserji maliyetini belirlenmiştir.

Tesisatta ekserji kayıpları; klima santralleri, her bir mahal grubu kanalları, her bir mahal grubu ve egzost kaybı olarak dört başlık altında toplanmıştır. Şartlandırılan havanın maliyeti; santralden kanala gönderilen havanın maliyeti, kanal çıkışındaki havanın maliyeti ve egzost edilen havanın maliyeti olarak üç kısımda incelenmiştir. Daha sonra bu hesaplamalar ışığında, sistem bileşenlerinin maliyet karşılaştırılması yapılmış ve iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Temiz oda tasarımı, iklimlendirme tesisatı, ekserji analizi, ekserji kayıpları, termoeconomik analiz.

ABSTRACT

In this study, clean room design and thermoeconomic analysis is examined.

First, the main components of clean room design are given and the properties of clean room systems in hospitals are determined. After that, the equations for thermoeconomic analysis used in clean room system analysis are written.

By using the theoretical knowledge, the climatization system for a hospital in İstanbul during summer and winter seasons is design according to maximum temperatures for İstanbul in each season and the results of this analysis is used for calculating the exergy loss and the exergy costs in the system.

The exergy loss in the system is divided into four groups; the loss in the air conditioning unit, the loss in ducts for each of the room groups, the loss in each of the room groups and the loss caused by exhaust. The cost of the conditioned air is examined as; the cost of the air sent from the air unit to the duct, the cost of the air while leaving the duct and the cost of the exhausted air. After that, by the use of this calculations the cost comparisons of the sytem components are made and the optimization advices are given.

Keywords: Clean room design, air conditioning system, exergy analysis, exergy loss, thermoeconomic analysis.



1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesiyle, daha sağlıklı ortamlarda çalışabilmek için, 'Temiz Oda' kavramı ortaya çıkmıştır. İlk uygulama örneklerinin hastahanelerde yapıldığı görülen temiz odaların, özellikle de elektronik sanayisi, ilaç endüstrisi, kimya tesisleri ve hastahaneler gibi kirlilik düzeyinin kontrol altında tutulması gereken ortamlarda, kullanımı zorunluluk olmuştur. Temiz oda tasarımında asıl amaç, uluslar arası kabul edilen temizlik standartlarına göre temiz hava ortamı elde etmek ve prosesle ilgili teknolojik ortamı gerektiren her türlü şartı sağlayıp kontrol altında tutmaktır.

Temiz oda kavramı ilk çıktığında genel olarak bağımsız bir klima sistemi olan, çevresindeki mahallerle beraber taneciklerden arındırılmış steril bir oda akla gelmekteydi. Ancak bu tip odaların yapımı çok pahalı olduğundan ve büyük işletme masrafları gerektirdiğinden, zamanla bu sistemler yerini, binanın merkezi klima sistemine bağlı olan zon kontrollü, hava kilitleri ile diğer ortamlardan arınmış küçük odalara terk etmiştir.

Bir sistemin tasarımında kullanılabilirliği de önem taşımaktadır. Günümüzde, kullanılabilirliği maliyetle birleştiren çalışmalar giderek hız kazanmaktadır. Bu konuda ilk uygulamaları Benedict yapmıştır.

Bir sistemin kullanılabilirliği; hem o sistemin, hem de sistem-çevre ikilisinin bir özelliğidir. Sistemin toplam ekserjisi; fiziksel, kimyasal, kinetik ve potansiyel ekserjilerden oluşur. Çevreye göre durgun sistemlerde, kinetik ve potansiyel ekserjiler ihmal edilir. Kimyasal ekserji ise, yanma gibi bir kimyasal reaksiyon sonucu söz konusu olur.

Tahrip olan veya yok olan ekserji kısaca kayıp ekserji, sistemin verimini düşürür. Bu nedenle bir maliyet unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır ve sistem için önem taşımaktadır.

2. TEMİZ ODA TEKNOLOJİSİ

Temiz oda teknolojisi; insanları, sanayi ürünlerini ve çeşitli teknolojik aletleri uluslararası temizlik standartlarına göre toz, partikül, atık gaz, mikrop ve zararlı mikroorganizma gibi parçacıklardan korumak için sıcaklığı, basıncı, nemi, gürültü seviyesi ve hava hareketi belli sınırlar içinde olan hijyenik ortamlar oluşturmayı amaçlar. Temiz oda tasarlarken; temiz odanın kullanım amacına göre sıcaklık, basınç, nem, gürültü seviyesi ve hava hareketi parametreleri önem sırasına dizilerek seçim kriterleri oluşturulur.

2.1 Temiz Odaların Tarihçesi

İlk temiz oda uygulamaları, bakterilerin yaralarda enfeksiyona yol açtığı belirlenmesi üzerine hastahanelerde yapılmıştır. Hastahanelerde vantilasyonun kirlilik kontrolü için uygulanmasına ise, II. Dünya Savaşı'nın sonlarında başlanmıştır. 1960'da Blowers ve Crew, türbülansın en aza indirgenerek havanın aşağı yönlü hareketinin sağlanması için tavanın iki yanına yerleştirilmiş difüzörlerle havanın tek yönlü üflendiği bir odayı incelemiştir. 1966'da Prof. Charnley, yüksek miktarda ve düzgün akışlı hava ile bakteri sayısını düşürebildiği bir sistem geliştirmiştir. Ayrıca cerrahlardan yayılan bakterileri hapseden tüm vücut egzost elbisesini de icat ederek, enfeksiyon oranını %1,3'e düşürmüştür (Whyte, W., 1995).

Nükleer reaksiyonun kullanımı ile, havanın tehlikeli mikrobiyolojik ve radyoaktif kirleticilerden arındırılması için, yüksek verimli parçacık filtreleri (HEPA) üretilmiştir. 1955-1960 yılları arasında, yüksek miktardaki iyi filtre edilmiş havanın, tavandaki difüzörlerle üflendiği temiz odalar inşa edilmiştir. 1961'de bulunan 'laminar akış' sistemiyle, havanın HEPA filtrelerden geçirilerek oda içinde tek yönlü bir akışla filtrelerden odanın tabanındaki menfeze ulaşması sağlanmıştır (Whyte, W., 1995).

1963'de yayınlanan ilk Federal Standart 209, bütün dünyadaki temiz oda standartların temeli olmuştur (Maro, O.S., 1997). Zamanla temiz oda uygulamalarının sayısı ve çeşidi artmıştır.

2.2 Temiz Odalarda Kirlilik Kontrolü

Kirlilik dört genel kategoride sınıflandırılabilir:

- Zerrecikler: toz, kırpıntı, lif, vs.
- Kimyasal: gaz, sıvı, yağlı film, vs.
- Biyolojik: bakteri, virüs, mantar, sporlar, vs.

- Enerji veya durum değişiklikleri: ışık filmi kirletir, manyetik alanlar demir veya nikeli kirletir, radyasyon canlı hücreleri ve plastiği etkiler, ısı bozar, vs (Maro, O.S., 1997).

Bu kirleticilerin bir kısmı, bir maddenin üretimi veya işlenmesinden, bir kısmı da dış kaynaklardan gelir. Sanayi kirliliğinin en yaygın dış kaynakları olarak rafineriler, ısıtma tesisleri, kimyasal proses tesisi artıkları, yol ve cadde inşaat ve tamiri ve yeni bina inşaatları sayılabilir. İç kirlilik ise, makineyle işletme, şekillendirme işlemleri, proses ve bakım, ambalajlama, sevkiyat ve depolama, personel faaliyetleri ve üretim çalışmaları gibi işlemlerden meydana gelir. Burada zerreciklerin havalandırma sistemi yoluyla taşınması, sorunun kaynağını oluşturur.

Temiz odada kirliliğin kontrolü için 6 yöntem kullanılır:

- Tesisin dizaynı,
- Odada kullanılan ekipman,
- Kullanılan prosedürler,
- Personelin faaliyetleri,
- Çevre kontrolü,
- Bakım (Maro, O.S., 1997).

2.3 Federal Standart 209 E

Temiz Oda ve Zonlarda Havadaki Parçacık Temizliliği Sınıfları olarak adlandırılan Federal Standart 209, kirlilik kontrolü hakkında en çok başvurulanan belgelerden biridir. Amerikan endüstrisi ve pek çok ülke tarafından hava temizliliği sınıflandırılmasında bir standart olarak benimsenmiştir.

Havadaki parçacıklar organik ya da inorganik olabilir. Büyüklükleri ise 0,001 μm 'den birkaç 100 μm 'ye kadar olabilir. Havadaki parçacıkların kontrolü Federal Standart 209 E'de belirtilmiştir. Çizelge 2.1'de parçacık boyutları ile temiz oda sınıf limitleri, İngiliz sistemine ve metrik sisteme göre verilmiştir.

Çizelge 2.1 Havadaki parçacık temizliliği sınıfları (Özkaynak, F.T., 1994)

Sınıf limitleri											
SI	İngiliz ^a	0.1 µm		0.2 µm		0.3 µm		0.5 µm		5 µm	
		hacim birimi		hacim birimi		hacim birimi		hacim birimi		hacim birimi	
		m ³	ft ³	m ³	ft ³	m ³	ft ³	m ³	ft ³	m ³	ft ³
M1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10.0	0.283	-	-
M1.5	1	1240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	-	-
M2		3500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	-	-
M2.5	10	12400	350	2650	75.0	1060	30.0	353	10.0	-	-
M3		35000	991	7570	214	3090	87.5	1000	28.3	-	-
M3.5	100	-	-	26500	750	10600	300	3530	100	-	-
M4		-	-	75700	2140	30900	875	10000	283	-	-
M4.5	1000	-	-	-	-	-	-	35300	1000	247	7.00
M5		-	-	-	-	-	-	100000	2830	618	17.5
M5.5	10000	-	-	-	-	-	-	353000	10000	2470	70.0
M6		-	-	-	-	-	-	1000000	28300	6180	175
M6.5	100000	-	-	-	-	-	-	3530000	100000	24700	700
M7		-	-	-	-	-	-	10000000	283000	61800	1750

^a Sınıf limitleri her seviye için verilmiştir. Limitler, gösterilen parçacık büyüklüklerine eşit ya da daha büyük parçacıkların birim hacimdeki spesifik konsantrasyonlarını belirler. Çizelge 2.1'deki sınıf limitleri sadece sınıflandırma amaçlıdır ve gerekmedikçe herhangi bir özel durumda bulunabilecek büyüklük dağılımını temsil etmez.

^b Orta sınıflar için konsantrasyon limitleri yaklaşık olarak aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilir:

$$\text{Parçacık} / \text{ft}^3 = N_c (0.5 / d)^{2.2}$$

Burada; N_c sınıfın Amerikan birim sistemindeki nümerik ifadesi ve d ise μm biriminde parçacık büyüklüğüdür.

$$\text{Parçacık} / \text{m}^3 = 10^6 (0.5 / d)^{2.2}$$

Burada; M sınıfın SI birim sistemindeki nümerik ifadesi ve d ise μm biriminde parçacık büyüklüğüdür.

^c Sınıflar tanımlarken SI seviyeleri ve birimleri tercih edilir, bununla birlikte, Amerikan birimleri de kullanılabilir.

Çizelge 2.1'de temiz oda sınıfları için, ft³ hacminde izin verilen maksimum parçacık sayısıınca belirlenen temizlilik seviyesi görülmektedir. İngiliz birimleri ile verilen sınıflar, ft³'te 0,5 µm ve daha büyük ebatlarda bulunabilecek maksimum parçacık sayısını ifade eder. m³'te 0,5 µm ve daha büyük ebatlarda bulunabilecek maksimum parçacık sayısının 10 tabanına göre logaritması, SI birim sistemine göre temizlilik sınıfını verir. Örneğin Klas 100 (Klas M3,5) temiz odada 0,2 µm büyüklükteki parçacıklardan 750 (26500)'den fazla, 0,3 µm büyüklükteki parçacıklardan 300 (10600)'den fazla, 0,5 µm veya daha büyük parçacıklardan ise 100 (3530)'den fazla bulunamaz (Özkaynak, F.T., 1994).

2.4 Hava Filtreleri

2.4.1 Filtrasyon Mekanizmaları

2.4.1.1 Elek Etkisi

Bu mekanizmada, çapı filtre elemanı olarak kullanılan iki elyaf iplikçığının arasındaki

açıklıktan daha büyük olan tanecikler tutulmaktadır.

2.4.1.2 Atalet Etkisi

Akım iplikçiklerinin önüne bir filtre elyafı çıktığı zaman onun etrafında dönerek yollarına devam ederler. Ancak akış içinde sürüklenen tanecikler ataletleri nedeniyle filtre elyafı etrafında dönmeyerek, elyafa çarpar ve onun yüzeyine yapışır. Hava hızının artması, tanecik çapının büyümesi ve elyaf çapının küçülmesi bu etkiyi artırır (Whyte, W., 1995).

2.4.1.3 Yakalama Etkisi

Tanecik çapı çok küçükse, tanecik havayla birlikte elyaf iplikçığı etrafında bir yörünge takip edebilir. Ancak taneciğin elyaf etrafındaki hareketinde, bu yörünge elyafa tanecik yarıçapından daha yakın bir yerden geçiyorsa, tanecik elyaf tarafından yakalanır ve elyaf yüzeyine yapışır. Tanecik çapı artıp, elyaf çapı ve elyaf iplikçikleri arasındaki mesafe azaldıkça bu etki artar (Whyte, W., 1995).

2.4.1.4 Difüzyon Etkisi

Tanecik çapı 1 μm 'den daha küçük olursa, gaz molekülleri taneciklerle çarpıştıklarında onların düzensiz hareket etmelerine yol açar. Gaz moleküllerinin bu davranışları sonucu filtre elyafı ile çarpışan tanecikler onlara yapışabilmektedir. Bu etki hava hızı, tanecik çapı ve elyaf çapı küçüldükçe artmaktadır (Whyte, W., 1995).

2.4.2 Hava Filtrelerinin Belirlenmesindeki Kriterler

Değişik tiplerdeki HVAC hava filtrelerini ayırt etmek için; hava akış direnci, toz tutma kapasitesi ve verimlilik kullanılmaktadır. Hava akış direnci, filtrenin belirli bir hava akışı sırasındaki basınç düşüşünü göstermektedir. Toz tutma kapasitesi, filtrenin belirli bir hava akışı sırasında maksimum direnç değerine ulaştığı veya toplanan tozun sonucunda içinden geçen hava akışının ciddi bir şekilde azaldığı zamana kadar tuttuğu belli tip toz miktarını tanımlamaktadır. Verimlilik ise, filtrenin hava akımı içindeki parçacıkları ayırma yeteneğini gösterir.

Filtre verimini belirlerken üç test tipi kullanılmaktadır (Hürtürk, Ş., 2000):

- *Ağırlık yakalama:* Çeşitli büyüklüklerdeki parçacıklardan oluşan standartlaştırılmış sentetik toz, hava filtrelerinden geçirilerek tutulan toz ağırlığının yüzdesi belirlenir.
- *Toz-nokta verimliliği:* Atmosferik toz hava filtresinden geçirilir ve temizlenmiş havanın renk soldurma etkisi, giriş havasınıninkine ile karşılaştırılır.

- *Parçacık büyüklüğü:* Aynı büyüklükteki aerosol parçacıkları hava filtresinden geçirilir ve filtrenin tuttuğu yüzde belirlenir.

2.4.3 Temiz Odaların Filtrenmesi

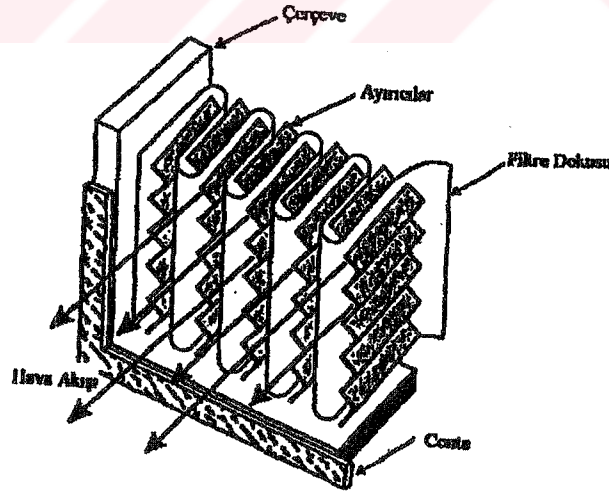
Temiz odaya verilen hava içinde bulunan zararlı olabilecek parçacıkların, hava temiz odaya ulaşmadan önce filtrenmesi gerekmektedir.

Temiz odaların filtrenmesi birkaç aşamadan oluşur. Ana hava akışının olduğu yere yerleştirilen yüksek verimlilikteki filtreler küçük parçacıkların tutulmasını ve hava akışının doğrusallaştırılmasını sağlar. Sıcaklık ve nem kontrolü için kullanılan ikincil hava sistemi ise, iki ön filtre kademesi ile daha büyük parçacıkların tutar (Whyte, W., 1995).

Yüksek verimlilikteki filtreler parçacık tuttukça, sebep oldukları basınç düşüşü artar. Temiz odaya giren hava miktarının azalmaması için, fan hızı, basınç düşüşündeki artışı otomatik karşılayacak şekilde ayarlanmalıdır.

Yüksek verimlilikteki filtreler, geleneksel ve mini kıvrımlı olmak üzere iki yöntemle imal edilir.

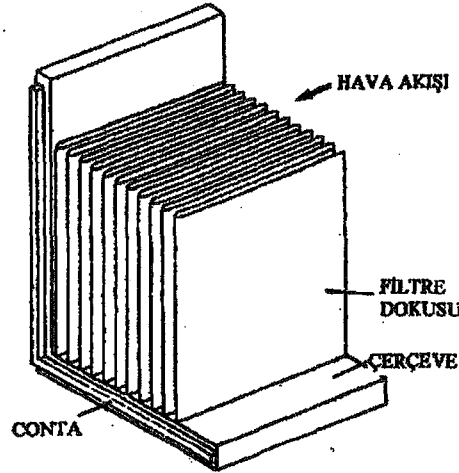
Geleneksel yöntemde; filtre kağıdı ruloları 15 cm ya da 30 cm uzunlukta olmak üzere ileri-geri katlanır, filtrelemeyi ve filtreden geçecek havanın geçişini sağlamak için alüminyum ayırıcı kullanılır. Daha sonra bu filtre dokusu ve ayırıcı paketi bir çerçevenin içerisinde birleştirilir (Whyte, W., 1995). Geleneksel yöntemle imal edilmiş bir filtre Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1 Geleneksel yöntemle imal edilmiş yüksek verimlilikteki bir filtre (Whyte, W., 1995)

Mini kıvrımlı yöntemle üretilmiş yüksek verimlilikteki filtrelerde alüminyum ayırıcılar kullanılmaz (Whyte, W., 1995). Bu yöntemde filtre kağıdı katlanarak bir çerçeveye monte

edilir. Bu yöntemle imal edilmiş bir filtre ise Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2 Mini kıvrımlı yöntemle imal edilmiş yüksek verimlilikteki bir filtre (Whyte, W., 1995)

2.4.4 HEPA Filtreler

Günümüz temiz odalarının ihtiyaç duyduğu temizlik seviyesini sağlamak, ancak yüksek verimli parçacık hava (HEPA) filtrelerinin kullanımı ile sağlanabilmektedir.

HEPA filtreler, parçacık yakalamadaki verimine göre değerlendirilir ve $0,3\mu$ çapındaki partikül için verimliliği %99,97 ile %99,995 arasında değişmektedir. HEPA filtrenin bu verimliliği sağlaması için, filtreden geçirilen havanın hızı 1-2 cm/s olmalıdır. Önerilen HEPA filtre alın hızı ise 0,45 m/s civarındadır (Bilge, M., 1996).

Doğrudan kanal üzerine veya klima santrali içine monte edilerek veya havanın temiz odaya üflendiği son noktada kullanılabilen HEPA filtreler, temizlik sınıfı 100-100000 arası olan odalar için önerilmektedir (Bilge, M., 1996). Bu filtreler test ve kullanım sırasında kolayca zarar görebileceğinden, filtre dokusuna dokunulmaması gerekir. Filtre dokusu, filtre çerçevesi düştüğünde ya da sert bir cisme çarptığında da zarar görebilir.

2.4.5 ULPA Filtreler

Özellikle temizlik sınıfı 1-100 olan uygulamalar için geliştirilen ULPA (Ultra Düşük Tesirli Hava) filtreler, $0,3\mu$ 'dan daha küçük çaplardaki parçacıkların yakalanmasında, standart HEPA filtrelerden daha yüksek verimliliktedir filtreleri tanımlamak için kullanılır. Bir ULPA filtrenin verimliliği %99,999 ile %99,99995 arasındadır (Bilge, M., 1996).

ULPA filtrelerde, küçük liflerin filtre dokusundaki oranı daha yüksektir ve bu filtreler daha verimlidir. Filtre dokusunun daha yoğun paketlenmesi nedeniyle basınç düşüşü daha

yüksektir ve aynı miktardaki fitre dokusu için ULPA filtrenin direnci HEPA filtrenin direncinden büyüktür.

2.5 Hastahanelerdeki Temiz Oda Sistemleri

Hastahanelerde, yalnızca bakım ve tedavi deği, hijyen de çok önemlidir. Bu nedenle hastahane iklimlendirmesinde, mahallerin farklı sıcaklık ve nem ihtiyaçlarının karşılanması, mahaller arasındaki hava sirkülasyonunun basınç farkı yaratılarak önlenmesi, tedavi sürecinde ortaya çıkan mikroorganizmalar ve kimyasal artıkların havadan temizlenmesi gibi konfor iklimlendirmesinde önemsenmeyen bazı konuların da dikkate alınması gerekir.

Hastahanelerde kurulan HVAC sistemleri, sıcaklık ve nem kontrolü ile taze hava ihtiyaçlarını karşılamının yanısıra, havada var olan mikroorganizma ve toz oranını azaltmalı, atık anestezi gaz konsantrasyonunu düşürmeli ve kötü kokuları uzaklaştırılmalıdır. Bu nedenle klima tesisatı, Çizelge 2.2’de görülen ‘+’ işaretli odalarda zorunludur. Cihazların yaydıkları ısı nedeniyle ısı yükünün fazla olması, oda havasının narkoz gazları ve dezenfeksiyon gazları yüzünden aşırı kirlenmesi, tedavi ve diğer bölümlerde hava debisinin dengelenmesi gibi uygunsuz iç ve dış şartlar sebebiyle diğer odalarda da klima tesisatı gerekebilir.

2.5.1 Odaların Sınıflandırılması

Hastahane bölümleri hijyenik nedenlerle iki sınıfa ayrılır:

- I. sınıf odalar : Yüksek derecede şartlar gerektiren mikroorganizmasız bölgeler,
- II. sınıf odalar : Normal şartlar gerektiren mikroorganizmasız bölgeler (Güven, K.O., 2003).

Hastahanelerde hangi odaların hangi sınıfa dahil olduğu Çizelge 2.2’de görülmektedir .

Çizelge 2.2 Hastahane kliması için gerekli şartlar (Güven, K.O., 2003)

No	Hastahane Bölümü Oda Grubu Oda Türü	Oda Sınıfı	4		5	6	7		8	9	10		
			Klimasız Temel Zorunlu				Hijyenik min. taze hava miktarı $m^3/(m^2 \cdot h)$	Oda Hava Durumu 3) 4)				Tesis için esas alınacak günlük değerleri 6)	
			İklim patikajı	Enfekt ayırıcak açılım				Sıcaklıklar					Nem %)
		min°C	max°C										
1	Müayene ve tedavi bölümleri												
1.1	Ameliyatı grubu												
1.1.1	A ve B tipi ameliyathaneler	I	+	+	bak. bölüm 5.6	22 7)	26 7)	+		40			
1.1.2	Ameliyathanelere doğrudan dahil odalar												
1.1.2.1	Tedarik havalı-steril malz. deposu	I	+	+	15	8)	8)	+		40			
1.1.2.2	Yıkama odaları	I	+	+	15	8)	8)	+		40			
1.1.3	Diğer oda ve koridorlar	I	+	+	15	8)	8)	+		40			
1.1.4	Narkoz etkisinden uyanma odası 9)	I	+	+	30	22 7)	26 7)	+		35			
1.2	Doğum												
1.2.1	Doğum odası	II			15	24				40			
1.2.2	Diğer oda ve koridorlar 4)	II			10					40			
1.2.3	Ameliyathane	I	+	+	bak. bölüm 5.6	22 7)	26 7)	+		40			
1.2.4	Ameliyathanelere doğrudan dahil odalar												
1.2.4.1	Tedarik havalı-steril malz. deposu	I	+	+	15	8)	8)	+		40			
1.2.4.2	Yıkama odaları	I	+	+	15	8)	8)	+		40			
1.3	Endoskopi												
1.3.1	Müayene odaları (aseptik, sepsik)	II			30					40			
1.3.2	Diğer oda ve koridorlar 4)	II			10					40			
1.4	Flak tedavi												
1.4.1	Küvetli banyolar	II	+		10)	11)	11)			30			
1.4.2	Yüzme havuzları ve hareket banyoları	II	+		10)	11)	11)			30			
1.4.3	Diğer odalar ve koridorlar 4)	II			10					45			
1.5	Diğer bölümler												
1.5.1	Acil durum ameliyathanesi	I	+	+	bak. bölüm 5.6	22 7)	26 7)	+		40			
1.5.2	Acil durum ameliyathanesi ile doğrudan bağlantılı odalar												
1.5.2.1	Tedarik havalı-steril malzeme deposu	I	+	+	15	8)	8)	+		40			
1.5.2.2	Yıkama odaları	I	+	+	15	8)	8)	+		40			
1.5.3	Küçük operasyon odaları	II			15					40			
1.5.4	Ameliyat bölümlerinin dışındaki narkoz etkisinden uyanma odaları	II	+ 12)										
1.5.5	Diğer odalar ve koridorlar 4) Örneğin:	II			30		26	+		35			
1.5.5.1	Röntgen diyagnostik		13)										
1.5.5.2	Müayenahaneler	II			15			15)		40			
2	Tedavi bölümleri				15					40			
2.1	Yoğun bakım												
2.1.1	Yataklı odalar												
2.1.1.1	Enfeksiyon bulaşıcı olan hastalar için 14)	I	+	+	30	24	26	+		30			
2.1.1.2	Diğer hastalar için	II	+ 15)		15	24	26	+		30			
2.1.2	Acil durum odası	I	+	+	30 16)	24	26	+		40			
2.1.3	Diğer odalar ve koridorlar 4)	II			15	8)	8)			40			
2.2	Özel bakım 17)												
2.2.1	Yataklı odalar	I	+	+	30	24	26	+		30			
2.2.2	Acil durum odası	I	+	+	30 16)	24	26	+		40			
2.2.3	Diğer odalar ve koridorlar 4)	II			15	8)	8)			40			
2.3	Enfeksiyon hastaların bakımı 18)												
2.3.1	Yataklı odalar	II		19)	10					35 20)			
2.3.2	Diğer odalar ve koridorlar 4)	II			10					40			
2.4	Preventif bebek bakımı												
2.4.1	Yataklı odalar	II	+ 21)		15	24	26	+ 22)		35 20)			
2.4.2	Diğer odalar ve koridorlar 4)	II			10	8)	8)			40			
2.5	Yeni doğmuş bebek bakımı												
2.5.1	Yataklı odalar	I			10					35 20)			
2.5.2	Diğer odalar ve koridorlar 4)	II			10					40			
2.6	Şiş bebek bakımı												
2.6.1	Yataklı odalar	II			10					35 20)			
2.6.2	Diğer odalar ve koridorlar 4)	II			10					40			
2.7	Genel bakım												
2.7.1	Yataklı odalar	II			10					35 20)			
2.7.2	Diğer odalar ve koridorlar 4)	II			10					40			
2.8	Diğer bölümler	II			10					40			

Çizelge 2.2 (devam)

3	Tedavik Bölümleri							
3.1	Eczane							
3.1.1	Steril odalar	II		*	10			45
3.1.2	Diğer odalar (3) ve koridorlar (4)	II			10			40
3.2	Sterilizasyon (24)							
3.2.1	Kirli odası, sterilizasyondan önce	II	25)	26)	27)			50
3.2.2	Temiz odası, sterilizasyondan sonra ve steril malzeme deposu	II	25)	26)	27)			50
3.3	Yatak hazırlama							
3.3.1	Kirli odası	II	25)	26)	27)			50
3.3.2	Temiz odası	II	25)	26)	27)			50
3.4	Çamaşır hazırlama ve çamaşırtılma							
3.4.1	Kirli odası	II	25)	26)	27)			50
3.4.2	Temiz odası	II	25)	26)	27)			50
3.5	Patoloji / Prosektifle	II					22 28)	30
3.6	Laboratuvarlar							
3.6.1	Hijyenik - mikrobiyolojik	II			29)			45
3.6.2	Tıbbi - kimyasal	II			29)			45
3.6.3	Histolojik	II			29)			45
3.7	Soyunma ve sanitür odaları							
3.7.1	Soyunma odaları	II			30) 31)			30
3.7.2	WC	II			30) 31)			33)
3.7.3	Banyo	II			30) 31)			33)
3.7.4	Isak hücreler	II			30) 31)			33)
3.8	Diğer bölümler	II			10			

- Burada belirtilen iklim psikolojisi ve enfeksiyonik nedenlerden ayrı olarak Bölüm 3 Paragraf 2'de belirtilen nedenlerden dolayı klima tesisi gerekli olabilir.
- Bölüm 3, 1. ve 2. paragrafla belirlenen nedenlerden ayrı olarak özel durumlarda daha yüksek hava debisi gerekli olabilir.
- Burada değerlerin olmaması durumunda DIN 1946 Kısmı 2'deki değerler geçerlidir. Bölüm 4.1.1 - 4.1.3'ü karşılarız.
- Tablo 2 için yapılan açıklarıza bakınız.
- "+" nın anlamı DIN 1946 Kısmı 2'deki değerlere bağlı kalmıştır.
- Bu değerler sürekli insanlara bulunduğu odalar için geçerlidir.
- Ameliyathane'deki ilgili olaya bağlı olarak bütün yıl boyunca minimum ve maksimum değerler arasında serbest seçim yapılabilir. Ameliyathanelerde bu değer ameliyat bölgesi için geçerlidir.
- Ameliyathaneler ve yataklı odalar için geçerli olan başama havası sıcaklığı ve nemi geçerlidir.
- Ameliyat bölümü ile bağlantılıdır.
- Yapılacak tespitler fiziksel yapı şartlarına ve katlanılabilecek hava şartlarına göre yapılmalıdır.
- 28°C oda sıcaklığına kadar oda sıcaklığı ve sıcaklığının 2 ile 4°C üzerinde olmasıdır. 28°C'nin üzerindeki su sıcaklığında iki sıcaklık değeri de aynı olmalıdır.
- Narkoz gazları tahliyesinden dolayı
- Tıbbi-teknik cihazlar özel durumlarda nem değerinin sabit kalması için klima tesisi gerektirebilir.
- BGA gereğince hastane enfeksiyonlarının teşhisi, korunması ve tedavisi için
- Kap, kan döşenimi ve solunum yolları hastalığı olan hastaların dışında tek yataklı odalarda klima gerekmez.
- Normal zamanlarda sadece 15m³/(m² h).
- Bağışıklık kazanmış hastalar için
- Bakınız Bölüm 1 son cümle.
- Hijyenist tarafından karar verilmelidir.
- Hava debisinin azalmasından dolayı (en az 50 m³/(h kişi) gece değerleri 5 dB daha az.
- Prematür bebekler inkubatörlere koruluğusa klima tesisi gerekmez.
- En az 945 izafı nem.
- Laboratuvarlar için VDI 2051.
- Doğrudan ameliyat bölümünde ise, Nr. 1.1.2.1., 1.2.4.1. veya 1.5.2.1. geçerlidir.
- Kimyasal sterilizasyon ve dezenfeksiyon yapıyorlarsa zararlı madde tehlikesi önemlidir; bakınız DIN 58948 Kısmı 7.
- Temiz ve kirli odaları arasında hava değişimini önlemek için yapısı önlemler alınmalıdır.
- Taze hava debisi zararlı madde biterişine göre belirlenir.
- Yalnız otopsi odaları için.
- VDI 2051'e göre.
- Yalnız egzost havası 100 m³ (kabin h).
- Başama havası gerekirse klima tesisi ile emniyete alınmalıdır.
- Yalnız egzost havası 60 m³ (obje h).
- Birbirine komşu yataklı odalarda gürültüleri 35 dB(A) ve geceleri 30 dB(A)'dan fazla olmamalıdır.
- Yalnız egzost havası 150 m³ (oda h).
- Yalnız egzost havası 100 m³ (hücre h).

2.5.2 Taze Hava Debileri

Hastahanelerdeki HVAC sistemlerinin minimum taze hava debileri (ameliyathaneler hariç), Çizelge 2.2'de verilmiştir. Havada taşınabilen mikroorganizma sayısını daha da düşürebilmek ve ısı dengesini devam ettirebilmek için, üfleme hava debisinin Çizelge 2.2'de belirtilen taze hava oranları ile hesaplanan hava debisinden daha fazla olması gerekebilir.

2.5.3 Filtreler ve Tesisattaki Yerleşimi

Parçacık kirliliğini önlemek için, üfleme havası çok kademeli filtreden geçirilmelidir. I. sınıf

odalar için üç kademeli filtre, II. sınıf odalar için iki kademeli yapılmalıdır. Her bir filtre kademesi için aşağıdaki filtre sınıfları uygundur:

- 1. kademe filtre : EU4 veya daha iyi
- 2. kademe filtre : EU7 veya daha iyi
- 3. kademe filtre : S veya R sınıfı (Güven, K.O., 2003)

Her filtre kademesinin tesisattaki yerleşimi aşağıdaki şekilde yapılmalıdır:

- 1. kademe filtre, taze hava emişi bina dışında ise, emiş tarafında klima santralını temiz tutmak üzere taze hava girişinin başlangıcına,
- 2. kademe filtre, kanal sistemini temiz tutmak için, üfleme kanallarının başlangıcından hemen önce basma tarafına,
- 3. kademe filtre basma tarafına hizmet edilecek odaya veya zona mümkün olabildiğince yakına yerleştirilmelidir (Güven, K.O., 2003).

Uygulamada; 1. kademe filtre klima santralında taze hava girişine, 2. kademe filtre yine klima santralında vantilatörden sonraki hücrelerde kanala geçişten hemen önce yerleştirilir.

Filtrenin seçimi ve işletilmesinde şu özellikler gözetilir:

- Filtreler, havanın taşıdığı özelliklere uygun olmalıdır.
- Filtreler; havanın kirliliği, mahalın ihtiyaç duyduğu temizlik derecesi, çalışma sıcaklığı, bakım kolaylığı gibi işletme şartlarına uygun olmalıdır.
- Filtrelerin yatırım maliyetinin yanısıra; bakım, değiştirme veya temizleme süresi gibi bileşenlerden oluşan işletme maliyeti dikkate alınmalıdır (www.reform.com.tr/teknik_bilgiler/kutuphane).

Filtrelerin konstrüksiyonunda dikkat edilmesi gereken unsurlar:

- Filtreye kanal bağlantısının, boyut ve şekil itibarıyla havanın tüm filtre yüzeyine rahatça dağılmasını sağlayacak şekilde yapılması,
- Filtrenin önünde ve arkasında, kontrol ve servis için gerekli 0,5-1,0 m boşluk bırakılması,
- Filtre değişimi için uygun ölçüde giriş kapısı yapılması,

- Temiz hava tarafında bütün bağlantıların, filtre edilmemiş havanın sızmasını önleyecek şekilde contalı yapılması,
- Filtrenin önündeki ve arkasındaki bölümlerin aydınlatılması,
- Kullanılmayan filtrelerin hava giriş tarafının panjurla kapatılabilmesi ve
- Filtrelerin giriş-çıkış fark basıncındaki artışları ölçen ve haber veren bir alarm kullanılmasıdır (www.reform.com.tr/teknik_bilgiler/kutuphane).

Çizelge 2.3 Hastahanelerin çeşitli bölümleri için önerilen filtre verimleri
(www.reform.com.tr/teknik_bilgiler/kutuphane)

Min. Filtre Sayısı	Kullanma Alanı	Filtre Verimi	
		1.Sıra	2.Sıra
2	Ameliyathane	25	90
	Geçiş Odası		
	Çocuk Servisi	25	90
	Yoğun Bakım		
	İlik Nakli		
1	Organ Nakli	25	HEPA
	Hasta Bakım	25	90
	Teşhis Tedavi		
	Yemek Hazırlık	80	-
Çamaşırhane			
1	Hasta Kabul	25	-
	Kirli Muhafaza		

2.5.4 Odalar Arasındaki Hava Akışı

Hava akışı hijyenik şartlardan dolayı, steril odalardan daha az steril odalara doğru olmalıdır. Hastahane odalarındaki hava akış yönleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Klima sistemi tasarlanırken üfleme/emiş hava debilerini ayarlayarak, odalarda pozitif/negatif basınç sağlanır ve aradaki fark debisi, kapı etrafındaki boşluklar gibi önceden belirlenmiş yollara akar. Ancak hava akış şemasının devam edebilmesi için, bu boşluklar çok küçük olmalıdır. Bu nedenle kapı, flap ve servis kapakları kısa süre açık kalabilecek şekilde projelendirilmelidir. Kapıları veya diğer hava geçiş yerleri çok sık açılıp kapanan mahallerde,

hava kilitleri kullanılmalıdır.

Hava kilidi aşağıdaki şartlarda mevcut olmalıdır:

- I. Sınıf odaları II. sınıf odalardan ayırmak için,
- I. Sınıf odaları dış havadan ayırmak için,
- Hijyenistin öngörmesi durumunda aynı sınıf iki odayı ayırmak için (örneğin ameliyathane ile yoğun bakım odaları) (Hürtürk, Ş., 2000).

2.5.5 Hastahane Bölümlerinde Hava Değişimi ve Basınç İlişkisi

Hastahane kullanılmak üzere havalandırma sistemi, bakterilerin çevreye yayılmasını mümkün olduğunca önlemelidir. Hastahanelerin I. Sınıf odalarında ve enfeksiyona hassas odalarda, laminer akım kullanılmalıdır. Hava akımının ortam içindeki hızı, 0,46 m/sn (+/-0,10 m/sn) seçilir (www.reform.com.tr/teknik_bilgiler/kutuphane).

Odalar ve katlar arasında; açık kapılar, sıcaklık farkı, dikey shaftlarda, merdivenlerde ve asansör boşluğundaki baca etkisi nedeni ile doğal hava sirkülasyonu vardır. Bütün bu etkenleri kontrol altına almak pratikte olanaksız olmakla birlikte, hava dağıtımında, ihtiyaca göre pozitif veya negatif basınç sağlanarak, ters yönde bir hava hareketi yaratılıp denge sağlanabilir.

Otopsi odaları, izolasyon odaları ve yüksek oranda bulaşıcı madde içeren odalarda, komşu odalara yayılımı önlemek için egzost edilen havadan daha az hava üfleyerek negatif basınç sağlanır.

Cerrahi servislerdeki ameliyathanelerde ise bakteriyel kalıntılardan temizlenmiş hava istendiği için, yan oda ve koridorlara göre pozitif basınç yaratılır. Pozitif basınç, egzost edilen havadan daha fazla hava üflemeyle sağlanır.

Temiz oda teknolojisinde, temiz oda ile çevresi arasında, genellikle 12 Pa basınç farkı uygulanır. Bu değer, farklı sınıflardaki temiz odalar arasında da geçerlidir (Hürtürk, Ş., 2000).

Negatif ve pozitif basınç farkını korumak için, oda kapıları altındaki boşluk en aza indirilir.

Çizelge 2.4 Hastahane odalarında hava akış yönleri (Güven, K.O., 2003)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	Aseptik ameliyathane	Septik ameliyathane	Yıkama odası	Giriş holü	Çıkış holü	Cihaz odası (direkt ameliyathane)	Tedarik holü/-steril malzeme deposu 5)	Ortak tedarik holü/-steril malzeme ve dezenfekte edilmiş cihaz deposu	Ameliyathane koridoru	Cihaz hazırlama, temiz	Cihaz hazırlama, kirli	Steril malzeme hazırlama, sterilizasyondan sonra	Steril malzeme hazırlama, sterilizasyondan önce	Narkoz etkisinden uyanma odası	Personel odası	Temizlik malzemeleri deposu	Personel soyunma, iç temiz oda	Personel soyunma, iç kirli oda	Tuvaletli personel soyunma, dış kirli oda	Hastanenin diğer bölümleri	Taze Hava
1	Aseptik ameliyathane																				
2	Septik ameliyathane																				
3	Yıkama odası	↑	↑																		
4	Giriş holü	↑	↑	○																	
5	Çıkış holü	↑	↑	○	○																
6	Cihaz odası (direkt ameliyathane)	←	↑	↑	↑	↑															
7	Tedarik holü/-steril malzeme deposu 5)	↑	↑																		
8	Ortak tedarik holü/-steril malzeme ve dezenfekte edilmiş cihaz deposu	←	↑																		
9	Ameliyathane koridoru			←	←	↑	↑	↑													
10	Cihaz hazırlama, temiz					○	↑	↑	↑												
11	Cihaz hazırlama, kirli								↑	↑											
12	Steril malzeme hazırlama, sterilizasyondan sonra	↑	↑				○	↑	↑	↑											
13	Steril malzeme hazırlama, sterilizasyondan önce								↑		○	↑									
14	Narkoz etkisinden uyanma odası								↑												
15	Personel odası								↑												
16	Temizlik malzemeleri deposu								↑	↑	○	↑	○								
17	Personel soyunma, iç temiz oda								↑												
18	Personel soyunma, iç kirli oda								↑												
19	Tuvaletli personel soyunma, dış kirli oda																			↑	↑
20	Hastanenin diğer bölümleri																			↑	↑
21	Taze Hava	←	←				←	←		↑	↑	↑	↑	↑	↑					↑	↑

Oklar odanın komşu odalara göre hava akış yönünü gösterir.
 ○'ın anlamı: Her iki yöne hava akışı istenmiyor.
 Örnek: 1. sütun "aseptik ameliyathane"
 3. satır "yıkama odası"
 Ok yönlü, hava akışının aseptik ameliyathaneden yıkama odasına doğru olduğunu gösterir.

4) Deneyimlere göre gerekli hava akış yönünü emniyete almak için istenilen oda sızdırmazlık şartlarında yaklaşık 20 m³/ (metre aralık uzunluğu*h) hava debisi yeterli olacaktır.
 5) Ameliyathaneye doğrudan servis penceresi ile bağlantılı

2.5.6 Hastahanelerdeki Temiz Oda Sistemlerinin Teknik Özellikleri

2.5.6.1 Taze Hava Emiş ve Egzost Havası Panjurları

Taze hava emiş panjuru, toprak zeminden en az 3 m yüksekte olmalı, düz çatı ve diğer yatay

yüzeylerden de yeteri kadar uzakta bulunmalıdır. Çünkü bu bölgelerde mikroorganizma ve toz konsantrasyonu yüksektir. Bunun yanı sıra, panjurun egzost gazları, baca gazı ve diğer rahatsız edici koku vb. kaynaklardan uzak olmasına da önem verilmelidir (Güven, K.O., 2003).

Egzost gazlarının ise çatı üzerinden atmosfere atılması tercih edilmelidir. Egzost panjurunun yüksekliği, konumu ve yapısı, kendi binasına ve çevre binalara zarar vermeyecek ve rüzgar nedeniyle egzost havasının tahliyesi önlenmeyecek şekilde belirlenmelidir.

2.5.6.2 Hava Kanalları

Hava kanalları; galvanizli sac, alüminyum ya da paslanmaz çelikten yapılmalıdır. Kanal boyu olabildiğince kısa tutulmalıdır. Fleksibl kanallar ise, yalnızca branşmanlarda ve en fazla 2 m uzunlukta olacak şekilde kullanılmalıdır. (Güven, K.O., 2003) Kanalların montajı sırasında içinde toz toprak kalmamasına dikkat edilmeli ve her gün iş bitiminde kanallar kapatılmalıdır.

- **Taze Hava Emiş Kanalları**

Taze hava kanalları, bina içindeki istenmeyen pis havayı emerek enfeksiyon tehlikesine yol açmamak için, DIN V24194 Kısım 2 sızdırmazlık sınıfı II'ye uygun olmalıdır (Güven, K.O., 2003).

Taze hava emiş kanalında insan delikleri bırakılarak, mekanik temizlik ve dezenfeksiyonun yapılabilmesi sağlanmalıdır.

- **Basma Kanalları**

I. sınıf odalar için basma kanalları, DIN V24194 Kısım 2 sızdırmazlık sınıfı III'e göre sızdırmaz olmalıdır (Güven, K.O., 2003). Hava kaçakları, yapısal boşluklarda pozitif basınca yol açmamalıdır. I. sınıf odalarda basma kanalları kısa tutulmalı, bunu sağlamak için de klima santrali odalara mümkün olduğunca yakın yerleştirilmelidir.

II. sınıf odaların konumu nedeniyle buralarda kısa basma kanalları kullanılamıyorsa, zorunlu olarak uzun basma kanallarının tesisi gerekir (Hürtürk, Ş., 2000).

2.5.6.3 Damperler

- **Hava Sızdırmaz Damperler**

Hava kanallarına monte edilecek motorlu damperler, klima santralleri herhangi bir nedenle durdurulduğunda, rüzgar ve baca etkisi ile bina içindeki havanın kalitesini bozacak şekilde kanallardan hava akışı olmasını engeller. Damperler, klima santralleri çalışmadığında ve damper motorlarında enerji kesildiğinde kanalı kapatmalıdır. Bu koşulları sağlamak için, hava sızdırmaz

damperler hem üfleme hem de egzost kanallarında aşağıda belirtilen noktalara monte edilmelidir.

- Santral değişik sınıflardaki odalara hizmet ediyorsa, değişik zonların kesişme noktalarına,
- Santral birkaç kata hizmet ediyorsa, bütün kat branşmanlarına,
- Hijyenistin şart koştuğu, aynı sınıftaki iki oda arasında havanın birbirine karışmaması gerektiği durumlarda zonlar arasına,
- 3. kademe filtrenin girişine, sistem çalışırken de filtreye servis verilecek veya değiştirilecek şekilde, hava sızdırmaz damperler konulmalıdır (Güven, K.O., 2003).

• Duman Kanalları ve Yangın Damperleri

Duman kanalları, hijyenik açıdan istenmeyen hava akışını önleyecek şekilde yapılmalıdır. I. sınıf odaların üfleme kanallarına monte edilecek yangın damperleri tehlike anında kapandığında, diğer alanlara mikroorganizmaların taşınmasını önlemek için, emme aspiratörlerini de durduracak şekilde olmalıdır.

2.5.6.4 Klima Santralleri

Santral bileşenleri, kanallardan beklenen bütün özellikleri sağlamalı, temizlik ve bakımları en kolay yapılacak şekilde dizayn ve monte edilmelidir. Bu koşulları sağlamak için,

- Santrallerin iç yüzeyleri düzgün ve temizlenmesi kolay olmalıdır,
- Santral içindeki parçalar kolayca dışarı çıkartılabilecek şekilde kızaklı yapılmalıdır,
- Santrallerin en azından fan, filtre, nemlendirici, kurutucu hücrelerinin kapıları üzerinde gözetleme delikleri ve hücrelerin içinde de aydınlatma lambaları olmalıdır,
- Santrallerin bütün hücreleri kapılı olmalıdır,
- Santrallerin hücre kapakları hava sızdırmaz olmalıdır (DIN V24194 Kısım 2 Sınıf II) (Güven, K.O., 2003).

• Hava Filtreleri

Toz filtre elemanları filtre gövdesine sıkı şekilde monte edilmeli, kontrol deliği kullanılması durumunda, 2 kPa basınçta kontrol deliğinden kaçan hava miktarının, filtrenin anma debisinin %0,003'ünü geçmediği test edilmelidir (Hürtürk, Ş., 2000).

Toz filtrelerde yoğunlaşma sıcaklığının altına düşürülmemelidir ve filtre malzemesinden geçen

havanın bağıl nemi %90-%95 arasında tutulmalıdır (Güven, K.O., 2003).

Her bir filtre kademesinde, işletme şartlarını izlemek için diferansiyel basınç manometresi kullanılmalıdır. Filtrelerin üzerinde imalatçı tarafından filtre sınıfı, filtre akışkanının cinsi, başlangıç ve kabul edilebilir son diferansiyel basınçları gösteren bir etiket yerleştirilmelidir.

- **Vantilatör**

Basma vantilatörü 1. ve 2. kademe filtrelerin arasına yerleştirilmeli ve vantilatörde su oluşumu önlenmelidir (Güven, K.O., 2003).

- **Nemlendirici**

2. kademe filtreden önce yerleştirilecek nemlendiriciler, basma hattında nemlendiriciden sonra damlacık oluşmayacak ve nemlendirme mesafesinin sonunda bağıl nem %90'dan fazla olmayacak şekilde tesis edilmelidir (Güven, K.O., 2003).

- **Nem Alıcı Hava Soğutucuları**

Nem alıcı hava soğutucuları, 2. kademe filtreden önce yerleştirilmelidir (Güven, K.O., 2003). Hava soğutucularının konstrüksiyonu, yoğuşma sularını çok iyi atacak şekilde olmalıdır. Sistem çalışırken veya durdurulduğunda, yoğuşma katı, sıvı ve gaz şeklindeki kirliliğin basma havasına girmesi önlenmelidir. Yoğuşma drenajı kesinlikle doğrudan doğruya pis su borusuna bağlanmamalıdır.

- **Susturucular**

Susturucuların hava ile temas eden yüzeyleri, aşınma ve çürümeye dayanıklı olmalı, su tutmamalıdır. Susturucular mekanik darbelere karşı delikli sac veya örgülü tel ile korunmalıdır.

- **Menfezler**

Menfezler, temizlik ve dezenfeksiyonun sağlanması için, kolay ulaşılabilir ve sökülebilir olmalıdır. Ameliyathanelerdeki basma menfezleri, oda havasının tekrar içine kaçmasını önlemelidir.

Ameliyathanelerdeki egzost havasının 1200 m³/h'i döşeme seviyesinden, geri kalanı tavana yakın yerden atılmalıdır. Egzost menfezlerinin alt ucu, döşemeden birkaç cm yukarıda olmalıdır (Hürtürk, Ş., 2000).

2.5.6.5 Ameliyathanelerde Klima Sistemleri

Ameliyathanelerde klima sistemiyle, aşağıdaki fonksiyonlar yerine getirilmelidir:

- Ameliyat masasının üzeri ve alet masası gibi özel koruma gerektiren alanlarda, havadaki mikroorganizma konsantrasyonu belirlenen sınırların altında tutulmalıdır,
- Odalar arasında gerekli ve doğru yöndeki hava akışı sağlanmalıdır,
- İnsanların bulunduğu bölgede, atık anestezi gaz konsantrasyonu ve diğer malzeme yükleri belirlenen sınırlar içinde tutulmalıdır,
- Oda şartları korunmalıdır.

Ameliyathanelerde, laminar akımlı havalandırma sistemi tercih edilir (www.reform.com.tr/teknik_bilgiler/kutuphane). Bu sistemin kullanılmasıyla, odadaki mikrop konsantrasyonu 100-500 CFU/m³'den 10 CFU/m³ seviyelerine indirilebilir ve böylece hastanın maruz kalabileceği enfeksiyon riski, %50 oranında azalır (Güven, K.O., 2003).

3. TEMİZ ODA TEKNOLOJİSİNDE TERMODİNAMİK VE EKSERJİEKONOMİK BAĞINTILAR

3.1 Genel Termodinamik Bağıntılar

3.1.1 Entalpi

Entalpi,

$$H=U+P*V \quad (3.1)$$

veya birim kütle için,

$$h=u+p*v \quad (3.2)$$

şeklinde yazılır.

Entalpi terimi, hem toplam entalpi H, hem de özgül entalpi h'yi belirtmek için kullanılır.

3.1.2 Mükemmel Gazlar, Sıvılar ve Katıların İç Enerji ve Özgül Isı Bağıntıları

Hal değişimi sırasında, mükemmel gazın iç enerji değişimi,

$$\Delta u=u_2-u_1= \int_1^2 C_v(T)dT \cong C_{v,ort}(T_2-T_1) \quad (3.3)$$

entalpi değişimi,

$$\Delta h=h_2-h_1= \int_1^2 C_p(T)dT \cong C_{p,ort}(T_2-T_1) \quad (3.4)$$

olarak tanımlanır.

Denklemlerdeki C_v ve C_p sırasıyla, sabit hacimdeki ve sabit basınçtaki özgül ısı değerleridir.

Özgül ısı, bir maddenin kütlelerinin sıcaklığını bir bir derece arttırmak için gerekli enerjidir.

Sıkıştırılmayan maddeler (sıvı ve katı) için iç enerji değişimi,

$$\Delta u= \int_1^2 C(T)dT \cong C_{ort}(T_2-T_1) \quad (3.5)$$

entalpi değişimi ise,

$$\Delta h=\Delta u+v\Delta P \quad (3.6)$$

şeklinde yazılır.

3.1.3 Sürekli Akışlı Açık Sistemler

İncelenen hastahane için, ısıtma ve soğutma sistemlerinde, sürekli akışlı açık sistem oldu kabul edilmiştir. Sürekli akışlı açık sistemlerde,

- Kontrol hacmine giren ve kontrol hacminden çıkan toplam kütle ve enerji, birbirine eşit olmak zorundadır, çünkü m_{KH} ve E_{KH} sabittir.
- Kontrol hacmine giren ve kontrol hacminden çıkan akışkanların özellikleri, zamana göre sabittir. Giriş ve çıkıştaki kütle debisi değişmez.
- Sistemin çevreyle birim zamanda yaptığı iş ve ısı alışverişi sabittir.

Sürekli akışlı sistemde, kütle korunumu ilkesi aşağıdaki gibidir,

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_c \quad (3.7)$$

Bağıntıdaki g alt indisi girişi, ç alt indisi ise çıkışı göstermektedir.

Mühendislik uygulamalarının çoğunda yalnızca bir akış, bu nedenle bir giriş ve bir çıkış mevcuttur. Bu durumda 1 alt indisi girişi, 2 alt indisi çıkışı göstermek üzere, denklem (3.7) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (3.8)$$

Sürekli akışlı açık sistemde enerjinin korunumu ilkesi ise aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum m_c \theta_c - \sum m_g \theta_g \quad (3.9)$$

Denklemden θ akışkanın birim kütle için toplam enerjisidir.

Potansiyel ve kinetik enerjilerin sabit olduğu; kütle debisinin değişmediği kabul edilirse, giriş ve çıkış halleri, sırasıyla 1 ve 2 indisleriyle gösterilmek üzere, bir girişli ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistem için enerjinin korunumu,

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (3.10)$$

olarak yazılır. Denklemi kütle debisi \dot{m} 'e bölerek ve işi ihmal ederek, birim kütle için 1. yasa tanımlanır:

$$q = h_2 - h_1 = \Delta h \quad (3.11)$$

Burada q birim kütle transferi olup,

$$q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} \quad (3.12)$$

şeklinde yazılır.

Denklemdaki \dot{Q} , kontrol hacmi ile çevresi arasında birim zamandaki ısı transferidir.

$\Delta h = h_g - h_c$ ise akışkanın entalpi değişimi olup, giriş ve çıkış halleri için entalpi değerlerinin tablolardan okunmasıyla bulunur.

Mükemmel gazlar için entalpi değişimi, yaklaşık olarak (3.4) bağıntısıyla hesaplanabilir.

3.1.4 Psikometri

3.1.4.1 Kuru Havanın Entalpisi

İklimlendirme uygulamalarında, havanın sıcaklığı genellikle $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır ve bu aralıkta, kuru hava mükemmel gaz kabul edilebilir ve C_p değeri sabit bir ortalama değer olarak $1,005\text{ kJ/kgK}$ kabul edilir (Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2002). $T_0=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alınarak kuru havanın entalpisi ve entalpi değişimi aşağıdaki şekilde yazılır,

$$h_{\text{kuru hava}} = C_p * T = 1,005 * T \quad (3.13)$$

ve

$$\Delta h_{\text{kuru hava}} = C_p * \Delta T = 1,005 * \Delta T \quad (3.14)$$

Bu denklemlerde T , $^{\circ}\text{C}$ olarak havanın sıcaklığını, ΔT ise sıcaklık değişimini göstermektedir.

3.1.4.2 Nemli Hava İle İlgili Tanımlar

Özgül nem (w), nemli hava içindeki nem kütlesinin kuru hava kütlesine oranı olup,

$$w = \frac{m_v}{m_a} \quad (3.15)$$

şeklinde yazılır.

Özgül nem,

$$w = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / (R_v T)}{P_a V / (R_a T)} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} \cong 0,622 \frac{P_v}{P_a} \quad (3.16)$$

şeklinde tanımlanır (Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2002).

Bağıl nem (ϕ), nemli hava içindeki su buharının mol oranının, aynı sıcaklık ve basınçta doymuş havanın mol oranına bölümü olup,

$$\phi = \frac{P_v V / (R_v T)}{P_g V / (R_v T)} \quad (3.17)$$

şeklinde yazılır.

Nemli havanın entalpisi,

$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v \quad (3.18)$$

olarak yazılır. Denklemin düzenlenmesiyle,

$$h = \frac{H}{m_a} = h_a + \frac{m_v}{m_a} h_v = h_a + w h_v \quad (3.19)$$

veya $h_v \approx h_g$ olduğu için,

$$h = h_a + w h_g \quad (3.20)$$

denklemleri elde edilir.

Bu denklemdeki h_a kuru havanın entalpisi, h_g de nemli hava sıcaklığındaki su buharının entalpisidir.

3.1.4.3 Bir Hastahanedeki İklimlendirme İşlemleri

Bir hastahanedeki iklimlendirme sisteminin amacı, ortam ısı yükünü ve temiz hava ihtiyacını karşılamak üzere şartlandırılmış ve filtre edilmiş havayı ortama göndermektir.

Hastahanedeki iklimlendirme işlemleri, sürekli akışlı açık sistemlerde gerçekleşir. Hesaplamalarda, sürekli akışlı açık sistemler için kütle ve enerji korunumu denklemleri kullanılmalıdır.

- **Nemli Havanın Duyulur Isıtılması**

Özgül nemin sabit olması nedeniyle, nemli havayı duyulur ısıtma işlemi, psikometrik diyagramda, soldan sağa doğru giden yatay bir doğru ile belirlenir. Bu işlem sırasında, havanın bağıl nemi azalmaktadır (Sunaç, B., Kenber, E., Çelimli, İ., Bilge, M., Uzgur, S., Giray, S., Yücel, T., 2001).

Bu işlem sırasında kütle korunumu denklemi, kuru hava için $\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$, su için $w_1 = w_2$

bağıntılarıyla yazılır. Bu durumda enerjinin korunumu denklemi aşağıdaki şekle dönüşür,

$$\dot{Q} = \dot{m}_a (h_2 - h_1) \quad (3.21)$$

veya

$$q = h_2 - h_1 \quad (3.22)$$

Bu denklemde h_1 ve h_2 sırasıyla, birim kuru hava kütlesi için havanın giriş ve çıkıştaki entalpileridir.

• Soğutma ve Nem Alma

Nemli hava, başlangıçtaki çığ noktasının altındaki bir sıcaklığa soğutulduğunda, içindeki nem sıvı fazında bu havadan ayrılır. Havadan ayrılan suyun sıcaklığı, başlangıçtaki çığ noktası sıcaklığı ile son sıcaklık olan doyma noktası sıcaklığı arasında bir miktar değişmesine karşın, sistemden yoğuşarak damlalar halinde ayrılan suyun sıcaklığı, havanın sistemi terk ettiği sıcaklık olarak kabul edilir (Sunaç, B., Kenber, E., Çelimli, İ., Bilge, M., Uzgur, S., Giray, S., Yücel, T., 2001).

Kütle dengeleri;

Kuru hava için,

$$\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_a \quad (3.23)$$

Su için,

$$\dot{m}_{a_1} w_1 = \dot{m}_{a_2} w_2 + \dot{m}_{su} \quad (3.24)$$

veya

$$\dot{m}_{su} = \dot{m}_a (w_1 - w_2) \quad (3.25)$$

Enerji dengesi,

$$\dot{Q} = \dot{m}_{a_2} h_2 - \dot{m}_{a_1} h_1 + \dot{m}_{su} h_{su} = \dot{m}_a (h_2 - h_1) + \dot{m}_{su} h_{su} \quad (3.26)$$

şeklinde yazılır. Burada 1 ve g indisleri giriş, 2 ve ç indisleri çıkış halini gösterir.

3.1.5 Termodinamiğin İkinci Yasası

Termodinamiğin ikinci yasası, enerjinin niceliği yanında, niteliğini de ön plana çıkarır. Birinci

yasa enerjinin niceliği üzerinde durur ve enerjinin bir biçimden diğerine dönüşümü sırasındaki değişimleri, sayısal değerlerle ifade eder. İkinci yasa ise enerjinin niteliğini ve bir hal değişimi sırasında bu niteliğin nasıl azaldığını hesaplamak, için somut yöntemler ortaya koyar.

3.1.5.1 Isı Makineleri ve Isıl Verim

İş kolaylıkla diğer enerji biçimlerine dönüştürülebilir, fakat diğer enerji biçimlerini işe dönüştürmek kolay değildir. Isıl enerjinin işe dönüşmesi, ısı makineleri aracılığıyla gerçekleşir.

Bir ısı makinesinin net işi, her zaman giren ısı enerjiden azdır. Başka bir deyişle, ısı makinesine verilen ısı enerjinin yalnızca bir bölümü işe dönüşür. Bir ısı makinesine giren ısı enerjinin net işe dönüşebilen bölümü, ısı makinesinin ısı verimi (η_{th}) olarak tanımlanır.

$$Verim = (\text{elde edilmek istenen değer}) / (\text{harcanması gereken değer}) \quad (3.27)$$

Isı makineleri için elde edilmek istenen değer, yapılan net iştir. Bu amaçla harcanması gereken değer ise, aracı akışkana verilen ısı enerjidir. Bu durumda bir ısı makinesinin ısı verimi aşağıdaki şekilde tanımlanabilir,

$$Isıl\ verim = (\text{çıkan net iş}) / (\text{giren ısı enerjisi}) \quad (3.28)$$

veya

$$\eta_{th} = \frac{W_{net, \text{çıkan}}}{Q_{giren}} \quad (3.29)$$

$W_{net, \text{çıkan}} = Q_{giren} - Q_{çıkan}$ olduğu için ısı verim,

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_{çıkan}}{Q_{giren}} \quad (3.30)$$

şeklinde yazılabilir. Bir ısı makinesinin verimi, her zaman birden küçüktür (Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2002).

3.1.5.2 Soğutma Makineleri ve Etkinlik Katsayısı

Isı transferi her zaman sıcaklığın azaldığı yöndedir, başka bir deyişle, ısı transferi yüksek sıcaklıktaki ortamdan, düşük sıcaklıktaki ortama doğru olur. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan, yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı transferi, ancak soğutma makineleri kullanarak gerçekleşir.

Soğutma makineleri de, ısı makineleri gibi bir çevrimi esas alarak çalışır. Soğutma çevriminde kullanılan aracı akışkana, soğutucu akışkan adı verilir. En yaygın kullanılan

soğutma çevrimi; kompresör, yoğusturucu, kısılma vanası ve buharlaştırıcıdan oluşan buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimidir.

Bir soğutma makinesinin verimi, etkinlik katsayısı ile ifade edilir ve COP_{SM} ile gösterilir. Soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdan ısı çekmektir (Q_L). Bunu gerçekleştirmek için bir iş yapması gerekir ($W_{net,giren}$) (Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2002). Bu durumda soğutma makinesinin etkinlik katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{W_{net,giren}} \quad (3.31)$$

Bir çevrim için enerjinin korunumu ilkesi,

$$W_{net,giren} = Q_H - Q_L \quad (3.32)$$

olduğu için, soğutma makinesinin etkinlik katsayısı,

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} \quad (3.33)$$

şeklinde de yazılabilir.

3.1.5.3 Entropi

Termodinamiğin ikinci yasası, çoğu kez içinde eşitsizliklerin yer aldığı anlatımlara yol açar. Örneğin, tersinmez (gerçek) bir ısı makinesinin verimi, aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan tersinir bir ısı makinesinin veriminden daha küçüktür. Benzer bir şekilde, aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan iki soğutma makinesinden tersinir olanın etkinlik katsayısı (COP), tersinmez olanın etkinlik katsayısından daha büyüktür. Termodinamikte önemli sonuçlara yol açan bir başka eşitsizlik de, Classius eşitsizliğidir. Bu eşitsizlik şu şekilde ifade edilir,

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (3.34)$$

Sözlü anlatımla, $\delta Q/T$ 'nin termodinamik bir çevrim üzerinde integrali, sıfıra eşit veya sıfırdan küçüktür. \oint simgesi, integralin bir çevrim boyunca alındığını gösterir.

Classius eşitsizliğini, entropi üretimine eşitleyerek, aşağıdaki bağıntı yazılır.

$$S_{üretim,çevrim} \geq -\oint \frac{\delta Q}{T} \quad (3.35)$$

Bu bağıntıdaki $S_{\text{üretim, çevrim}}$ çevrim boyunca üretilen entropidir ve çevrim sırasında oluşan tersinmezliklerin ölçüsüdür.

Hal değişimi sırasındaki entropi üretimi, hiçbir zaman sıfırdan küçük olamaz. Isı transferi olmadığında, entropi değişimi yalnızca tersinmezliklerden kaynaklanır.

Kapalı bir sistemin sınırlarından kütle girişi ve çıkışı yoktur, bu nedenle entropi değişimi sistemin ilk ve son hallerindeki entropileri arasındaki farktır. Sistem sınırının T_k sıcaklığındaki bölgesinden Q_k kadar ısı transferi oluyorsa, entropi transferi

$$S_2 - S_1 = \sum \frac{Q_k}{T_k} + S_{\text{üretim, çevrim}} \quad (3.36)$$

şeklinde yazılır.

Kontrol hacimleri için entropi dengesi bağıntıları, kontrol hacmi sınırlarından kütle akışı ile aktarılan entropiyi de içerir. Entropi ve enerji, kontrol hacminden içeri veya dışarı kütle akışıyla taşınır, birim zamanda kontrol hacminden içeri veya dışarı taşınan entropi ya da enerji, kütle debisiyle orantılıdır.

Sürekli akışlı açık sistem için entropi üretimi bağıntısı, aşağıdaki şekildedir,

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\phi s_\phi - \sum \dot{m}_g s_g + \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \geq 0 \quad (3.37)$$

Düzgün akışlı dengeli açık sistem için toplam entropi üretimi ise,

$$S_{\text{üretim}} = \sum m_\phi s_\phi - \sum m_g s_g + (S_2 - S_1)_{KH} \sum \frac{Q_R}{T_R} \geq 0 \quad (3.38)$$

şeklinde yazılır. Bu denklemde 1 indisi kontrol hacminin ilk halini, 2 indisi son halini, g ve ϕ indisleri ise sırasıyla kontrol hacmine giriş ve kontrol hacminden çıkışı göstermektedir (Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2002).

Bir sistemin entropisinin değişmesine neden olan üç etken vardır:

- Isı transferi: Sisteme olan ısı transferi, sistemin entropisini artırır, sistemden olan ısı transferi de sistemin entropisini azaltır. Kapalı bir sistemin entropisi, yalnızca çevreye ısı transferi sonucu azalabilir.
- Kütle akışı: Kütle akışı, bir kontrol hacmine veya bir kontrol hacminden hem enerji hem de entropi taşınmasına aracı olur.

- Tersinmezlikler: Bir hal değişimi sırasında, entropi üretimi tersinmezliklerden kaynaklanır, tersinir bir hal değişimi için $S_{\text{üretim}}=0$ olur.

Bir hal değişimi sırasında saf madde için entropi değişimi incelenirse, bunun ilk ve son hallerdeki entropi değerinin farkı olduğu görülür.

$$\Delta S = m(s_2 - s_1) \quad (3.39)$$

Sıvı ve katılar için bir hal değişimi sırasında, özgül ısı C 'nin sıcaklıkla birlikte değişimi ihmal edilerek, entropi değişimi aşağıdaki şekilde yazılır,

$$s_2 - s_1 = C_{\text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (3.40)$$

Mükemmel gazlar için bir hal değişimi sırasında sabit özgül ısı kabulüyle entropi değişimi,

$$s_2 - s_1 = C_{v,\text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} = C_{v,\text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (3.41)$$

olarak tanımlanır.

3.2 Bir Hastahane Klimasında Termoekonomik Analiz

Termoekonomi, ekserji analizleriyle ekonomik prensipleri birleştiren bir analiz yöntemidir.

Termoekonominin temelini oluşturan termodinamik özellikler, ekserji kavramına dayanmaktadır. Ekserji analizi ile, sistemlerin yok olan ekserjileri ve ekserji kayıpları gibi termodinamik verimsizlikleri değerlendirilir. Bu verimsizliklerin maliyetleri belirlenebilirse, sistemin son ürün maliyetinin azaltılması yoluna gidilebilir.

Birden çok ürünü olan sistemlerin, her bir ürününün maliyeti belirlenerek, tüm bu maliyetler, son ürün maliyetine eklenir.

Termoekonomik analizin başlıca amaçları,

- Sistemin birden fazla ürünü varsa, her bir ürünün maliyetini tek tek belirlemek,
- Maliyet oluşum sürecini tespit etmek ve
- Tek bir bileşenin veya sistemin tamamının optimizasyonunu sağlayacak öneriler geliştirmektir.

3.2.1 Ekserji

Ekserji yani kullanılabilirlik, bir enerji kaynağındaki enerjinin ne kadarının kullanılabilir işe dönüştürülebileceğini, başka bir deyişle, sistemden elde edilebilecek maksimum yararlı işi tanımlamaktadır.

Sistemden elde edilebilecek maksimum işi belirlerken, tersinmezlikler dikkate alınmaz ve bu belirlemeyi yapmak için, hal değişimi sonunda sistemin ölü halde olması, yani çevresiyle termodinamik dengede bulunması gerekir. Ölü haldeki sistemin basıncı ve sıcaklığı, çevre basıncı ve sıcaklığına eşittir. Sistemin kinetik ve potansiyel enerjisi yoktur ve sistem çevreyle kimyasal reaksiyona da girmez. Ölü haldeki sistemin özellikleri, sıfır alt indisıyla gösterilir.

Bir sistemden maksimum işi sağlamak için, hal değişimi sonunda sistemin ölü halde bulunmasının gerekliliğinin nedeni, şu şekilde açıklanabilir. Sistemin son haldeki sıcaklığının çevre sıcaklığından farklı olması durumunda, çevre sıcaklığıyla bu sıcaklık değeri arasında çalışan bir ısı makinesiyle iş yapmak mümkündür. Sistemin son haldeki basıncının çevre basıncından farklı olması durumunda ise, bu basınç farkı kullanılarak genişleme işi yapılabilir. Bu nedenle, bir sistemde elde edilebilecek maksimum iş, sistem başlangıç durumundan, tersinir bir hal değişimiyle ölü hale getirildiğinde elde edilebilir.

Bir sistemin kullanılabilirliği, yalnızca sistemin değil, sistem ve çevrenin birlikte bir özelliğidir (Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2002).

3.2.1.1 Ekserji Bileşenleri

Sistemin toplam ekserjisi E ; manyetik, elektriksel, nükleer gerilmeler ve yüzey gerilmelerinin ihmal edilmesiyle, dört bileşen halinde incelenebilir. Bunlar; fiziksel ekserji (E^{PH}), kimyasal ekserji (E^{CH}), kinetik ekserji (E^{KN}) ve potansiyel ekserjidir (E^{PT}). E aşağıdaki denklemle tanımlanır:

$$E = E^{PH} + E^{CH} + E^{KN} + E^{PT} \quad (3.42)$$

Çevreye göre durgun bir sistemde, kinetik ve potansiyel ekserjiler sıfır olarak düşünülür. Böylece ekserji formülü,

$$E = E^{PH} + E^{CH} \quad (3.43)$$

şekline dönüşür.

- **Fiziksel Ekserji**

Fiziksel Ekserji, bulunan halin çevre halinden fiziksel farklılıklarından kaynaklanır. Yani

sistemin, içindeki bileşenlerin miktarı değişmeden çevre haline gelmesiyle yapacağı maksimum faydalı iş veya ekserjidir.

Saf maddelerin özgül fiziksel ekserjisi,

$$e^{PH} = (h - h_o) - T_o(s - s_o) \quad (3.44)$$

olarak tanımlanır (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996).

Toplam ekserji akışı ise,

$$E^{PH} = m * e^{PH} \quad (3.45)$$

şeklinde yazılabilir.

Nemli hava ise, kuru hava ve su buharından oluşan mükemmel gaz karışımı olarak incelenir ve özgül ekserjisi,

$$e_t = (c_{p,a} + w c_{p,v}) T_o \left(\frac{T}{T_o} - 1 - \ln \frac{T}{T_o} \right) + RT_o \left((1 + \tilde{w}) \ln \frac{1 + \tilde{w}_o}{1 + \tilde{w}} + \tilde{w} \ln \frac{\tilde{w}}{\tilde{w}_o} \right) + \left[(1 + \tilde{w}) RT_o \ln \frac{P}{P_o} \right] \quad (3.46)$$

olarak tanımlanır (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996).

Bağıntıdaki e_t birim kuru hava kütlesi için nemli havanın akış ekserjisidir ve hem fiziksel hem de kimyasal ekserjileri içermektedir. Bağıntıdaki \tilde{w} ise aşağıdaki şekilde hesaplanır (Kıncay, O., Akbulut, U., Temir, G., 2004).

$$\tilde{w} = w/0,622 \quad (3.47)$$

Baca gazı için fiziksel ekserji ise aşağıdaki gibi tanımlanır (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996).

$$\frac{e^{PH}}{C_p T_o} = \left[\frac{T}{T_o} - 1 - \ln \frac{T}{T_o} \right] + \ln \left(\frac{P}{P_o} \right)^{(k-1)/k} \quad (3.48)$$

• Kimyasal Reaksiyonlar ve Kimyasal Ekserji

Hastahanedeki klima santralini besleyen sıcak su kazanında, doğalgaz ve havanın yanmasıyla sıcak su elde edilmektedir. Bu işlem, hastahanedeki bütün ısıtma/soğutma sistemlerinde gerçekleşen tek kimyasal reaksiyondur. Bir kimyasal reaksiyon sırasında, her bir bileşenin

kütlesi sabittir yani kütle korunumu ilkesi geçerlidir. Bu sırada mol miktarları ise korunmamaktadır.

Sürekli akışlı açık sistemlerde, yanma işlemine giren ve buradan çıkan bir karışanın entalpisi, birim mol için aşağıda tanımlanmıştır:

$$\text{Entalpi} = \bar{h}_f^o + (\bar{h} - \bar{h}^o) \quad (3.49)$$

Burada \bar{h}_f^o standart referans halinde oluşum entalpisi, \bar{h} verilen durumdaki duyulur entalpi, \bar{h}^o ise standart referans halindeki duyulur entalpidir (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996).

Kimyasal reaksiyonun olduğu sürekli akışlı açık sistemde, kinetik ve potansiyel enerji değişimi ihmal edilerek, yakıtın birim mol miktarına göre ifade edilen enerjinin korunumu bağıntısı,

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{n}_c (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_c - \sum \dot{n}_g (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_g \quad (3.50)$$

olarak yazılır (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996). Burada n_c yanma işleminden çıkan, n_g yanma işlemine giren bileşenlerin mol miktarlarıdır.

Kimyasal ekserji, karışanların mol oranları çevre olarak kabul edilen karışımlara eşitlenene kadar, yapılacak maksimum iş veya ekserji miktarıdır. Kolaylık sağlaması için standart kimyasal ekserji tanımlamaları, sıcaklığı T_o , basıncı ise P_o olan standart bir çevre kabulüne dayanır.

Çevrede gaz fazında olan n adet gazdan oluşmuş gaz karışımı için kimyasal ekserji, her bir gazın karışımdaki mol oranları kullanılarak bulunur. Bütün bileşenlerin toplanmasıyla, karışımın birim molünün kimyasal ekserjisi,

$$\bar{e}^{CH} = -\bar{R}T_o \sum x_k \ln \frac{x_k^e}{x_k} \quad (3.51)$$

olarak hesaplanır (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996).

Yanma reaksiyonundaki sistemin ekserji dengesi aşağıda tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} \bar{e}_f^{CH} = & [\bar{g}_F + (a + b/4)\bar{g}_{O_2} - a\bar{g}_{CO_2} - (b/2)\bar{g}_{H_2O(l)}](T_o, P_o) + \\ & [a\bar{e}_{CO_2}^{CH} + (b/2)\bar{e}_{H_2O(l)}^{CH} - (a + b/4)\bar{e}_{O_2}^{CH}] \end{aligned} \quad (3.52)$$

Bu denklemdeki a ve b, hidrokarbon yakıtının atom sayılarıdır. Hidrokarbon sayısı birden fazla olan yakıtlar için, bu katsayılar yerine stokiometrik katsayılar kullanılır (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996).

Denklemdaki Gibbs fonksiyonu,

$$\bar{g}_F = \sum_{i=1}^n v_{r,i} \bar{g}_{r,i} \quad (3.53)$$

ve

$$\sum_{i=1}^n v_{p,i} \bar{e}_F^{CH} = -\bar{R}T_0 \sum_{i=1}^n v_{p,i} \ln \frac{v_{r,i}}{v_{p,i}} \quad (3.54)$$

şeklinde bulunur.

Formüllerdeki F alt indisi yakıtı sembolize etmektedir. $v_{p,i}$ ve $v_{r,i}$ ise sırasıyla reaksiyona giren ve çıkanların stokiometrik katsayılarıdır (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996).

3.2.1.2 Ekserjinin Yok Olması

Sistemdeki bir elemanın birim zamanda kaybedilen ekserji miktarı E_k ,

$$E_k = \sum (E_L + E_D) = \sum E_g - \sum E_c \quad (3.55)$$

şeklinde yazılır.

Bu eşitlikteki E_L , incelenen elemandan başka sisteme transfer olan ekserji akısı, E_D ise eleman içinde tersinmezliklerden dolayı tüketilen ve başka hiçbir yerde kullanılmayan ekserji akısıdır.

Bütün sistemde yok edilen ekserji ise, her bir elemanda yok edilen ekserji toplamına eşittir.

$$\sum_{x=1}^n E_{k_x} = E_{k_1} + E_{k_2} + \dots + E_{k_n} \quad (3.56)$$

Herhangi bir elemanda yok edilen ekserjinin, bütün sistemde yok edilen ekserjiye oranı (y_k), o elemanın sistemin kayıp ekserjisinin ne kadarına yol açtığını gösterir ve

$$y_k = \frac{E_k}{\sum E_k} \quad (3.57)$$

şeklinde gösterilir (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996).

3.2.1.3 Ekserjinin Maliyeti

Yok edilen ekserji, çevreyle iş, ısı ve madde alışverişinde bulunan sistemlerde verimi düşürür. Kaybolan birim ekserji akısının maliyeti (C); ekserji akısı (E) ile, bu ekserji akısını oluşturmak için harcanan birim ekserji maliyetinin (c) çarpımına eşittir.

$$C=c*E=c*m*e \quad (3.58)$$

Herhangi bir bileşen için maliyet denklemi aşağıdaki şekilde yazılır (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996),

$$\sum C_e + C_w = C_q + \sum C_i + Z_i \quad (3.59)$$

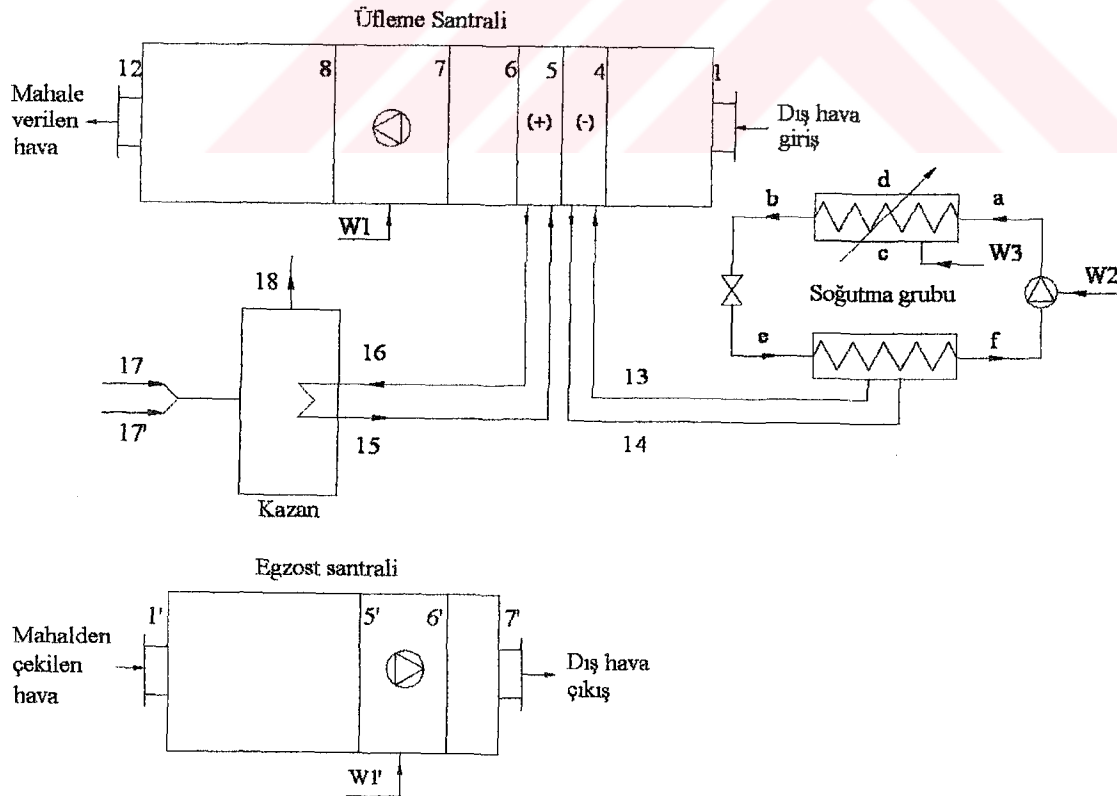
Burada Z, bir bileşenin yatırım ve işletme maliyetlerini içeren, bir değere getirilmiş parasal giderdir. Parasal giderler; ekserji dışındaki (yatırım, işletme v.b.) masraflar ve yok edilen ekserjinin parasal değeri olmak üzere, iki grupta toplanabilir. Değerlendirilen bileşende, hangi parasal giderin ekserji akısının maliyetinin daha ağırlıklı olduğunu belirleyerek, o bileşenin iyileştirilebilmesi için yapılması gerekenler belirlenebilir. Bu değerlendirmede, aşağıdaki şekilde tanımlanan termoeconomik faktör f kullanılır (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996).

$$f = \frac{Z}{Z + c_r E_k} \quad (3.60)$$

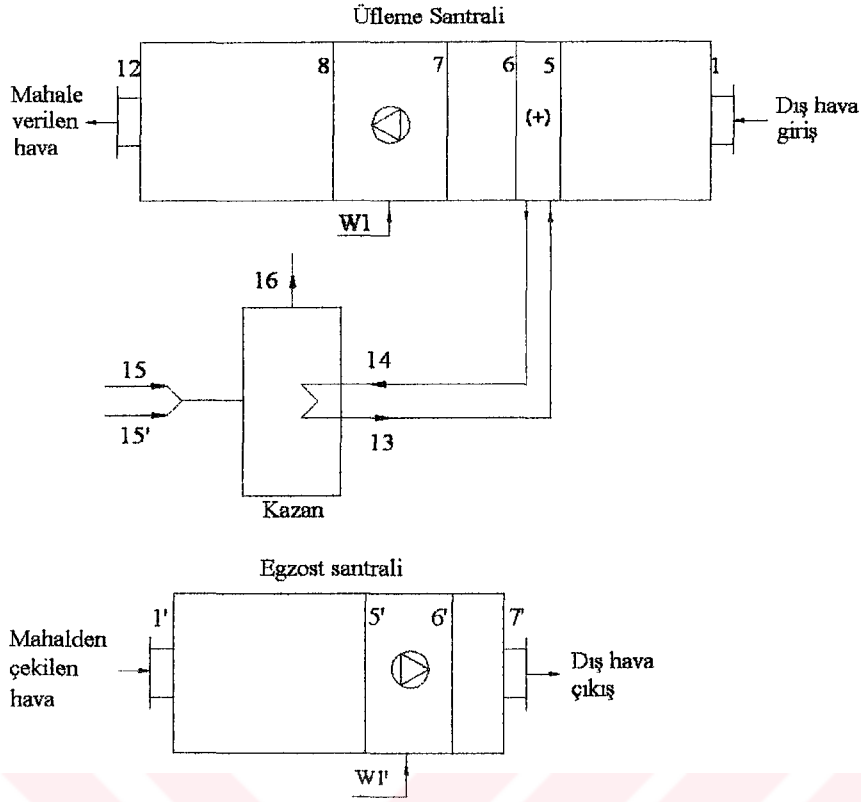
f değerinin yüksek olması, incelenen bileşenin parasal giderlerini, büyük ölçüde yatırım ve işletme masraflarının oluşturduğunu gösterir. Bu durumda, bileşenin veriminin yükseltilmeye çalışılması, örneğin verimi yüksek olan daha pahalı donanım kullanmak, doğru bir çözüm olmayacaktır. f değeri küçük çıktığında ise, yatırım ve işletme masraflarını arttırmak gerekse bile, yüksek verimli donanımlar kullanmak gerekmektedir.

4. HASTAHANE ŞARTLANDIRILMASINDA TERMOEKONOMİK ANALİZ VE UYGULAMASI

Bu uygulamada incelenen hastahane binası, 'Temiz Oda Tasarımı ve Bir Ameliyathaneye Uygulanarak Projelendirilmesi' isimli tezde de inceleme konusu olan, Bayındır Holding Batı Turizm Merkezi Projesi'nin bir parçasıdır. Söz konusu bina, İstanbul Beylikdüzü'nde yer almakta olup binadaki steril hacimler, ikinci katta bulunmaktadır. Şartlandırılacak mahaller; ameliyathaneler ve uyanma hacimleri ile steril koridor ve çevresi olarak 2 gruba ayrılmıştır. Her bir mahal grubu için ayrı bir klima santrali, kazan ve chiller sistemi öngörülmüştür. Mahaller için üfleme santralleri ile egzost santralleri ayrıdır ve şartlandırmada hijyenik nedenlerle, %100 dış hava kullanılmaktadır. Hesaplamalarda; duyulur ve gizli ısı yükleri, mahal debileri, mahal boyutları, mahallerdeki kanal boyutları, kanal kayıpları ve menfez adetleri, adı geçen tezden alınmış, bu bilgiler kullanılarak yeni klima santrali, kazan ve chiller sistemi tasarlanmış, bu sistem için sürekli akışlı açık sistem kabulüyle, ekserji ve maliyet analizi yapılmıştır. Her iki mahal grubu için tesisat projeleri, Ek 1 ve Ek 2'de verilmiştir. Yaz sezonunda hem chiller, hem de kazan devrededir. Kış sezonunda ise yalnızca kazan devrededir. Kazanlarda yakıt olarak doğalgaz, chillerlerde de soğutucu akışkan olarak R22 kullanılmaktadır. Yaz sezonu, Mayıs-Ekim ayları arasında; kış sezonu, Kasım-Nisan ayları arasındadır.



Şekil 4.1 Yaz sezonu için iklimlendirme sisteminin şematik gösterimi



Şekil 4.2 Kış sezonu için iklimlendirme sisteminin şematik gösterimi

Yaz ve kış sezonları için akım şemaları şekil 4.1 ve 4.2'de gösterilmiş ve aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

4.1 Ameliyathaneler-Uyanma Hacimleri

4.1.1 Yaz Sezonu İçin Ekserji Analizi

4.1.1.1 Temiz Hava Üfleme Santralinde Ekserji Analizi

Duyulur ısı yükü : $Q_d = 137919,6$ kJ/h

Gizli ısı yükü : $Q_g = 11052$ kJ/h

Toplam ısı yükü : $Q_t = 148971,6$ kJ/h

Dış hava şartları

$T_1 = 33$ °C KT $T_1 = 24$ °C YT,

İç hava şartları

$T_2 = 22$ °C KT $\phi = \%50$ 'dir.

Toplam hava debisi = 17300 m³/h'dir

Kanallardan üflenen hava sıcaklığı,

$T_2 - T_5 = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ kabul edilmiştir.

$T_5 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ KT , $12,3 \text{ }^\circ\text{C}$ YT olarak hesaplanır.

$h_5 = 34,8 \text{ kJ/kg}$ olarak okunur.

Santralde %100 dış hava kullanılmaktadır. Bu nedenle $T_1=T_3$ olarak yazılır.

$T_3 = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ KT $T_3 = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ YT $h_3 = 72,2 \text{ kJ/kg}$

Duyulur ısı oranı aşağıdaki bağıntıdan bulunur.

$$DIO = \frac{Q_d}{Q_t} \quad (4.1)$$

Bu bağıntı kullanılarak,

$$DIO = 0,926$$

olarak hesaplanır.

Cihaz çıkış havası :

$T_5 - T_4 = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ kabul edildi.

$T_4 = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ KT , $11,6 \text{ }^\circ\text{C}$ YT olarak hesaplanır.

$$h_4 = 33 \text{ kJ/kg}$$

Dış hava soğutma serpantininde $9,3 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa ve %100 bağıl neme getirilir.

Soğutucu kapasitesini hesaplamak için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$Q_s = V_i * \rho * \Delta h \quad (4.2)$$

(4.2) bağıntısı ile soğutucu kapasitesi aşağıda hesaplanmıştır.

$$Q_s = 917592 \text{ kJ/h}$$

Soğutma serpantininden çıkan dış hava KT= $14 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa ve %75 bağıl neme kadar ısıtılır.

Isıtıcı kapasitesi aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$Q_l = V_h * \rho * c_p * \Delta T \quad (4.3)$$

(4.3) bağıntısı ile ısıtıcı kapasitesi aşağıda hesaplanmıştır.

$$Q_l = 99523,44 \text{ kJ/h}$$

Toplam kütleli hava debisi şu şekilde hesaplanır:

$$m = \rho * V \quad (4.4)$$

Değerler yerine yerleştirilerek toplam kütleli hava debisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$m = 21175,0306 \text{ kg/h}$$

Suyun kütleli debisi,

$$m * \Delta h = m_{su} * c_{su} * \Delta T \quad (4.5)$$

şeklinde bulunur.

Bağıntı (4.5) kullanılarak, soğutma suyu debisi;

$$m_{su} = 44781,6437 \text{ kg/h}$$

Isıtma suyu debisi;

$$m_{su} = 1266,4492 \text{ kg/h olarak hesaplanır.}$$

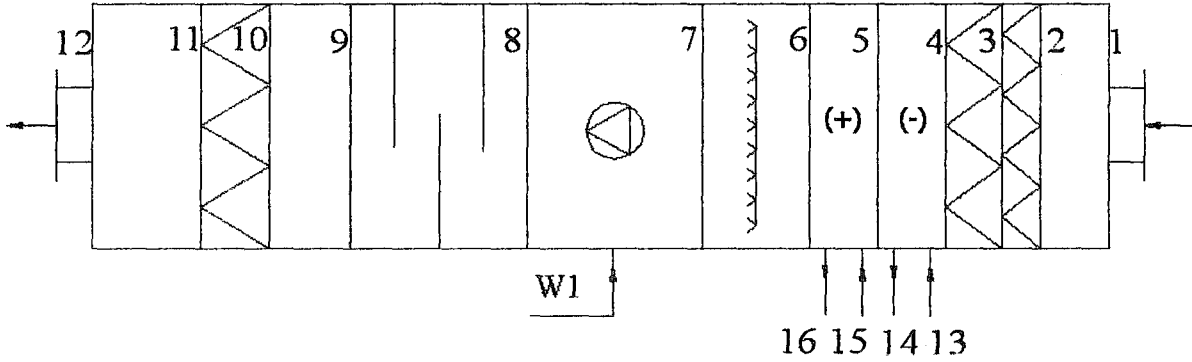
Çizelge 4.1 Sistemdeki noktaların fiziksel değerleri (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için yaz sezonu)

Nokta	Sıcaklık T (°C)	Özgül nem w (kg _s /kg _n)	Entalpi h (kJ/kg)
1	33	0,015	72,2
2	22	0,0082	42
3	33	0,015	72,2
4	14	0,0075	33
5	15	0,0080	34,8

Bulunan değerler Ek 3'deki psikometrik diyagramda gösterilmiştir.

Şekil 4.3'de, klima santrali şematik olarak gösterilmiştir. Hücreler sırasıyla; damperli emiş hücresi, EU3 filtre, EU4 filtre, soğutma serpantini, ısıtma serpantini, spreylendirici, vantilatör, susturucu, boş hücre, EU7 filtre ve damperli atış hücresidir. Bu klima santrali

üzerinde belirlenen noktaların ekserji kayıplarını hesaplanacaktır. Hücrelerin basınç kayıpları Ek 4'den okunur.



Şekil 4.3 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için taze hava üfleme santrali

Ekserji hesaplamalarında 1-12 noktaları için bağıntı (3.46), 13-16 noktaları için bağıntı (3.44) kullanılmış, belirtilen değerler bağıntılarda yerleştirilerek özgül ekserjiler hesaplanmıştır.

1 Noktası :

Bu nokta dış havanın damperli emiş hücresine girdiği noktadır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 306 \text{ K} \quad P_1 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_1 = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1 = 0,024 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv}^* = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa}^{**} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_1 = (1,00724 + 0,015 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{306}{306} - 1 - \ln \frac{306}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,024) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,024} + 0,024 \ln \frac{0,024}{0,015} \right] + \left[(1 + 0,024) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$e_1 = 0,1967 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

* c_{pv} santral ekserji analizinde sabit olarak düşünülmüştür.

** c_{pa} santral ekserji analizinde sabit olarak düşünülmüştür.

2 Noktası:

Bu noktada hava damperli atış hücresinden çıkarak EU3 filtreye girer. Bu nokta dış havanın özelliklerine sahiptir ve bu hücrede havanın fiziksel özelliklerinde değişim olmadığı için ekserjileri aynıdır.

$$e_2 = e_1 = 0,1967 \text{ kJ/kg şeklinde yazılır.}$$

3 Noktası:

Bu noktada EU3 filtreden çıkan hava EU4 filtreye girer. EU3 filtredeki basınç kaybı 40 Pa'dır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_3 = 306 \text{ K} \quad P_3 = 101,285 \text{ kPa}$$

$$w_3 = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3 = 0,024 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_3 = (1,00724 + 0,015 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{306}{306} - 1 - \ln \frac{306}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,024) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,024} + 0,024 \ln \frac{0,024}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,024) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,285}{101,325} \right]$$

$$e_3 = 0,1612 \text{ kJ/kg olarak hesaplanır.}$$

4 Noktası:

Bu nokta EU4 filtreden çıkış, soğutma serpantinine giriş noktasıdır. EU4 torba filtrede basınç kaybı 150 Pa'dır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_4 = 306 \text{ K} \quad P_4 = 101,135 \text{ kPa}$$

$$w_4 = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_4 = 0,024 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_4^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_4 = (1,00724 + 0,015 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{306}{306} - 1 - \ln \frac{306}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,024) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,024} + 0,024 \ln \frac{0,024}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,024) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,135}{101,325} \right]$$

$e_4 = 0,0279 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

5 Noktası:

Bu nokta soğutma serpantininden çıkış noktasıdır. Santrale $KT=33 \text{ }^\circ\text{C}$, $YT=24 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de giren hava, soğutma serpantininde soğutulur ve serpantin çıkışında $9,3 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa ve %100 bağıl neme ulaşır. 6 sıralı soğutucu batarya için basınç kaybı 130 Pa 'dır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_0 = 306 \text{ K} \quad P_0 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_5 = 282,3 \text{ K} \quad P_5 = 101,005 \text{ kPa}$$

$$w_5 = 0,0075 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5 = 0,01206 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_5 = (1,00724 + 0,0075 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{282,3}{306} - 1 - \ln \frac{282,3}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,01206) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,01206} + 0,01206 \ln \frac{0,01206}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,01206) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,005}{101,325} \right]$$

$e_5 = 0,7343 \text{ kJ/kg}$ şeklinde bulunur.

6 Noktası:

Bu nokta ısıtma serpantininden çıkış noktasıdır. Serpantine $9,3 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ve %100 bağıl

nemde giren hava, burada $KT=14$ °C ve $\phi=75\%$ 'e kadar ısıtılır. Santralde 2 sıralı ısıtıcı batarya kullanılmıştır ve basınç kaybı 30 Pa'dır.

Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_0 = 306 \text{ °K} \quad P_0 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_6 = 287 \text{ K} \quad P_6 = 100,975 \text{ kPa}$$

$$w_6 = 0,0075 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6 = 0,01206 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_6 = (1,00724 + 0,0075 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{287}{306} - 1 - \ln \frac{287}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,01206) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,01206} + 0,01206 \ln \frac{0,01206}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,01206) * 0,287 * 306 * \ln \frac{100,975}{101,325} \right]$$

$e_6=0,3478$ kJ/kg olarak hesaplanır.

7 Noktası:

Hava sprey tipi nemlendiriciden çıkar. Yaz klimasında nemlendirici hücre kullanılmamaktadır. Bu nedenle bu noktanın ekserjisi, 6 noktasının ekserjisi ile aynı değerdedir.

$e_7=e_6=0,3478$ kJ/kg şeklinde yazılır.

8 Noktası:

Bu noktada hava vantilatörden çıkarak susturucuya girer. Vantilatörün; santraldeki bütün hücrelerin, mahallerdeki kanalların ve menfezlerin basınç kaybını yenmesi gerekmektedir.

Santral hücrelerinin basınç kaybı=670 Pa

Kanallardaki basınç kaybı=539,3658 Pa

Radyo ve film stüdyosu ve ameliyathanelerde, dağıtıcı menfezler için tavsiye edilen hava çıkış hızı 1,5-2,5 m/s'dir. Burada hız 2 m/s olarak kabul edilmiştir. Bu hızdaki basınç kaybı menfez başına 11,7680 Pa'dır.

Menfezlerdeki basınç kaybı=menfez sayısı*birim menfez başına basınç kaybı=1*11,7680 Pa=11,7680 Pa

Menfezlerden önce konulan filtrelerden oluşan basınç kaybı = menfez sayısı*birim filtre başına basınç kaybı=1*750 Pa=750 Pa

Mahal üfleme kanallarına monte edilen yangın damperinin basınç kaybı= 16 Pa

Üfleme kanallarındaki volum damperlerinden oluşan basınç kaybı= damper sayısı*birim damper başına basınç kaybı=5*200 Pa=1000 Pa

Toplam basınç kaybı =2,990 kPa olarak hesaplanır.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_g = 287 \text{ K} \quad P_g = 103,965 \text{ kPa}$$

$$w_g = 0,0075 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_g = 0,01206 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_g^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_g = (1,00724 + 0,0075 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{287}{306} - 1 - \ln \frac{287}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,01206) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,01206} + 0,01206 \ln \frac{0,01206}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,01206) * 0,287 * 306 * \ln \frac{103,965}{101,325} \right]$$

$e_g=2,8363 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

9 Noktası:

Susturucudan çıkan hava boş hücreye girer. Susturucudaki basınç kaybı 150 Pa'dır.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_9 = 287 \text{ K} \quad P_9 = 103,815 \text{ kPa}$$

$$w_9 = 0,0075 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_9 = 0,01206 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_9^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_9 = (1,00724 + 0,0075 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{287}{306} - 1 - \ln \frac{287}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,01206) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,01206} + 0,01206 \ln \frac{0,01206}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,01206) * 0,287 * 306 * \ln \frac{103,815}{101,325} \right]$$

$e_9 = 2,8132 \text{ kJ/kg}$ şeklinde bulunur.

10 Noktası:

Boş hücreden çıkış, EU7 filtreye giriş noktasıdır. Bu noktanın ekserjisi 9 noktası ile aynıdır.

$e_{10} = 2,8132 \text{ kJ/kg}$ olarak yazılır.

11 Noktası:

EU7 filtreden çıkış noktasıdır. EU7 filtredeki basınç kaybı 150 Pa'dır. Bu noktada;

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{11} = 287 \text{ K} \quad P_{11} = 103,665 \text{ kPa}$$

$$w_{11} = 0,0075 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{11} = 0,01206 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{11}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{11} = (1,00724 + 0,0075 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{287}{306} - 1 - \ln \frac{287}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,01206) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,01206} + 0,01206 \ln \frac{0,01206}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,01206) * 0,287 * 306 * \ln \frac{103,665}{101,325} \right]$$

$e_{11} = 2,6848 \text{ kJ/kg}$ şeklinde hesaplanır.

12 Noktası:

Damperli atış hücresinden çıkış noktasıdır. Basınç kaybı 20 Pa'dır. Buradaki değerler;

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{12} = 287 \text{ K} \quad P_{12} = 103,645 \text{ kPa}$$

$$w_{12} = 0,0075 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{12} = 0,01206 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{12}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{12} = (1,00724 + 0,0075 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{287}{306} - 1 - \ln \frac{287}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,01206) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,01206} + 0,01206 \ln \frac{0,01206}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,01206) * 0,287 * 306 * \ln \frac{103,645}{101,325} \right]$$

$e_{12} = 2,6675 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

13 Noktası:

Bu noktada 7°C sıcaklığındaki soğutma suyu evaporatörden çıkarak soğutma serpantinine girer.

Buradaki değerler;

$$T_o = 306 \text{ K} \quad T_{13} = 280 \text{ K}$$

$$h_o = 72,2 \text{ kJ/kg} \quad h_{13} = 29,392 \text{ kJ/kg}$$

$$s_o = 0,4779 \text{ kJ/kgK} \quad s_{13} = 0,1061 \text{ kJ/kgK}$$

$$P_{13} = 1,0143 \text{ kPa}$$

$$e_{13} = (29,392 - 72,2) - 306(0,1061 - 0,4779)$$

$e_{13} = 70,9628 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

14 Noktası:

12°C sıcaklığındaki su soğutma serpantininden çıkarak evaporatöre gelir.

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 306 \text{ K} & T_{14} &= 285 \text{ K} \\
 h_0 &= 72,2 \text{ kJ/kg} & h_{14} &= 50,402 \text{ kJ/kg} \\
 s_0 &= 0,4779 \text{ kJ/kgK} & s_{14} &= 0,1804 \text{ kJ/kgK} \\
 & & P_{14} &= 1,4186 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$e_{14} = (50,402 - 72,2) - 306(0,1804 - 0,4779)$$

$e_{14} = 69,237 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

15 Noktası:

Bu noktada 90°C sıcaklığındaki su ısıtma serpantinine girer.

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 306 \text{ K} & T_{15} &= 363 \text{ K} \\
 h_0 &= 72,2 \text{ kJ/kg} & h_{15} &= 376,92 \text{ kJ/kg} \\
 s_0 &= 0,4779 \text{ kJ/kgK} & s_{15} &= 1,1925 \text{ kJ/kgK} \\
 & & P_{15} &= 70,14 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$e_{15} = (376,92 - 72,2) - 306(1,1925 - 0,4779)$$

$e_{15} = 86,0524 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

16 Noktası:

Bu noktada 70°C sıcaklığındaki su ısıtma serpantininden girer.

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 306 \text{ K} & T_{16} &= 343 \text{ K} \\
 h_0 &= 72,2 \text{ kJ/kg} & h_{16} &= 292,98 \text{ kJ/kg} \\
 s_0 &= 0,4779 \text{ kJ/kgK} & s_{16} &= 0,9549 \text{ kJ/kgK} \\
 & & P_{16} &= 31,19 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$e_{16} = (292,98 - 72,2) - 306(0,9549 - 0,4779)$$

$e_{16} = 74,818 \text{ kJ/kg}$ şeklinde bulunur.

Fan gücü aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$W1 = (\text{hava debisi} * \text{fan basıncı} * \text{kayış kasnak kayıp katsayısı}) / \text{verim} \quad (4.6)$$

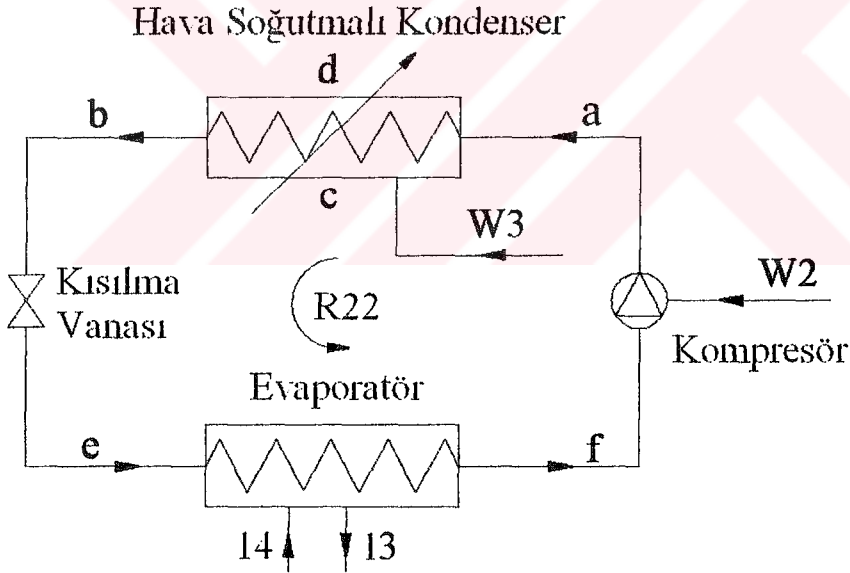
Formüldeki hava debisi (m^3/s), fan basıncı (Pa) cinsindedir. Kayış kasnak kayıp katsayısı 1,2 ve kabul edilen fan verimi 0,70 olarak seçilmiştir. Değerler yerine yerleştirilerek W1 hesaplanır.

$$W1 = \frac{4,8055 * 2990,0757 * 1,2}{0,70} = 24632,5284 \text{ W} = 88677,1022 \text{ kJ/h}$$

4.1.1.2 Hava Soğutmalı Chillerde Ekserji Analizi

Klima santralının soğuk su ihtiyacı, elektrik enerjisi ile çalışan hava soğutmalı kondenserli, sabit verimli chiller ile karşılanmaktadır. Kompresörün izentropik verimi % 80, elektrik motorunun verimi ise % 90'dır. R22'nin entalpisi b ve e noktalarında sabittir. Yoğuşma sıcaklığı $T_b = 40^\circ\text{C}$, buharlaşma sıcaklığı $T_c = T_f = 0^\circ\text{C}$ 'dir.

Şekil 4.4'de çevrimin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.4 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için hava soğutmalı chiller

Ek 5'de ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için belirtilen noktalar R22 diyagramında gösterilmiştir.

Çevrimdeki $s_a, s_b, s_f, h_a, h_b, h_c$ ve h_f değerleri R22 diyagramından ve R22 tablosundan okunmuş, s_c ise aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$s_e = s_{sivi} + x(s_{buhar} - s_{sivi}) \quad (4.7)$$

$x=0,28$ için

$s_e=1,3318$ kJ/kg olarak bulunur.

Okunan ve hesaplanan değerler çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için chillerdeki noktaların fiziksel değerleri

Nokta	T (K)	s (kJ/kgK)	h (kJ/kg)
a	313	1,75	434,85
b	313	1,1656	249,40
e	273	1,3318	249,40
f	271	1,75	403,87

Soğutucu akışkan kütlesi, evaporatör için enerji dengesi bağıntısı yazılarak,

$$\dot{Q}_E = m_{R22} * (h_f - h_e) \quad (4.8)$$

$$917592 = m_{R22} * (403,87 - 249,40)$$

$m_{R22}=5940,2600$ kg/h bulunur.

Kondenser kapasitesi,

$$\dot{Q}_K = m_{R22} * (h_a - h_b) \quad (4.9)$$

bağıntısından,

$$\dot{Q}_K = 5940,260 * (434,85 - 249,40)$$

$\dot{Q}_K = 1100433,1630$ kJ/h olarak hesaplanır.

Gerekli kompresör gücü,

$$\dot{W}_{comp} = \dot{Q}_K - \dot{Q}_E \quad (4.10)$$

bağıntısından,

$$\dot{W}_{comp} = (1100433,1630 - 917592)$$

$\dot{W}_{comp} = 182841,1630$ kJ/h = 50,7892 kW olarak bulunur.

Kompresörün elektrik motoru gücünü hesaplamak için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$N_{motor} = \frac{\dot{W}_{comp}}{\eta_{motor} * \eta_{comp}} \quad (4.11)$$

$$W2 = N_{motor} = \frac{50,7892}{0,90 * 0,80} = 70,5406 \text{ kW} \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

Kondenser için elektrik gücü,

$$W3 = 12 \text{ kW} \text{ olarak belirlenir.}$$

Çevrimde COP,

$$COP = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{W}_{comp}} \quad (4.12)$$

bağıntısı kullanılarak

$$COP = 5,0185 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Kondensere giriş havası dış hava şartlarında $T_c = 33 \text{ }^\circ\text{C}$, çıkış havası ise $T_d = 43 \text{ }^\circ\text{C}$ kabul edilmiştir. Bu sıcaklıklar için psikometrik diyagramdan, $h_c = 72,2 \text{ kJ/kg}$ ve $h_d = 82 \text{ kJ/kg}$ okunur.

Kondenserin soğutma hava debisinin hesaplanmasında, aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$m_c = m_d = \frac{\dot{Q}_K}{h_d - h_c} \quad (4.13)$$

Değerler bu bağıntıda yerine yerleştirilerek,

$$m_c = m_d = 112289,0983 \text{ kg/h}$$

olarak hesaplanır.

Sistem bileşenlerinde kimyasal reaksiyon olmadığı için kimyasal ekserji bulunmamaktadır. Bu nedenle sistem için yalnız fiziksel ekserjiler hesaplanmıştır.

Hava soğutmalı chiller için; a,b,e ve f noktalarının özgül ekserjileri (3.44) bağıntısı ile, c ve d noktalarının özgül ekserjileri ise (3.46) bağıntısı ile hesaplanır.

a Noktası:

R22 kompresörden çıkarak kondensere gelir.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$T_a = 333 \text{ K}$$

$$h_o = 72,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_a = 434,85 \text{ kJ/kg}$$

$$s_o = 0,4779 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_a = 1,75 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_a = (434,85 - 72,2) - 306(1,75 - 0,4779)$$

$$e_a = -26,6126 \text{ kJ/kg} \text{ olarak bulunur.}$$

b Noktası:

Kondenserden çıkan R22 kısılma vanasına gelir.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$T_b = 313 \text{ K}$$

$$h_o = 72,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_b = 249,4 \text{ kJ/kg}$$

$$s_o = 0,4779 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_b = 1,1656 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_b = (249,4 - 72,2) - 306(1,1656 - 0,4779)$$

$$e_b = -33,2362 \text{ kJ/kg} \text{ olarak bulunur.}$$

c Noktası:

Soğutma havası kondensere girer.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_c = 306 \text{ K}$$

$$P_c = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_c = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_c = 0,024 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_c^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_c = (1,00724 + 0,015 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{306}{306} - 1 - \ln \frac{306}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,024) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,024} + 0,024 \ln \frac{0,024}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,024) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$e_c = 0,1967$ kJ/kg şeklinde hesaplanır.

d Noktası:

Soğutma havası bu noktada kondenserden çıkar.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_d = 316 \text{ K} \quad P_d = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_d = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_d = 0,024 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_d^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_d = (1,00724 + 0,015 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{316}{306} - 1 - \ln \frac{316}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,024) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,024} + 0,024 \ln \frac{0,024}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,024) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$e_d = 0,3622$ kJ/kg olarak bulunur.

e Noktası:

Kısılma vanasından çıkan R22 evaporatöre gelir.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad T_e = 273 \text{ K}$$

$$h_o = 72,2 \text{ kJ/kg} \quad h_e = 249,4 \text{ kJ/kg}$$

$$s_o = 0,4779 \text{ kJ/kgK} \quad s_e = 1,3318 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_e = (249,4 - 72,2) - 306(1,3318 - 0,4779)$$

$e_e = -84,0934$ kJ/kg olarak bulunur.

f noktası:

R22 evaporatörden çıkarak kompresöre gelir.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$T_f = 271 \text{ K}$$

$$h_o = 72,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_f = 403,87 \text{ kJ/kg}$$

$$s_o = 0,4779 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_f = 1,75 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_f = (403,87 - 72,2) - 306(1,75 - 0,4779)$$

$e_f = -57,5926$ kJ/kg olarak bulunur.

4.1.1.3 Kazanda Ekserji Analizi

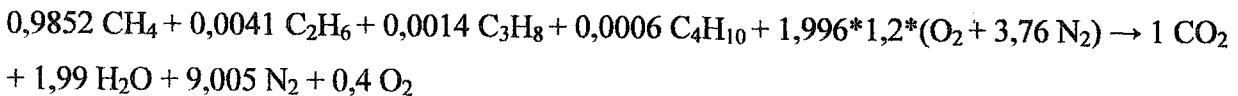
Ekserji hesaplamalarında çevre sıcaklığı yaz sezonu için 33 °C, çevre basıncı 101,325 kPa kabul edilmiştir. Kazanda baca gazı sıcaklığı, 500 K'dir. Kazan içindeki ve baca içerisindeki basınç ile sistemdeki akışkanların basıncı, çevre basıncına eşittir.

Kazanda yakıt olarak kullanılan doğalgazın; metan, etan, propan ve bütandan oluştuğu kabul edilmiş, doğalgazdaki diğer bileşenler ihmal edilmiştir. Doğalgazın bileşimi çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Kazanda yakılan doğalgazın bileşimi ve gazların mol oranları

Gaz	Gazın 1 mol doğalgazdaki mol oranı
Metan (CH ₄)	0,9852
Etan (C ₂ H ₆)	0,0041
Propan (C ₃ H ₈)	0,0014
Bütan (C ₄ H ₁₀)	0,0006

Kimyasal reaksiyon denklemi eşitlenerek doğalgaz ($\lambda=2$) için yanma denklemi yazılır:



1 mol havada 0,79 mol N₂, 0,21 mol O₂ bulunduğu kabul edilmiş, diğer gazlar ihmal edilmiştir.

Doğalgazın mol ağırlığı:

$$\bar{M}_{DG} = \frac{0,9852 * 16 + 0,0041 * 30 + 0,0014 * 44 + 0,0006 * 58}{0,9913}$$

$$\bar{M}_{DG} = 16,122 \text{ kg/kmol}$$

Yakma havasının mol ağırlığı:

$$\bar{M}_{HAVA} = \frac{1,9960 * 1,2 * (16 * 2 + 3,76 * 2 * 14)}{11,4}$$

$$\bar{M}_{HAVA} = 28,84 \text{ kg/kmol}$$

Hava-doğalgaz karışımının mol ağırlığı:

$$\bar{M}_{DG+HAVA} = \frac{0,9852 * 16 + 0,0041 * 30 + 0,0014 * 44 + 0,0006 * 58 + 1,9960 * 1,2 * (16 * 2 + 3,76 * 2 * 14)}{12,39}$$

$$\bar{M}_{DG+HAVA} = 27,82 \text{ kg/kmol}$$

Baca gazının mol ağırlığı:

$$\bar{M}_{BG} = \frac{1 * 44 + 1,99 * 18 + 9,005 * 28 + 0,4 * 32}{12,39}$$

$$\bar{M}_{BG} = 27,82 \text{ kg/kmol olarak hesaplanmıştır.}$$

Kazanın enerji dengesi şu şekilde tanımlanabilir:

$$\Delta E_{sistem} = \Delta E_{PH} + \Delta E_{CH} \quad (4.14)$$

Denkleme göre kinetik ve potansiyel enerji değişimi olmadığı kabul edilmiştir. Kimyasal reaksiyon sırasında sistemin enerji değişimi, hal değişimi ve kimyasal değişimiyle ilgilidir.

Hava, doğalgaz yakıt ve yanma ürünleri mükemmel gaz kabul edilerek çizelge 4.4 oluşturulur.

Çizelge 4.4 Kazanda yanma reaksiyonuna giren ve çıkan maddelerin entalpisi (yaz sezonu)

Madde	\bar{h}_f° (kJ/kmol)	\bar{h}_{306K} (kJ/kmol)	\bar{h}_{500K} (kJ/kmol)
CH ₄	-74850	-	-
C ₂ H ₆	-84680	-	-
C ₃ H ₈	-103850	-	-
C ₄ H ₁₀	-126150	-	-
O ₂	0	8912	14770
N ₂	0	8898	14581
CO ₂	-393520	9657	17678
H ₂ O	-241845	10168	16828

Sürekli akışlı açık sistemi için ısı transferi, bağıntı (3.50)'de $W=0$ kabul edilerek tablo değerlerinin yerine konmasıyla;

$Q = - 874309$ kJ/kmol yakıt olarak hesaplanır. Bu sonuç, 0,9913 kmol doğalgaz için yanma odasından çevreye kJ ısı transferi olduğunu göstermektedir. Doğalgazın birim kütlesi için ısı transfer değeri,

$$\frac{874309}{15,98} = 54712,7048 \text{ kJ/kg DG 'dir.}$$

Kazana kW ısı üretmek için gereken doğalgaz debisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{m}_{DG} = \frac{99523,44}{54712,7048} = 1,8190 \text{ kg/h}$$

Yanma işlemi hava yakıt oranı HY aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$HY = \frac{m_{hava}}{m_{yakit}} \quad (4.15)$$

Değerlerin bağıntı (4.15)'de yerine yerleştirilmesiyle,

$$HY = \frac{328,81}{15,98} = 20,57 \frac{kg_{hava}}{kg_{DG}} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Havanın kütleli debisi, hava yakıt oranı kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\dot{m}_{hava} = HY * \dot{m}_{DG} \quad (4.16)$$

Bağıntı (4.16) kullanılarak,

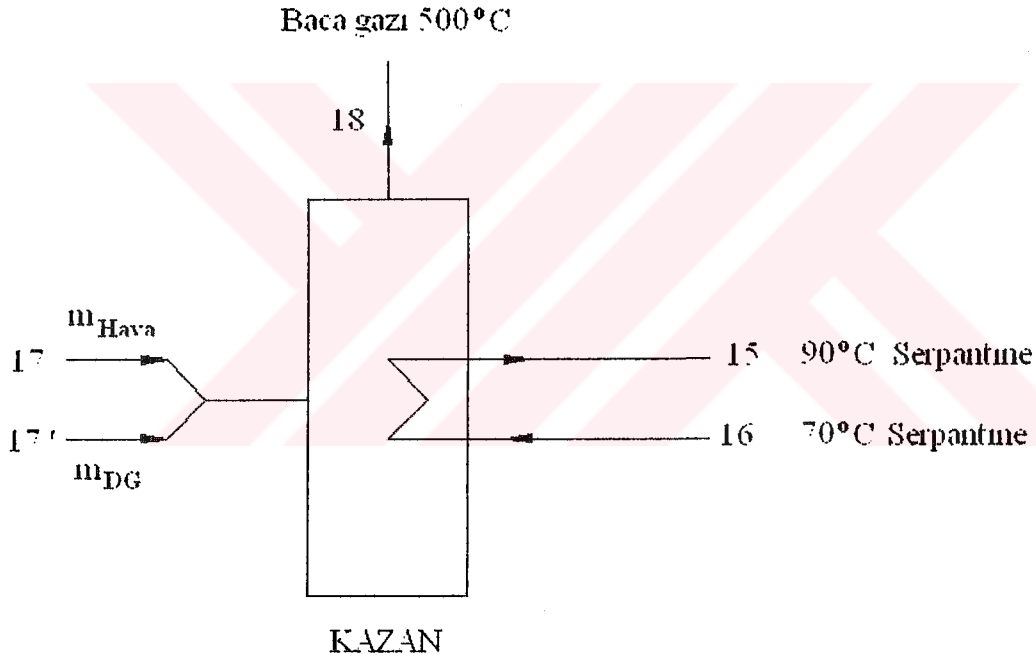
$$\dot{m}_{hava} = 37,4172 \text{ kg/h bulunur.}$$

Kazana giren toplam kütleli debi,

$$\dot{m}_K = \dot{m}_{DG} + \dot{m}_{hava} \quad (4.17)$$

bağıntısı kullanılarak, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{m}_K = 39,2362 \text{ kg/h}$$



Şekil 4.5 Kazan sisteminin şematik gösterimi
(ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için yaz sezonu)

Yakıtın ve havanın girişindeki fiziksel ekserjiler ihmal edilmiştir.

Yakıtın kimyasal ekserjisi (3.52) bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

Formasyon Gibbs fonksiyonu, bağıntı (3.53) kullanılarak, aşağıda hesaplanmıştır.

$$\bar{g}_{DG} = 0,9852 * (-50790) + 0,0041 * (-32890) + 0,0014 * (-23490) + 0,006 * (-15710)$$

$$\bar{g}_{DG} = -50215,4690 \text{ kJ/kmol}$$

\bar{g}_f^o değerleri tablodan okunur. Bütün değerler (3.52) bağıntısında yerine yazılarak

$$\bar{e}_{DG}^{CH} = -50215,4690 - 1*(-394360) - 1,99*(-228590) + 2078$$

$$\bar{e}_{DG}^{CH} = 801116,6310 \text{ kJ/kmol olarak hesaplanır.}$$

Birim ekserji;

$$e_{17} = \frac{801116,6310}{16,122} = 49690,8961 \text{ kJ/kg bulunur.}$$

Karışımın birim molünün kimyasal ekserjisi bağıntı (3.51) kullanılarak hesaplanır. Bu bağıntıdaki x_K değerleri ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$x_K = (\text{her bir gazın karışımdaki mol oranı}) / (\text{toplam mol sayısı}) \quad (4.18)$$

$$\text{Toplam mol sayısı} = 1 \text{ mol CO}_2 + 1,99 \text{ mol H}_2\text{O} + 9,005 \text{ mol N}_2 + 0,4 \text{ mol O}_2 = 12,395 \text{ mol}$$

Bağıntı (4.18) kullanılarak

$$x_{\text{CO}_2} = 0,0807$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,1605$$

$$x_{\text{N}_2} = 0,7265$$

$$x_{\text{O}_2} = 0,0323 \text{ bulunur.}$$

Değerleri koyarak,

$$\bar{e}_p^{CH} = -8,314 * 306 \left[0,0807 * \ln \frac{0,0003}{0,0807} + 0,1605 \frac{0,019}{0,1605} + 0,7265 \frac{0,7748}{0,7265} + 0,0323 \frac{0,2059}{0,0323} \right]$$

$$\bar{e}_p^{CH} = 1748,7643 \text{ kJ/kmol bulunur.}$$

Baca gazının kimyasal ekserjisi, ürünün kimyasal ekserjisine eşittir ve

$$\bar{e}_{18}^{CH} = 1748,7643 \text{ kJ/kmol olarak yazılır.}$$

Baca gazı için fiziksel ekserji (3.48) bağıntısından hesaplanır. Baca gazı için, $T_{BG} = 500 \text{ K}$ ve

$P_{BG} = 101,325$ atm kabul edilmiştir.

CO_2 , H_2O , N_2 ve O_2 için sabit basınçtaki özgül ısılar şu şekilde hesaplanır,

$$C_{PK} = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (4.19)$$

Buradaki a,b,c ve d katsayıları, özgül ısıların sıcaklığın fonksiyonu olarak belirlenmesiyle ilgili tablodan,

$$C_{CO_2} = 37,0490$$

$$C_{H_2O} = 33,7331$$

$$C_{N_2} = 29,0660$$

$$C_{O_2} = 29,375 \text{ okunur.}$$

Baca gazının sabit basınçtaki özgül ısısı,

$$C_{P_{BG}} = \sum x_k * c_{P_k}(T_{BG}, P_{BG}) \quad (4.20)$$

bağıntısından hesaplanır. Değerler yerine konularak,

$$C_{P_{BG}} = 30,4693 \text{ kJ/kmol} \cdot K \text{ bulunur.}$$

Bulunan değerler (3.48) bağıntısında yerleştirilerek, baca gazının fiziksel ekserjisi bulunur.

$$\bar{e}_{BG}^{PH} = 30,4693 * 306 * \left(\frac{500}{306} - 1 - \ln \frac{500}{306} \right) + 0$$

$$\bar{e}_{BG}^{PH} = 1332,9293 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazı için toplam ekserji

$$\bar{e}_{BG} = \bar{e}_{BG}^{PH} + \bar{e}_{BG}^{CH} \quad (4.21)$$

bağıntısından aşağıdaki gibi bulunur.

$$\bar{e}_{BG} = \bar{e}_{18} = 3081,7036 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazının birim kütle için ekserjisi;

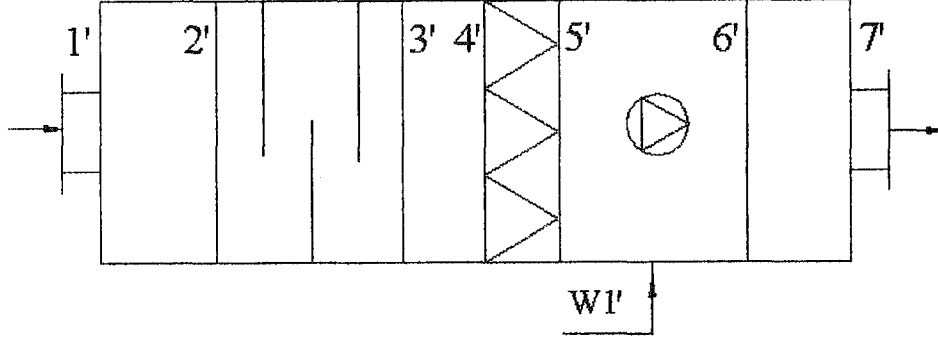
$$e_{18} = \frac{3081,7036}{27,82} = 110,7729 \text{ kJ/kg olarak hesaplanır.}$$

Çizelge 4.5 Ameliyathane ve uyanma hacimlerinde yaz sezonu için tanımlanan noktalardaki fiziksel değerler

Nokta	Madde	T(K)	P (kPa)	h(kj/kg)	m (kg/h)	e (kj/kg)	E (kj/h)
1	Hava	306	101,325	72,2	21175,0306	0,1967	4171,5144
2	Hava	306	101,325	72,2	21175,0306	0,1967	4171,5144
3	Hava	306	101,285	72,2	21175,0306	0,1612	3413,4422
4	Hava	306	101,135	72,2	21175,0306	0,0279	590,7881
5	Hava	282,3	101,005	28	21175,0306	0,7343	15548,9494
6	Hava	287	100,975	33	21175,0306	0,3478	7364,6756
7	Hava	287	100,975	33	21175,0306	0,3478	7364,6756
8	Hava	287	103,965	33	21175,0306	2,8365	60062,9743
9	Hava	287	103,815	33	21175,0306	2,8132	59569,5961
10	Hava	287	103,815	33	21175,0306	2,8132	59569,5961
11	Hava	287	103,665	33	21175,0306	2,6848	56850,7222
12	Hava	287	103,645	33	21175,0306	2,6675	56484,3941
13	Su	280	1,0143	29,392	44781,6437	70,9628	3177819,208
14	Su	285	1,4186	50,402	44781,6437	69,237	3100535,330
15	Su	363	70,14	376,92	1266,4492	86,0524	108797,770
16	Su	343	31,19	292,98	1266,4492	74,818	94593,8938
a	R-22	333	1500	434,85	5940,260	-26,6126	-
b	R-22	313	1500	249,40	5940,260	-33,2363	-
c	Nemli hava	306	101,325	72,7	112289,0983	0,1967	22087,2656
d	Nemli hava	316	101,325	82	112289,0983	0,3622	40671,1114
e	R-22	273	500	249,40	5940,260	-84,0934	-
f	R-22	271	500	403,87	5940,260	-57,5926	-
W1	Fan						88677,1022
W2	Kompresör						253946,16
W3	Kondenser						43200
17	Doğalgaz	306	101,325	-	1,8190	49690,8961	90387,7400
17'	Hava	306	101,325	-	37,4172	0	0
18	Bacagazı	500	101,325	-	39,2362	110,7729	4346,3076

4.1.1.4 Egzost Santrali İçin Ekserji Analizi

Şekil 4.6'de, incelenen klima santrali şematik olarak gösterilmiştir. Santral hücreleri sırasıyla; damperli emiş hücresi, susturucu, boş hücre, EU3 filtre, aspiratör ve damperli atış hücresidir. Bu klima santrali üzerinde belirlenen noktaların ekserji kayıplarını hesaplanacaktır.



Şekil 4.6 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için egzost santrali

Temiz oda teknolojisinde basınçlandırma, Bölüm 2.5.5'de anlatılmıştır. Steril koridor 101,325 kPa olarak kabul edilmiş ve hava akış yönüne göre diğer mahallerin basınçları belirlenmiştir. Hava akış yönleri ve basınçlandırma Ek 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 Ameliyathane ve uyanma hacimlerinde basınçlar

Mahal No	Mahal Adı	Hacim (m ³)	Basınç (kPa)
2047	Genel Ameliyathane 2	92,4	101,337
2066	Uyanma	126,2	101,337
2067	Uyanma	65,4	101,337
2069	Day Genel Ameliyathane 1	100,4	101,349
2070	Anestezi	46,0	101,337
2071	Day Genel Ameliyathane 2	98,0	101,349
2102	Genel Ameliyathane 1	100,4	101,349
2103	Pompa Odası	33,3	101,337
2104	KVC Ameliyathane	100,4	101,349

Çizelge 4.6 kullanılarak ortalama basınç aşağıda hesaplanmıştır.

Ortalama Basınç= 101,3433 kPa

Santral hücrelerinin özgül ekserjileri, (3.46) bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

1' Noktası:

Mahalden emilen hava damperli emiş hücresine girer. Havanın santrale giriş sıcaklığı 25 °C

kabul edilmiştir. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o' = 298 \text{ K} \quad P_o' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$T_1' = 298 \text{ K} \quad P_1' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$w_1' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_1' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{101,3433}{101,3433} \right]$$

$e_1' = 0,10878 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

2' Noktası:

Bu noktada, damperli emiş hücresinden çıkan hava susturucuya girer. Damperli emiş hücresindeki basınç kaybı 20 Pa'dır.

$$T_o' = 298 \text{ K} \quad P_o' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$T_2' = 298 \text{ K} \quad P_2' = 101,3233 \text{ kPa}$$

$$w_2' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_2' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_2^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_2' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{101,3233}{101,3433} \right]$$

$e_2' = 0,09168$ kJ/kg olarak bulunur.

3' Noktası:

Susturucudan çıkan hava boş hücreye girer. Susturucudaki basınç kaybı 150 Pa'dır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_0' = 298 \text{ K} \quad P_0' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$T_3' = 298 \text{ K} \quad P_3' = 101,1733 \text{ kPa}$$

$$w_3' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_3' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{101,1733}{101,3433} \right]$$

$e_3' = -0,0367$ kJ/kg şeklinde hesaplanır.

4' Noktası:

Bu noktada boş hücreden çıkan hava EU3 filtreye girer. Boş hücrede basınç ve sıcaklık değişimi olmadığı için ekserjisi 3 noktası ile aynıdır.

$e_4' = -0,0367$ kJ/kg olarak yazılır.

5' Noktası:

EU3 filtreden çıkan hava aspiratöre girer. EU3 filtredaki basınç kaybı 40 Pa'dır.

$$T_0' = 298 \text{ K} \quad P_0' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$T_5' = 298 \text{ K} \quad P_5' = 101,1333 \text{ kPa}$$

$$w_5' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_5' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{101,1333}{101,3433} \right]$$

$e_5' = -0,07097 \text{ kJ/kg}$ şeklinde hesaplanır.

6' Noktası:

Bu noktada hava, aspiratörden çıkar. Aspiratörün; santraldeki bütün hücrelerin, mahallerdeki kanalların ve menfezlerin basınç kaybını yenmesi gerekmektedir.

Santral hücrelerinin basınç kaybı=230 Pa

Kanallardaki basınç kaybı= 343,2328 Pa

Toplayıcı menfezler için hava hızı 1,5 m/s seçilmiştir. Bu hızda menfez başına basınç kaybı 1,9613 Pa'dır.

Menfezlerdeki basınç kaybı=menfez sayısı*birim menfez başına basınç kaybı=2*1,9613 Pa =3,9226 Pa

Emme kanallarındaki volum damperlerinden oluşan basınç kaybı=damper sayısı*birim damper başına basınç kaybı=6*200 Pa=1200 Pa

Toplam basınç kaybı=1,7772 kPa olarak hesaplanır.

$$T_0' = 298 \text{ K} \quad P_0' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$T_6' = 298 \text{ K} \quad P_6' = 102,9105 \text{ kPa}$$

$$w_6' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_6' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{102,9105}{101,3433} \right]$$

$e_6' = 1,4385$ kJ/kg şeklinde bulunur.

7' Noktası:

Hava damperli atış hücresinden dışarı atılır. Bu noktada basınç kaybı 20 Pa'dır.

$$T_0' = 298 \text{ K} \quad P_0' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$T_7' = 298 \text{ K} \quad P_7' = 102,8905 \text{ kPa}$$

$$w_7' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_7' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_7^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_7' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{102,8905}{101,3433} \right]$$

$e_7' = 1,4217$ kJ/kg olarak hesaplanır.

Fan gücü, (4.6) bağıntısından aşağıdaki şekilde bulunur.

$$W1' = \frac{4,2083 * 1777,1554 * 1,2}{0,70} = 12820,9068 \text{ W} = 46155,2645 \text{ kJ/h}$$

Çizelge 4.7 Ameliyathane ve uyanma hacimlerinde yaz sezonu için egzost santralindeki fiziksel değerler

Nokta	Madde	T (K)	P (kPa)	h (kJ/kg)	m (kg/h)	e (kJ/kg)	E (kJ/h)
1'	Hava	298	101,3433	45,4	18543,4516	0,10878	2017,1566
2'	Hava	298	101,3233	45,4	18543,4516	0,09168	1700,0636
3'	Hava	298	101,1733	45,4	18543,4516	-0,0367	-680,5446
4'	Hava	298	101,1733	45,4	18543,4516	-0,0367	-680,5446
5'	Hava	298	101,1333	45,4	18543,4516	-0,0709	-1314,7307
6'	Hava	298	102,9105	45,4	18543,4516	1,4385	26674,7551
7'	Hava	298	102,8905	45,4	18543,4516	1,4217	26363,2251
W1'	Fan gücü						46155,2645

4.1.2 Soğutma Sistemi Elemanları İçin Maliyet Analizi

Soğutma sistemi yılda 4320 saat çalışmaktadır. Sistem elemanlarının ömrü 15 yıl kabul edilmiştir.

Yaz klimastizasyonunda klima santrali, chiller ve kazan devrededir ve bu bileşenlerin maliyeti hesaplanacaktır. Kazan, yalnızca klima santralini beslemektedir. Mahallerin sıcak su ve buhar ihtiyacı, ayrı bir kazanla sağlanmaktadır.

Sistemdeki klima santrali 39000 €, chiller 35000 €, kazan 1600 €, otomatik kontrol ünitesi 4400 €, ısıtma sistemi için borular, pompalar ve diğer bileşenler 22000 €, soğutma sistemi için borular, pompalar ve diğer bileşenler 16000 €, personel giderleri yıllık 12000 €, sigorta ve vergiler yıllık 1600 €, yıllık bakımlar 1300 €'dur. Maliyetlere işçilik ücretleri dahildir.

Doğalgazın alış fiyatı 0,18 €/m³, elektriğin alış fiyatı 0,07 €/kWh, şebekeden çekilen suyun alış fiyatı 0,78 €/m³'tür.

Çizelge 4.8 Soğutma sistemi elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (Santral, chiller, kazan)
Yatırım maliyeti (€)	118000
Yıllık elektrik ve doğalgaz masrafı (€/yıl)	34550
Yıllık vergi, sigorta ve personel masrafı (€/yıl)	13600
Yıllık bakımlar (€/yıl)	1300
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	13,2677
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	17,0093

Yıllık enflasyon oranı $r_i=3\%$, nominal eskalasyon oranı $r_n=4\%$, efektif geri ödeme oranı $i_{eff}=6\%$ kabul edilerek parasal giderler için aşağıdaki eşitlikler yazılmıştır (Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996):

Bir değere getirilmiş fiyat düzeltme faktörü k ,

$$k = \frac{1 + r_n}{1 + i_{eff}} \quad (4.22)$$

bağıntısından,

$k=0,98$ olarak hesaplanır.

Sermaye geri kazanım faktörü CRF,

$$CRF = \frac{i_{eff} (1 + i_{eff})^n}{(1 + i_{eff})^n - 1} \quad (4.23)$$

bağıntısı kullanılarak,

$CRF=0,103$ bulunur.

Sabit eskalasyon düzeltme faktörü CELF,

$$CELF = \frac{k(1 - k^n)}{1 - k} CRF \quad (4.24)$$

bağıntısından,

$CELF=1,32$ hesaplanır.

Bir değere getirilme faktörü F , aşağıdaki bağıntı kullanılarak,

$$F = \frac{CELF}{1 + r_i} \quad (4.25)$$

$F=1,282$ olarak hesaplanır. F değeri, bu çalışmada yapılan bir değere getirilmiş maliyet hesaplarının hepsinde aynı alınmıştır.

Bir değere getirilmiş maliyet, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Z_{KS} = \left[\frac{118000}{15 * 4320} + \frac{49450}{4320} \right] * 1,282 = 17,0093 \text{ €/h}$$

Santralden çıkan havanın maliyeti, (3.59) bağıntısı düzenlenerek aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E_1 * c_1 - E_{12} * c_{12} + E_{13} * c_{13} - E_{14} * c_{14} + E_{15} * c_{15} - E_{16} * c_{16} + W_1 * c_{fan} + Z_{KS} = 0 \quad (4.26)$$

Denklemden c_1 santrale giren havanın maliyetidir ve 0'dır.

c_{13} , c_{14} , c_{15} ve c_{16} şebekeden çekilen suyun birim m^3 'ünün, kJ olarak ısıtma/soğutma maliyetidir.

$$c = \text{birim maliyet} * m / Q \quad (4.27)$$

Bu bağıntıda m (m^3/h), Q (kJ/h) birimindedir. Buradan c değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır

$$c_{13} = c_{14} = \frac{0,78 * 143,3012}{917591} = 1,2181 * 10^{-4} \text{ €/kJ}$$

$$c_{15} = c_{16} = \frac{0,78 * 4,0526}{99523,44} = 3,1762 * 10^{-5} \text{ €/kJ}$$

Elektriğin maliyeti, birim dönüşümleri yapılarak,

$$c_{fan} = 1,9444 * 10^{-5} \text{ €/kJ olarak hesaplanır.}$$

Şartlandırılmış havanın klima santralinden çıkarken maliyeti ise c_{12} 'dir.

Değerleri denge denkleminde yerine yerleştirerek,

$$c_{12} = 5,0629 * 10^{-4} \text{ €/kJ olarak bulunur.}$$

Kaybolan ve tahrip olan ekserji (3.55) bağıntısının düzenlenmesiyle,

$$\sum (E_L + E_D) = (E_{13} + E_{15} + W_1) - (E_{14} + E_{16}) \quad (4.28)$$

olarak yazılır.

Değerlerin bu bağıntıda yerine yerleştirilmesiyle,

$$\sum (E_L + E_D) = 180164,8570 \text{ kJ/h} = 50,0458 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

Kayıp ekserji maliyeti, bağıntı (3.58) düzenlenerek

$$C_{kayıp} = \sum (E_L + E_D) * c_{ort} \quad (4.29)$$

şeklinde yazılır. Buradaki c_{ort} değerinin hesaplanması aşağıda gösterilmiştir.

$$c_{ort} = \frac{c_{13}(E_{13} - E_{14}) + c_{15}(E_{15} - E_{16}) + c_{fan} * W1}{(E_{13} - E_{14}) + (E_{15} - E_{16}) + W1} \quad (4.30)$$

Değerler bağıntıda yerleştirilerek,

$c_{ort} = 6,4319 * 10^{-5}$ €/kj olarak hesaplanır.

(4.29) bağıntısı kullanılarak kayıp ekserji maliyeti,

$C_{kayıpKS} = 11,5882$ €/h olarak bulunur.

Ameliyathaneler ve uyanma hacimlerindeki mahaller sterilizasyon önem derecesine göre 2 grupta toplanabilir.

4.1.2.1 Birinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi

1. grupta şu mahaller bulunmaktadır:

Çizelge 4.9 1. grup mahaller (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Mahal No	Mahal Adı
2047	Genel Ameliyathane 2
2069	Day Genel Ameliyathane 1
2070	Anestezi
2071	Day Genel Ameliyathane 2
2102	Genel Ameliyathane 1
2103	Pompa Odası
2104	KVC Ameliyathane

Bu gruptaki kanallar için kanal ekserji kaybı şu şekilde hesaplanır:

$$E_{kanal} = \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) * Q_{kanal} \quad (4.31)$$

Denklemden dış hava sıcaklığı olan $T_o = 306$ K, T ise kanala giren ve kanaldan mahale üflenen hava sıcaklıklarının ortalaması olup $T = 14,5$ °C = 287,5 K'dir.

Bağıntı (4.31) kullanılarak,

$$E_{kanal} = \left(1 - \frac{306}{287,5}\right) * 17503,0599 * 1,0045 * 1$$

$E_{kanal} = -1131,3521$ kj/h = 0,3143 kW bulunur.

Kanal çıkışındaki ekserji kaybı bağıntı (3.46)'dan aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{KÇ} = 288 \text{ K} \quad P_{KÇ}^* = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_{KÇ} = 0,0080 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ} = 0,0129 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{KÇ} = (1,00724 + 0,0080 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{288}{306} - 1 - \ln \frac{288}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0129) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0129} + 0,0129 \ln \frac{0,0129}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0129) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$$e_{KÇ} = 0,5768 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{KÇ} = 0,5768 * 17503,0599 = 10095,1954 \text{ kJ/h olarak bulunur.}$$

Bu gruptaki mahallerin ekserji kaybı, aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$E_{mahal} = \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) * Q_{mahal} \quad (4.32)$$

Burada $T_o = 306 \text{ K}$, $T = T_{mahal} = 295 \text{ K}$ 'dir. Q_{mahal} 1. gruptaki mahallerin toplam ısı kazancısıdır ve $Q_{mahal} = 139489,2 \text{ kJ/h}$ 'dir.

$$E_{mahal} = \left(1 - \frac{306}{295} \right) * 139489,2 = -5201,2921 \text{ kJ/h} = 1,4448 \text{ kW}$$

Mahal çıkışındaki ekserji kaybı bağıntı (3.46)'dan aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{mahal} = 298 \text{ K} \quad P_{mahal}^{**} = 101,343 \text{ kPa}$$

* Kanallarda basınç kaybı ihmal edilmiştir.

** Mahal ortalama basıncı, temiz odalar ile çevre mahaller arasındaki basınç farklarına göre belirlenen her bir mahalın basıncı ile mahal hacimlerinin çarpılarak toplam hacme bölünmesiyle bulunmuştur.

$$w_{\text{mahal}} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{\text{mahal}\dot{c}} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{298}{306} - 1 - \ln \frac{298}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,343}{101,325} \right]$$

$$e_{\text{mahal}\dot{c}} = 0,1344 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{\text{mahal}\dot{c}} = 0,1344 * 17503,0599 = 2342,4112 \text{ kJ/h olarak hesaplanır.}$$

Kanaldan çıkıp mahallere yollanan şartlandırılmış havanın maliyeti, (3.59) bağıntısı düzenlenerek aşağıda yazılmıştır.

$$E_{12} * c_{12} - E_{KC} * c_{KC} + Z_{\text{kanal}} = 0 \quad (4.33)$$

Burada Z_{kanal} ; kanal, filtre, menfez, yangın ve volum damperleri ve termostat maliyetlerini kapsamaktadır. Kanal maliyeti 2800 €, filtre maliyeti 750 €/yıl, menfez maliyeti 75 €, damper maliyeti 1000 € ve termostat maliyeti 175 €'dir. Filtrelerin her sene değişmesi gerektiği için maliyeti yıllık olarak yazılmıştır.

Çizelge 4.10 1. grup mahaller için sistem elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (Kanal, filtre, menfez vb.)
Yatırım maliyeti (€)	4050
Yıllık giderler (€/yıl)	750
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	0,2361
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	0,3027

$$Z_{\text{kanal}} = \left[\frac{4050}{15 * 4320} + \frac{750}{4320} \right] * 1,282 = 0,3027 \text{ €/h olarak hesaplanır.}$$

Değerlerin bağıntı (4.33)'de yerine yazılmasıyla,

$c_{KÇ}=0,00342$ €/kj bulunur.

Kanallardaki kayıp ekserji maliyeti*, (3.58) düzenlenerek aşağıdaki gibi yazılır.

$$C_{\text{kayıpkanal}} = E_{\text{kanal}} * c_{\text{ort}} \quad (4.34)$$

$C_{\text{kayıpkanal}}=0,0727$ €/h olarak hesaplanır.

Mahallerdeki kayıp ekserji maliyeti, bağıntı (3.58)'in düzenlenmesiyle aşağıdaki gibi yazılır.

$$C_{\text{kayıpmahal}} = E_{\text{mahal}} * c_{\text{ort}} \quad (4.35)$$

(4.35) bağıntısı kullanılarak,

$C_{\text{kayıpmahal}}=0,3345$ €/h bulunur.

Çevreye atılan havanın maliyetini hesaplamak için bağıntı (3.59) düzenlenir.

$$c_{KÇ} * E_{\text{mahalç}} - c_{\text{çevre}} * E_7' + Z_{\text{egzost}} = 0 \quad (4.36)$$

Z_{egzost} değeri, emme kanalları ve menfez maliyetleri ile egzost santralının maliyetinin mahal debilerine göre dağılımının toplamı kullanılarak bulunur. Egzost santralının yatırım maliyeti 21000 €, bakım maliyeti 350 €'dur. 1. grup mahaller için santral yatırım maliyeti 17350 €, bakım maliyeti 290 € olarak hesaplanır. Burada emme kanallarının maliyeti 1800, menfez maliyeti 480, damper maliyeti ise 70 € olarak kabul edilmiştir. Maliyetlere, işçilik ücretleri dahildir.

Çizelge 4.11 1. grup mahaller için egzost sistemi elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (Santral, kanal, menfez, damper)
Yatırım maliyeti (€)	19700
Yıllık elektrik masrafı (€/yıl)	7400
Yıllık vergi ve sigorta (€/yıl)	350
Yıllık bakımlar (€/yıl)	290
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	2,1651
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	2,7757

* Sisteme girişteki şartlandırılmış havanın birim ekserjetik maliyeti, bütün kayıplar için ($C_{\text{kayıpKS}}$, $C_{\text{kayıpK}}$ ve $C_{\text{kayıpmahal}}$) aynı değer alınmıştır. Bu değer c_{ort} değeridir.

$$Z_{egzost} = \left[\frac{19700}{15 * 4320} + \frac{8040}{4320} \right] * 1,282 = 2,7757 \text{ €/h olarak hesaplanır.}$$

Değerlerin (4.36) bağıntısında yazılmasıyla,

$$C_{\text{çevre}} = 4,0916 * 10^{-4} \text{ €/kj olarak hesaplanır.}$$

Kayıp ekserji maliyeti, bağıntı (3.58)'in düzenlenmesiyle aşağıdaki gibi yazılır.

$$C_{\text{çevre}} = E7' * C_{\text{çevre}} \quad (4.37)$$

Değerleri bağıntıda yazdığımızda,

$$C_{\text{çevre}} = 10,7867 \text{ €/h bulunur.}$$

Ekserji kayıp oranları, bağıntı (3.57)'den aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$y_{KS} = \frac{50,0458}{59,1280} = 0,8464$$

$$y_{KANAL} = \frac{0,3143}{59,1280} = 0,0053$$

$$y_{MAHAL} = \frac{1,4448}{59,1280} = 0,0244$$

$$y_{EGZOST} = \frac{7,3231}{59,1280} = 0,1239$$

Çizelge 4.12 1. grup mahallerde soğutma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Bileşen	Ekserji Kaybı Miktarı	Ekserji Kayıp Oranı
	E_k (kW)	y (%)
KS	50,0458	84,64
1. Grup Mahal Kanalları	0,3143	0,53
1. Grup Mahaller	1,4448	2,44
Egzost	7,3231	12,39

Termoekonomik faktör değerleri, bağıntı (3.60) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

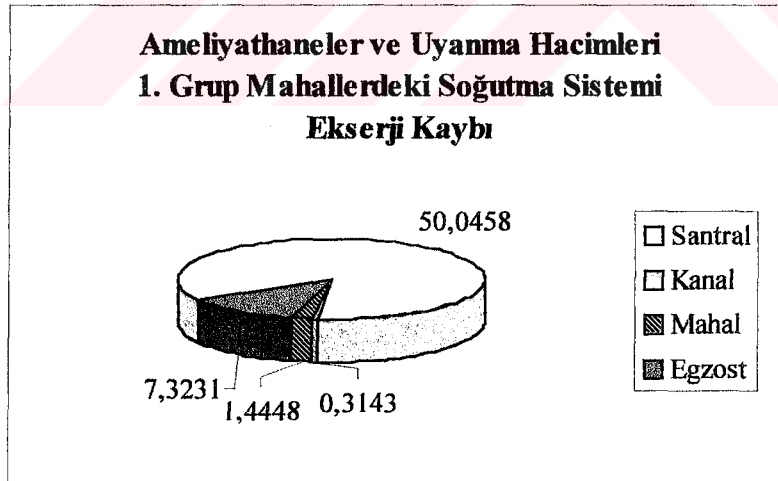
$$f_{KS} = \frac{17,0093}{(17,0093 + 11,5882)} = 0,5948$$

$$f_{KANAL} = \frac{0,3027}{(0,3027 + 0,0727)} = 0,8063$$

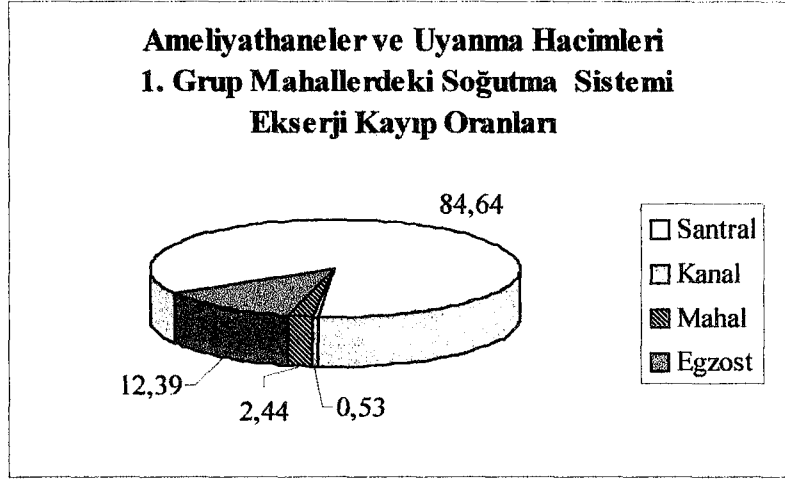
$$f_{EGZOST} = \frac{2,7757}{(2,7757 + 10,7867)} = 0,2047$$

Çizelge 4.13 1. grup mahallerde soğutma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Bileşen	Bir Değere Getirilmiş Maliyet	Termoekonomik Faktör
	Z (€/h)	f (%)
KS	17,0093	59,48
1. Grup Mahal Kanalları	0,3027	80,63
Egzost	2,7757	20,47



Şekil 4.7 1. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kaybı (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)



Şekil 4.8 1.grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

4.1.2.2 İkinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi

2. gruptaki mahaller şunlardır:

Çizelge 4.14 2. grup mahaller (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Mahal No	Mahal Adı
2066	Uyanma
2067	Uyanma

Bu gruptaki kanallar için kanal ekserji kaybı (4.31) bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Burada $T_o=306$ K, $T=287,5$ K'dir.

Değerler yerleştirilerek,

$$E_{kanal} = \left(1 - \frac{306}{287,5}\right) * 3671,9706 * 1,0045 * 1$$

$E_{kanal} = -237,3466$ kJ/h hesaplanır.

Kanal çıkışındaki ekserji kaybı bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{KÇ} = 288 \text{ K}$$

$$P_{KÇ}^* = 101,325 \text{ kPa}$$

* Kanallarda basınç düşüştü ihmal edilmiştir.

$$w_{KÇ} = 0,0080 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ} = 0,0129 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{KÇ} = (1,00724 + 0,0080 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{288}{306} - 1 - \ln \frac{288}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0129) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0129} + 0,024 \ln \frac{0,0129}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,024) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$$e_{KÇ} = 0,5768 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{KÇ} = 0,5768 * 3671,9706 = 2117,9927 \text{ kJ/h bulunur.}$$

Bu gruptaki mahallerin ekserji kaybı, bağıntı (4.32) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

Burada $T_o = 306 \text{ K}$, $T = T_{\text{mahal}} = 295 \text{ K}$, $Q_{\text{mahal}} = 9486 \text{ kJ/h}$ 'dir.

$$E_{\text{mahal}} = \left(1 - \frac{306}{295} \right) * 9486 = -353,7152 \text{ kJ/h}$$

Mahal çıkışındaki ekserji kaybı bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{\text{mahal}} = 298 \text{ K} \quad P_{\text{mahal}} = 101,344 \text{ kPa}$$

$$w_{\text{mahal}} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{\text{mahal}\checkmark} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{298}{306} - 1 - \ln \frac{298}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,344}{101,325} \right]$$

$$e_{\text{mahal}\checkmark} = 0,1353 \text{ kJ/kg}$$

$E_{mahal\dot{c}}=0,1353*3671,9706=496,8176$ kJ/h bulunur.

Mahallere yollanan şartlandırılmış havanın maliyeti, (4.33) bağıntısından hesaplanır. Z_{kanal} ; kanal, filtre, menfez, yangın ve volum damperleri ve termostat maliyetlerini kapsamaktadır. Kanal maliyeti 1400 €, filtre maliyeti 630 €/yıl, menfez maliyeti 70 €, damper maliyeti 750 € ve termostat maliyeti 50 €'dir. Filtrelerin her yıl değişmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.15 2.grup mahaller için sistem elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (Kanal, filtre, menfez vb.)
Yatırım maliyeti (€)	2270
Yıllık giderler (€/yıl)	630
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	0,1808
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	0,2318

$$Z_{kanal} = \left[\frac{2270}{15 * 4320} + \frac{630}{4320} \right] * 1,282 = 0,2318 \text{ €/h olarak hesaplanır.}$$

Değerlerin bağıntı (4.33)'de yerine yazılmasıyla,

$c_{K\dot{C}}=0,0136$ €/kJ bulunur.

Kanallardaki kayıp ekserji maliyeti*, (4.34) bağıntısından,

$C_{kayıpkanal}=0,0153$ €/h olarak hesaplanır.

Mahallerdeki kayıp ekserji maliyeti, (4.35) bağıntısı kullanılarak,

$C_{kayıpmahal}=0,0227$ €/h bulunur.

Çevreye atılan havanın maliyeti, (4.36) bağıntısından hesaplanır.

2. grup mahaller için santral yatırım maliyeti 3650 €, bakım maliyeti 60 €, emme kanallarının maliyeti 750, menfez maliyeti 70, damper maliyeti ise 20 € olarak bulunur. Bütün maliyetlere, işçilik ücretleri dahildir.

* Sisteme girişteki şartlandırılmış havanın birim ekserjetik maliyeti, bütün kayıplar için ($C_{kayıpKS}$, $C_{kayıpK}$ ve $C_{kayıpmahal}$) aynı değer alınmıştır. Bu değer c_{ort} değeridir.

Çizelge 4.16 2. grup mahaller için egzost sistemi elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (Santral, kanal, menfez, damper)
Yatırım maliyeti (€)	4490
Yıllık elektrik masrafı (€/yıl)	7400
Yıllık vergi ve sigorta (€/yıl)	70
Yıllık bakımlar (€/yıl)	60
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	1,8123
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	2,3234

$$Z_{egzost} = \left[\frac{4490}{15 * 4320} + \frac{7530}{4320} \right] * 1,282 = 2,3234 \text{ €/h olarak hesaplanır.}$$

Değerlerin (4.36) bağıntısında yazılmasıyla,

$$c_{\text{çevre}} = 0,00034 \text{ €/kj olarak hesaplanır.}$$

Kayıp ekserji maliyeti, bağıntı (4.37) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{\text{çevre}} = 9,0801 \text{ €/h}$$

Ekserji kayıp oranları, bağıntı (3.57)'den aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$y_{KS} = \frac{50,0458}{57,5331} = 0,8700$$

$$y_{KANAL} = \frac{0,0659}{57,5331} = 0,0011$$

$$y_{MAHAL} = \frac{0,0983}{57,5331} = 0,0017$$

$$y_{EGZOST} = \frac{7,3231}{57,5331} = 0,1272$$

Çizelge 4.17 2. grup mahallerde soğutma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Bileşen	Ekserji Kaybı Miktarı	Ekserji Kayıp Oranı
	E_k (kW)	y (%)
KS	50,0458	87,00
2. Grup Mahal Kanalları	0,0659	0,11
2. Grup Mahaller	0,0983	0,17
Egzost	7,3231	12,72

Termoekonomik faktör değerleri, bağıntı (3.60) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

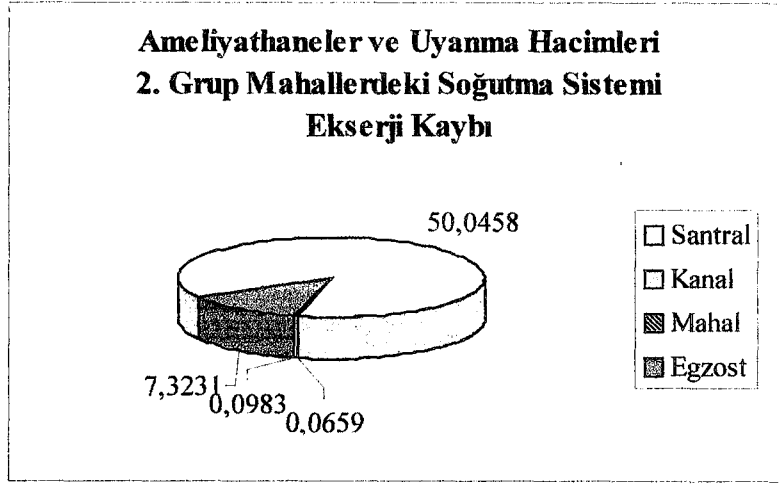
$$f_{KS} = \frac{17,0093h}{(17,0093 + 11,5882)h} = 0,5948$$

$$f_{KANAL} = \frac{0,2318h}{(0,2318 + 0,0153)h} = 0,9381$$

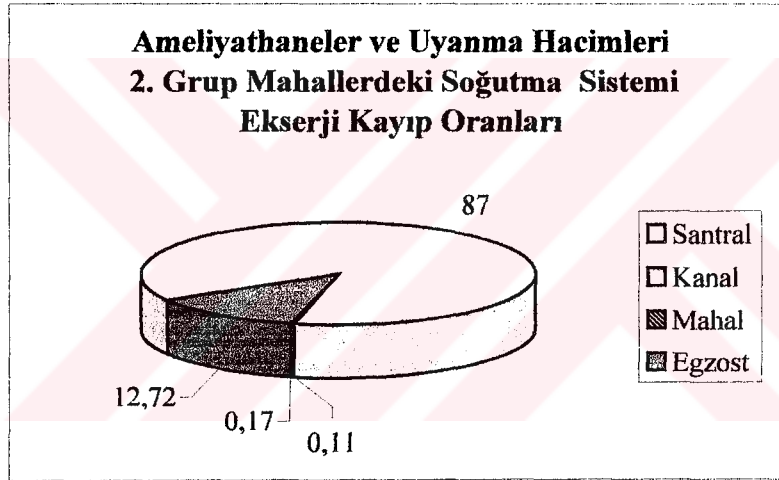
$$f_{EGZOST} = \frac{2,7757h}{(2,7757 + 9,0801)h} = 0,2341$$

Çizelge 4.18 2. grup mahallerde soğutma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Bileşen	Bir Değere Getirilmiş Maliyet	Termoekonomik Faktör
	Z (€/h)	f (%)
KS	17,0093	59,48
2. Grup Mahal Kanalları	0,2318	93,81
Egzost	2,3234	23,41



Şekil 4.9 2. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kaybı (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)



Şekil 4.10 2. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

4.1.3 Kış Sezonu İçin Ekserji Analizi

4.1.3.1 Temiz Hava Üfleme Santralinde Ekserji Analizi

Bütün mahaller şartlandırılan ortamlarla komşu olduğu için ısı kaybı alınmamıştır.

Dış hava şartları, aşağıdaki gibidir.

$$T_1 = -3 \text{ } ^\circ\text{C KT} \quad \phi = \%90$$

İç hava şartları,

$$T_2 = 22 \text{ } ^\circ\text{C KT} \quad \phi = \%50 \text{ olarak yazılır.}$$

Santralde %100 dış hava kullanılmaktadır. Bu nedenle $T_1=T_3$ 'tür ve

$$T_3 = -3 \text{ } ^\circ\text{C KT} \quad T_3 = -3,5 \text{ } ^\circ\text{C YT} \quad h_3 = 3,3 \text{ kJ/kg olarak okunur.}$$

Isıtma serpantininden çıkan hava:

$$T_4 = 44 \text{ } ^\circ\text{C KT}, \quad 18,5 \text{ } ^\circ\text{C YT}, \quad h_4 = 52,8 \text{ kJ/kg olarak okunur.}$$

Isıtıcı kapasitesi, bağıntı (4.3) kullanılarak,

$$Q_1 = 995234,4 \text{ kJ/h şeklinde hesaplanır.}$$

Cihaz çıkış havası,

$$T_5 = 31 \text{ } ^\circ\text{C KT}, \quad 18,5 \text{ } ^\circ\text{C YT}, \quad h_5 = 53,8 \text{ kJ/kg olarak okunur.}$$

Nemlendirici kapasitesi:

$$Q_N = V_h * \rho * c_p * (w_4 - w_5) \quad (4.38)$$

bağıntısından,

$$Q_N = 95,2884 \text{ kJ/h bulunur.}$$

Kanallardan üflenen hava sıcaklığı $T_5 - T_6 = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ kabul edilerek,

$$T_6 = 30 \text{ } ^\circ\text{C KT}, \quad 18,2 \text{ } ^\circ\text{C YT} \quad h_6 = 52 \text{ kJ/kg olarak okunur.}$$

Toplam kütleli hava debisi, Bölüm 4.1.1.1'de $m = 21175,0306 \text{ kg/h}$ olarak hesaplanmıştır.

Isıtma suyunun kütleli debisi, bağıntı (4.5) kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$m_{su} = 12537,8471 \text{ kg/h}$$

Çizelge 4.19 Sistemdeki noktaların fiziksel değerleri (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için kış sezonu)

Nokta	Sıcaklık T (°C)	Özgül nem w (kg _s /kg _a)	Entalpi h (kJ/kg)
1	-3	0,0037	3,3
2	22	0,0082	42
3	-3	0,0037	3,3
4	44	0,0037	52,8
5	31	0,0082	52,8
6	30	0,0082	52

Bu değerler Ek 7'deki psikometrik diyagramda gösterilmiştir.

Ekserji hesaplamalarında 1-12 noktaları için denklem (3.46), 13 ve 14 noktaları için denklem (3.44) kullanılarak, özgül ekserjiler hesaplanmıştır.

1 Noktası :

Bu nokta dış havanın damperli emiş hücresine girdiği noktadır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_0 = 270 \text{ K} \quad P_0 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 270 \text{ K} \quad P_1 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_1 = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1 = 0,0059 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

Bu noktadaki ekserji,

$$e_1 = (1,00724 + 0,0037 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{270}{270} - 1 - \ln \frac{270}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0059) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0059} + 0,0959 \ln \frac{0,00594}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0059) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$e_1 = 0,04412 \text{ kJ/kg}$ bulunur.

2 Noktası:

Bu noktada hava damperli atış hücresinden çıkarak EU3 filtreye girer. Bu nokta dış havanın özelliklerine sahiptir ve bu hücrede havanın fiziksel özelliklerinde değişim olmadığı için ekserjileri aynıdır.

$e_2 = e_1 = 0,04412 \text{ kJ/kg}$ olarak yazılır.

3 Noktası:

Bu noktada EU3 filtreden çıkan hava EU4 filtreye girer. EU3 filtredaki basınç kaybı 40 Pa'dır.

$$T_o = 270 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_3 = 270 \text{ K} \quad P_3 = 101,285 \text{ kPa}$$

$$w_3 = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3 = 0,0059 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_3 = (1,00724 + 0,0037 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{270}{270} - 1 - \ln \frac{270}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0059) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0059} + 0,09594 \ln \frac{0,0059}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0059) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,285}{101,325} \right]$$

$e_3 = 0,01334 \text{ kJ/kg}$ şeklinde hesaplanır.

4 Noktası:

Bu nokta EU4 filtreden çıkış, soğutma serpantinine giriş noktasıdır. EU4 torba filtrede basınç kaybı 150 Pa'dır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o = 270 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_4 = 270 \text{ K} \quad P_4 = 101,135 \text{ kPa}$$

$$w_4 = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_4 = 0,0059 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_4^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_4 = (1,00724 + 0,0037 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{270}{270} - 1 - \ln \frac{270}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0059) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0059} + 0,0959 \ln \frac{0,0059}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0059) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,135}{101,325} \right]$$

$e_4 = -0,1022 \text{ kJ/kg}$ bulunur.

5 Noktası:

Bu nokta soğutma serpantininden çıkış noktasıdır. Kış klimasında soğutma serpantini kullanılmadığı için bu noktasının ekserjisi 4 noktası ile aynıdır.

$e_5 = e_4 = -0,1022$ kJ/kg şeklinde yazılır.

6 Noktası:

Bu nokta ısıtma serpantininden çıkış noktasıdır. Santrale $KT = -3$ °C, $\phi = \%80$ 'de giren hava burada $t_4 = 44$ °C KT , $18,5$ °C YT 'ye kadar ısıtılır. Santralde kullanılan 2 sıralı ısıtıcı batarya için basınç kaybı 30 Pa'dır.

$$T_0 = 270 \text{ K} \quad P_0 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_6 = 317 \text{ K} \quad P_6 = 101,105 \text{ kPa}$$

$$w_6 = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6 = 0,0059 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_6 = (1,00724 + 0,0037 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{317}{270} - 1 - \ln \frac{317}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0059) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0059} + 0,0059 \ln \frac{0,0059}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0059) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,105}{101,325} \right]$$

$e_6 = 3,5971$ kJ/kg olarak hesaplanır.

7 Noktası:

Bu noktada hava sprej tipi nemlendiriciden çıkarak vantilatöre girer. Nemlendiricide basınç kaybı 110 Pa'dır.

$$T_0 = 270 \text{ K} \quad P_0 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_7 = 304 \text{ K} \quad P_7 = 100,995 \text{ kPa}$$

$$w_7 = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_7 = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_7 = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{304}{270} - 1 - \ln \frac{304}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{100,995}{101,325} \right]$$

$e_7 = 2,3263 \text{ kJ/kg}$ şeklinde bulunur.

8 Noktası:

Bu noktada hava vantilatörden çıkarak susturucuya girer. Vantilatör; santral hücrelerinin, kanalların, menfezlerin, filtrelerin ve damperlerin basınç kaybını yenmelidir.

Bölüm 4.1.1.1'de;

Kanallardaki basınç kaybı= 539,3658 Pa,

Menfezlerdeki basınç kaybı=11,7680 Pa,

Menfezlerden önce konulan filtrelerden oluşan basınç kaybı=750 Pa,

Mahal üfleme kanallarına monte edilen yangın damperinin basınç kaybı=16 Pa

Üfleme kanallarındaki volum damperlerinden oluşan basınç kaybı=1000 Pa olarak bulunmuştur.

Santral hücrelerinin basınç kaybı=650 Pa'dır.

Toplam basınç kaybı = 2,9671 kPa olarak hesaplanır.

$$T_o = 270 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_8 = 304 \text{ K} \quad P_8 = 103,9621 \text{ kPa}$$

$$w_8 = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_8 = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_8^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_8 = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{304}{270} - 1 - \ln \frac{304}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{103,9621}{101,325} \right]$$

$e_8=4,5996 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

9 Noktası:

Susturucudan çıkan hava boş hücreye girer. Susturucudaki basınç kaybı 150 Pa'dır.

$$T_o = 270 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_9 = 304 \text{ K} \quad P_9 = 103,8121 \text{ kPa}$$

$$w_9 = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_9 = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_9^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_9 = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{304}{270} - 1 - \ln \frac{304}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{103,8121}{101,325} \right]$$

$e_9=4,4863 \text{ kJ/kg}$ şeklinde bulunur.

10 Noktası:

Boş hücreden çıkış, EU7 filtreye giriş noktasıdır. Bu noktanın ekserjisi 9 noktası ile aynıdır.

$e_{10}=4,4863 \text{ kJ/kg}$ şeklinde yazılır.

11 Noktası:

EU7 filtreden çıkış noktasıdır. EU7 filtredeki basınç kaybı 150 Pa'dır. Bu noktada;

$$T_o = 270 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{11} = 304 \text{ K} \quad P_{11} = 103,6621 \text{ kPa}$$

$$w_{11} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{11} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{11}^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{11} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{304}{270} - 1 - \ln \frac{304}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{103,6621}{101,325} \right]$$

$e_{11} = 4,3728 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

12 Noktası:

Damperli atış hücresinden çıkış noktasıdır. Basınç kaybı 20 Pa'dır. Buradaki değerler;

$$T_o = 270 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{12} = 304 \text{ K} \quad P_{12} = 103,6421 \text{ kPa}$$

$$w_{12} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{12} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{12}^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{12} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{304}{270} - 1 - \ln \frac{304}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{103,6421}{101,325} \right]$$

$e_{12} = 4,2818 \text{ kJ/kg}$

şeklinde bulunur.

13 Noktası:

Bu noktada, 90 °C sıcaklığındaki su ısıtma serpantinine girer.

$$\begin{aligned} T_0 &= 270 \text{ K} & T_{13} &= 363 \text{ K} \\ h_0 &= 3,3 \text{ kJ/kg} & h_{13} &= 376,92 \text{ kJ/kg} \\ s_0 &= 0,4775 \text{ kJ/kgK} & s_{13} &= 1,1925 \text{ kJ/kgK} \\ & & P_{13} &= 70,14 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$e_{13} = (376,92 - 3,3) - 270(1,1925 - 0,4775)$$

$e_{13} = 180,5700 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

14 Noktası:

70 °C sıcaklığındaki su ısıtma serpantininden çıkar.

$$\begin{aligned} T_0 &= 270 \text{ K} & T_{14} &= 343 \text{ K} \\ h_0 &= 3,3 \text{ kJ/kg} & h_{14} &= 292,98 \text{ kJ/kg} \\ s_0 &= 0,4775 \text{ kJ/kgK} & s_{14} &= 0,9549 \text{ kJ/kgK} \\ & & P_{14} &= 31,19 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$e_{14} = (292,98 - 3,3) - 270(0,9549 - 0,4775)$$

$e_{14} = 160,7820 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

Fan gücü, bağıntı (4.6) kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Wl = \text{Fan gücü} = \frac{4,8055 * 2967,1337 * 1,2}{0,70} = 24443,5267 \text{ W} = 87996,6961 \text{ kJ/h}$$

4.1.3.2 Kazanda Ekserji Analizi

Ekserji hesaplamalarında çevre sıcaklığı kış sezonu için -3 °C, çevre basıncı 101,325 kPa kabul edilmiştir. Kazanda baca gazı sıcaklığı, 500 K'dir. Kazan içindeki ve baca içerisindeki basınç ile sistemdeki akışkanların basıncı, çevre basıncına eşittir.

Doğalgazın mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{DG} = 16,122 \text{ kg/kmol}$$

Yakma havasının mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{HAVA} = 28,84 \text{ kg/kmol}$$

Hava-doğalgaz karışımının mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{DG+HAVA} = 27,82 \text{ kg/kmol}$$

Baca gazının mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{BG} = 27,82 \text{ kg/kmol olarak Bölüm 4.1.1.3'de hesaplanmıştır.}$$

Hava, doğalgaz yakıt ve yanma ürünleri mükemmel gaz kabul edilerek çizelge 4.20 oluşturulur.

Çizelge 4.20 Kazanda yanma reaksiyonuna giren ve çıkan maddelerin entalpi (kış sezonu)

Madde	\bar{h}_f° (kJ/kmol)	\bar{h}_{270K} (kJ/kmol)	\bar{h}_{500K} (kJ/kmol)
CH ₄	-74850	-	-
C ₂ H ₆	-84680	-	-
C ₃ H ₈	-103850	-	-
C ₄ H ₁₀	-126150	-	-
O ₂	0	7858	14770
N ₂	0	7849	14581
CO ₂	-393520	8335	17678
H ₂ O	-241845	8961	16828

Sürekli akışlı açık sistemi için ısı transferi, bağıntı (3.50) de $W=0$ kabul edilerek tablo değerlerinin yerine konmasıyla;

$$Q = -860717 \text{ kJ/kmol yakıt olarak hesaplanır.}$$

Doğalgazın birim kütle için ısı transferi,

$$\frac{860717}{15,98} = 53862,1557 \text{ kJ/kg DG olarak hesaplanır.}$$

Kazana kW ısı üretmek için gereken doğalgaz debisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{m}_{DG} = \frac{995234,4}{53862,1557} = 18,4774 \text{ kg/h}$$

olarak hesaplanır.

Hava yakıt oranı Bölüm 4.1.1.3'de,

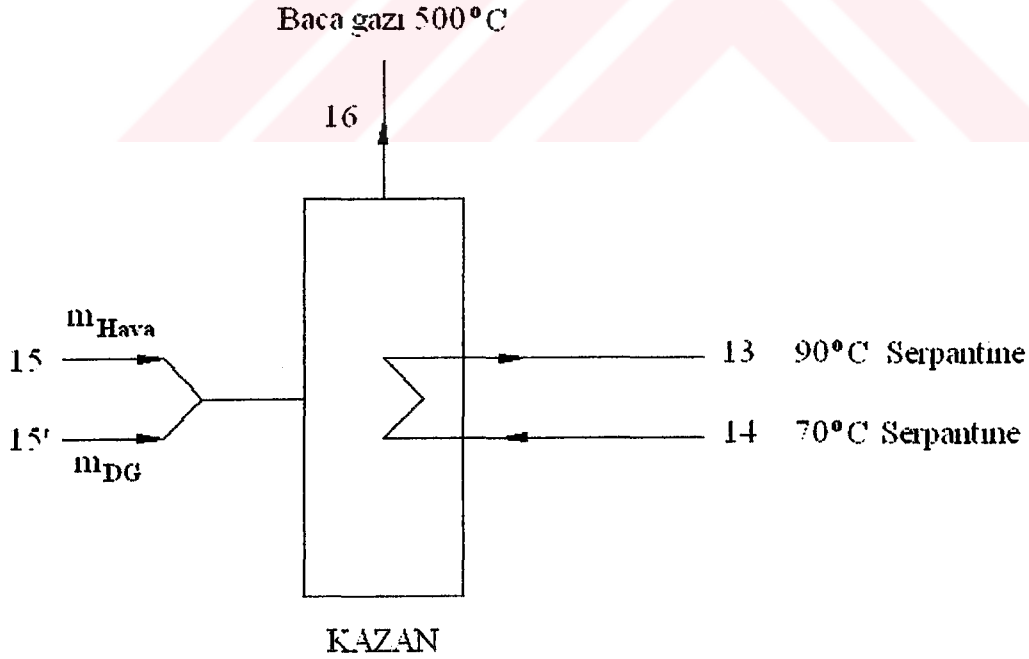
$$HY = 20,57 \frac{\text{kg hava}}{\text{kg DG}} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Havanın kütleli debisi, bağıntı (4.16) kullanılarak,

$$\dot{m}_{hava} = 380,0808 \text{ kg/h bulunur.}$$

Kazana giren toplam kütleli debi, (4.17) bağıntısı kullanılarak,

$$\dot{m}_K = 398,5582 \text{ kg/h olarak hesaplanır.}$$



Şekil 4.11 Kazan sisteminin şematik gösterimi (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için kış sezonu)

Yakıtın ve havanın girişindeki fiziksel ekserjiler ihmal edilmiştir.

Formasyon Gibbs fonksiyonu,

$\bar{g}_{DG} = -50215,4690$ kJ/kmol ve yakıtın ekserjisi,

$e_{DG}^{-CH} = 801116,6310$ kJ/kmol olarak Bölüm 4.1.1.3'de hesaplanmıştır.

Doğalgazın birim kütle ekserjisi,

$$e_{15} = \frac{801116,6310}{16,122} = 49690,8961 \text{ kJ/kg olarak hesaplanır.}$$

Karışımın birim molünün kimyasal ekserjisi, bağıntı (3.51) kullanılarak hesaplanır. Bu bağıntıdaki x_K değerleri; $x_{CO_2} = 0,0807$, $x_{H_2O} = 0,1605$, $x_{N_2} = 0,7265$ ve $x_{O_2} = 0,0323$ olarak bölüm 4.1.1.3'de hesaplanmıştır.

Değerler yerine yerleştirildiğinde, karışımın birim molünün kimyasal ekserjisi;

$$\bar{e}_p^{-CH} = -8,314 * 270 \left[0,0807 * \ln \frac{0,0003}{0,0807} + 0,1605 \frac{0,019}{0,1605} + 0,7265 \frac{0,7748}{0,7265} + 0,0323 \frac{0,2059}{0,0323} \right]$$

$\bar{e}_p^{-CH} = 1543,0273$ kJ/kmol olarak bulunur.

Baca gazının kimyasal ekserjisi ürünün kimyasal ekserjisine eşittir.

$$\bar{e}_{16}^{-CH} = 1543,0273 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazının fiziksel ekserjinin bulunmasında (3.48) bağıntısı kullanılır. Baca gazının sabit basınçtaki özgül ısısı $C_{P_{BG}} = 30,4693$ kJ/kmol K olarak Bölüm 4.1.1.3'de hesaplanmıştır.

$T_{BG} = 500^\circ\text{K}$ ve $P_{BG} = 101,325$ atm olmak üzere üzere baca gazı için fiziksel ekserji;

$$\bar{e}_{BG}^{-PH} = 30,4693 * 270 * \left(\frac{500}{270} - 1 - \ln \frac{500}{270} \right) + 0$$

$$\bar{e}_{BG}^{-PH} = 1938,7537 \text{ kJ/kmol}$$

olarak hesaplanır.

Baca gazı için toplam ekserji (4.21) bağıntısından hesaplanır.

Değerleri yerleştirerek,

$\bar{e}_{BG} = \bar{e}_{16} = 3481,7810$ kJ/kmol olarak hesaplanır.

Baca gazının birim kütle için ekserjisi;

$$e_{16} = \frac{3481,7810}{27,82} = 125,1538 \text{ kJ/kg olarak hesaplanır.}$$

Çizelge 4.21 Ameliyathane ve uyanma hacimlerinde kış sezonu için tanımlanan noktalardaki fiziksel değerler

Nokta	Madde	T(K)	P (kPa)	h(kj/kg)	m (kg/h)	e (kj/kg)	E (kj/h)
1	Hava	270	101,325	3,3	21175,0306	0,04412	934,2424
2	Hava	270	101,325	3,3	21175,0306	0,04412	934,2424
3	Hava	270	101,285	3,3	21175,0306	0,01334	282,4749
4	Hava	270	101,135	3,3	21175,0306	-0,1022	-2164,0881
5	Hava	270	101,135	3,3	21175,0306	-0,1022	-2164,0881
6	Hava	317	101,105	52,8	21175,0306	3,5971	76168,7026
7	Hava	304	100,995	52,8	21175,0306	2,3263	49259,4737
8	Hava	304	103,962	52,8	21175,0306	4,5996	97396,6707
9	Hava	304	103,812	52,8	21175,0306	4,4863	94997,5398
10	Hava	304	103,812	52,8	21175,0306	4,4863	94997,5398
11	Hava	304	103,662	52,8	21175,0306	4,3728	92594,1738
12	Hava	304	103,642	52,8	21175,0306	4,3576	92272,3133
13	Su	363	70,14	376,92	12537,8471	180,5700	2263959,0500
14	Su	343	31,19	292,98	12537,8471	160,7820	2015860,1320
W1	Fan gücü						87996,6961
15	Doğalgaz	270	101,325	-	18,4774	49690,8961	918158,5635
15'	Hava	270	101,325	-	380,0808	0	0
16	Bacagazı	500	101,325	-	398,5582	125,1538	49881,0735

4.1.3.3 Egzost Santrali İçin Ekserji Analizi

Santral hücrelerinin özgül ekserjileri, (3.46) bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

1' Noktası:

Mahalden emilen hava damperli emiş hücresine girer. Havanın santrale giriş sıcaklığı 22 °C kabul edilmiştir. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o' = 295 \text{ K}$$

$$P_o' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$T_1' = 295 \text{ K} \quad P_1' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$w_1' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_1' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{101,3433}{101,3433} \right]$$

$e_1' = 0,1077 \text{ kJ/kg}$ şeklinde bulunur.

2' Noktası:

Bu noktada, damperli emiş hücresinden çıkan hava susturucuya girer. Damperli emiş hücresindeki basınç kaybı 20 Pa'dır.

$$T_o' = 295 \text{ K} \quad P_o' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$T_2' = 295 \text{ K} \quad P_2' = 101,3233 \text{ kPa}$$

$$w_2' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_2' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_2^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_2' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{101,3233}{101,3433} \right]$$

$e_2' = 0,0907 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

3' Noktası:

Susturucudan çıkan hava boş hücreye girer. Susturucudaki basınç kaybı 150 Pa'dır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_0' = 295 \text{ K} \quad P_0' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$T_3' = 295 \text{ K} \quad P_3' = 101,1733 \text{ kPa}$$

$$w_3' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_3' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{101,1733}{101,3433} \right]$$

$e_3' = -0,0363 \text{ kJ/kg}$ şeklinde hesaplanır.

4' Noktası:

Bu noktada hava boş hücreden çıkan hava EU3 filtreye girer. Bu noktanın ekserjisi 3 noktası ile aynıdır.

$e_4' = -0,0363 \text{ kJ/kg}$ olarak yazılır.

5' Noktası:

EU3 filtreden çıkan hava aspiratöre girer. EU3 filtredeki basınç kaybı 40 Pa'dır.

$$T_0' = 295 \text{ K} \quad P_0' = 101,3433 \text{ kPa}$$

$$T_5' = 295 \text{ K} \quad P_5' = 101,1333 \text{ kPa}$$

$$w_5' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_5' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{101,1333}{101,3433} \right]$$

$e_5' = -0,0702$ kJ/kg şeklinde bulunur.

6' Noktası:

Bu noktada hava, aspiratörden çıkar. Aspiratörün; santraldeki bütün hücrelerin, mahallerdeki kanalların ve menfezlerin basınç kaybını yenmesi gerekmektedir.

Bölüm 4.1.1.4'de, toplam basınç kaybı=1,7772 kPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer buradaki hesaplamalarda da geçerlidir.

$T_0' = 295$ K	$P_0' = 101,3433$ kPa
$T_6' = 295$ K	$P_6' = 102,9105$ kPa
$w_6' = 0,0082$ kg _s /kg _h	$R_a = 0,287$ kJ/kgK
$\tilde{w}_6' = 0,0132$ kg _s /kg _h	$c_{pv} = 1,8723$ kJ/kgK
$\tilde{w}_6^{o'} = 0,0082$ kg _s /kg _h	$c_{pa} = 1,00724$ kJ/kgK

$$e_6' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{102,9105}{101,3433} \right]$$

$e_6' = 1,4241$ kJ/kg bulunur.

7' Noktası:

Hava damperli atış hücresinden dışarı atılır. Bu noktada basınç kaybı 20 Pa'dır.

$T_0' = 295$ K	$P_0' = 101,3433$ kPa
$T_7' = 295$ K	$P_7' = 102,8905$ kPa

$$w_7' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_7' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_7^o' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_7' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{102,8905}{101,3433} \right]$$

$$e_7' = 1,4074 \text{ kJ/kg bulunur.}$$

Fan gücü bağıntı (4.6) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$W1' = \frac{4,2083 * 1777,1554 * 1,2}{0,70} = 12820,9068 \text{ W} = 46155,2645 \text{ kJ/h}$$

Çizelge 4.22 Ameliyathane ve uyanma hacimlerinde kış sezonu için egzost santralindeki fiziksel değerler

Nokta	Madde	T (K)	P (kPa)	h (kJ/kg)	m (kg/h)	e (kJ/kg)	E (kJ/h)
1'	Hava	295	101,3433	42	18543,4516	0,1077	1997,1297
2'	Hava	295	101,3233	42	18543,4516	0,0907	1681,8911
3'	Hava	295	101,1733	42	18543,4516	-0,0363	-673,1273
4'	Hava	295	101,1733	42	18543,4516	-0,0363	-673,1273
5'	Hava	295	101,1333	42	18543,4516	-0,0702	-1301,7503
6'	Hava	295	102,9105	42	18543,4516	1,4241	26407,7294
7'	Hava	295	102,8905	42	18543,4516	1,4074	26098,0538
W1'	Fan gücü						46155,2645

4.1.4 Isıtma Sistemi Elemanları İçin Maliyet Analizi

Isıtma sistemi yılda 4320 saat çalışmaktadır. Sistem elemanlarının ömrü 15 yıl kabul edilmiştir.

Kış klimatizasyonunda kazan ve klima santrali devrededir.

Sistemdeki klima santrali 39000 €, kazan 1600 €, otomatik kontrol ünitesi 4400 €, ısıtma sistemi için borular, pompalar ve diğer bileşenler 22000 €, personel giderleri yıllık 12000 €,

sigorta ve vergiler yıllık 1600 €, yıllık bakımlar 1300 €'dur. Maliyetlere işçilik ücretleri dahildir. Isıtma sistemi yılda 4320 saat çalışmaktadır.

Doğalgazın alış fiyatı 0,18 €/m³, elektriğin alış fiyatı 0,07 €/kWh, şebekeden çekilen suyun alış fiyatı 0,78 €/m³'tür.

Çizelge 4.23 Isıtma sistemi elemanlarının maliyeti (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Maliyetler	Isıtma sistemi elemanları (santral, chiller, kazan)
Yatırım maliyeti (€)	67000
Yıllık elektrik ve doğalgaz masrafı (€/yıl)	28600
Yıllık vergi, sigorta ve personel masrafı (€/yıl)	13600
Yıllık bakımlar (€/yıl)	1300
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	11,1034
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	14,2345

Bir değere getirilmiş maliyet,

$$Z_{KS} = \left[\frac{67000}{15 \cdot 4320} + \frac{43500}{4320} \right] \cdot 1,282 = 14,2345 \text{ €/h}$$

olarak hesaplanır.

Santralden çıkan havanın maliyeti, (3.59) bağıntısı düzenlenerek aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E_1 \cdot c_1 - E_{12} \cdot c_{12} + E_{13} \cdot c_{13} - E_{14} \cdot c_{14} + W_1 \cdot c_{fan} + Z_{KS} = 0 \quad (4.39)$$

Denklemden c_1 santrale giren havanın maliyetidir ve 0'dır.

c_{13} ve c_{14} şebekeden çekilen suyun birim m³'ünün, kJ olarak ısıtma maliyetidir ve (4.27) bağıntısından aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$c_{13} = c_{14} = \frac{0,78 \cdot 40,1211}{995234,4} = 3,1444 \cdot 10^{-5} \text{ €/kJ}$$

Elektriğin maliyeti, $c_{fan} = 1,9444 \cdot 10^{-5} \text{ €/kJ}$ 'dür.

Değerler bağıntı (4.39)'da yazılarak, klima santralinden çıkan şartlandırılmış havanın maliyeti;

$c_{12} = 2,5735 \cdot 10^{-4} \text{ €/kJ}$ olarak bulunur.

Kaybolan ve tahrip olan ekserji (3.55) bağıntısının düzenlenmesiyle,

$$\sum (E_L + E_D) = (E_{13} + W_1) - E_{14} \quad (4.40)$$

olarak yazılır.

Değerlerin bu bağıntıda yerine yerleştirilmesiyle,

$$\sum (E_L + E_D) = 336095,6141 \text{ kJ/h} = 93,3599 \text{ kW} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Kayıp ekserji maliyetini bulmak için c_{ort} değeri hesaplanır.

$$c_{ort} = \frac{c_{13}(E_{13} - E_{14}) + c_{fan} * W_1}{(E_{13} - E_{14}) + W_1} \quad (4.41)$$

Bu bağıntı kullanılarak,

$$c_{ort} = 2,8301 * 10^{-5} \text{ €/kj} \text{ olarak hesaplanır.}$$

(4.29) bağıntısı kullanılarak kayıp ekserji maliyeti,

$$C_{kayıpKS} = 9,5118 \text{ €/h} \text{ bulunur.}$$

4.1.4.1 Birinci Grup Mahal Mahaller için Maliyet Analizi

1. gruptaki kanallar için kanal ekserji kaybı bağıntı (4.31)'den hesaplanır. Burada; dış hava sıcaklığı $T_o = 270 \text{ K}$, kanala giren ve kanaldan mahale üflenen hava sıcaklıklarının ortalaması $T = 30,5 \text{ °C} = 303,5 \text{ K}$ 'dir.

Değerlerin (4.31) bağıntısında kullanılmasıyla

$$E_{kanal} = 1940,6626 \text{ kJ/h} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Kanal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 270 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{KÇ} = 303 \text{ K} \quad P_{KÇ}^* = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_{KÇ} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

* Kanallarda basınç kaybı ihmal edilmiştir.

$$\tilde{w}_{KÇ}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{KÇ} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{303}{270} - 1 - \ln \frac{303}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0129 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$$e_{KÇ} = 1,9168 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{KÇ} = 1,9168 * 17503,0599 = 33549,8864 \text{ kJ/h bulunur.}$$

Bu gruptaki mahallerde ısı kaybı olmadığı için mahal ekserji kaybı da bulunmamaktadır.

Mahal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 270 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{\text{mahal}} = 295 \text{ K}$$

$$P_{\text{mahal}}^* = 101,343 \text{ kPa}$$

$$w_{\text{mahal}} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{\text{mahal}\checkmark} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{295}{270} - 1 - \ln \frac{295}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,343}{101,325} \right]$$

$$e_{\text{mahal}\checkmark} = 1,1377 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{\text{mahal}\checkmark} = 1,1377 * 17503,0599 = 19913,2313 \text{ kJ/h olarak hesaplanır.}$$

Bu gruptaki mahaller için mahallere yollanan şartlandırılmış havanın maliyeti, (4.33) bağıntısından hesaplanır.

* Mahal ortalama basıncı, temiz odalar ile çevre mahaller arasındaki basınç farklarına göre belirlenen her bir

Burada Z_{kanal} ; kanal, filtre, menfez, yangın ve volum damperleri ve termostat maliyetlerini olup $Z_{kanal}=0,3027$ €/h olarak Bölüm 4.1.1.1’de hesaplanmıştır.

Değerleri denge denkleminde yazarak,

$$c_{KÇ}=7,1681*10^{-4} \text{ €/kj olarak hesaplanır.}$$

Kanallardaki kayıp ekserji maliyeti *, (4.34) bağıntısından

$$C_{kayıpkanal}=0,0549 \text{ €/h olarak hesaplanır.}$$

Mahallerde ekserji kaybı olmadığı için,

$$C_{kayıpmahal}=0 \text{ olur.}$$

Çevreye atılan havanın maliyeti, bağıntı (4.36) kullanılarak hesaplanır. Buradaki Z_{egzost} değeri, 2,7757 €/h olarak Bölüm 4.1.1.1’de hesaplanmıştır.

Denge denkleminde değerleri yerleştirerek,

$$c_{çevre}=8,5619*10^{-4} \text{ €/kj olarak hesaplanır.}$$

Kayıp ekserji maliyeti (4.37) bağıntısından,

$$C_{çevre}=17,0497 \text{ €/h bulunur.}$$

Ekserji kayıp oranları, bağıntı (3.57)’den aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$y_{KS}=\frac{93,3599}{101,1485}=0,9230$$

$$y_{KANAL}=\frac{0,5391}{101,1485}=0,0053$$

$$y_{MAHAL}=0$$

$$y_{EGZOST}=\frac{7,2495}{101,1485}=0,0717$$

mahalin basıncı ile mahal hacimlerinin çarpılarak toplam hacme bölünmesiyle bulunmuştur.

* Sisteme girişteki şartlandırılmış havanın birim ekserjetik maliyeti, bütün kayıplar için ($C_{kayıpKS}$, $C_{kayıpK}$ ve $C_{kayıpmahal}$) aynı değer alınmıştır. Bu değer c_{ort} değeridir.

Çizelge 4.24 1. grup mahallerde ısıtma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Bileşen	Ekserji Kaybı Miktarı	Ekserji Kayıp Oranı
	E_k (kW)	y (%)
KS	93,3599	92,30
1. Grup Mahal Kanalları	0,5391	0,53
1. Grup Mahaller	0	0
Egzost	7,2495	7,17

Termoekonomik faktör, bağıntı (3.60) kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

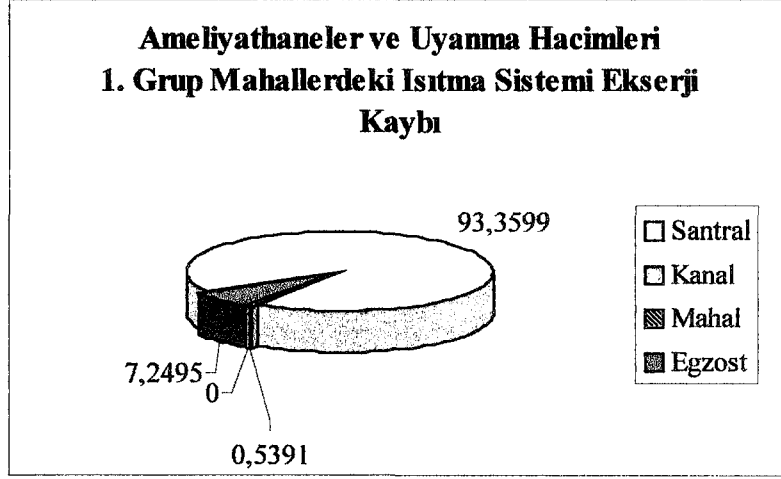
$$f_{KS} = \frac{14,2345}{(14,2345 + 9,5118)} = 0,5994$$

$$f_{KANAL} = \frac{0,3027}{(0,3027 + 0,0549)} = 0,8465$$

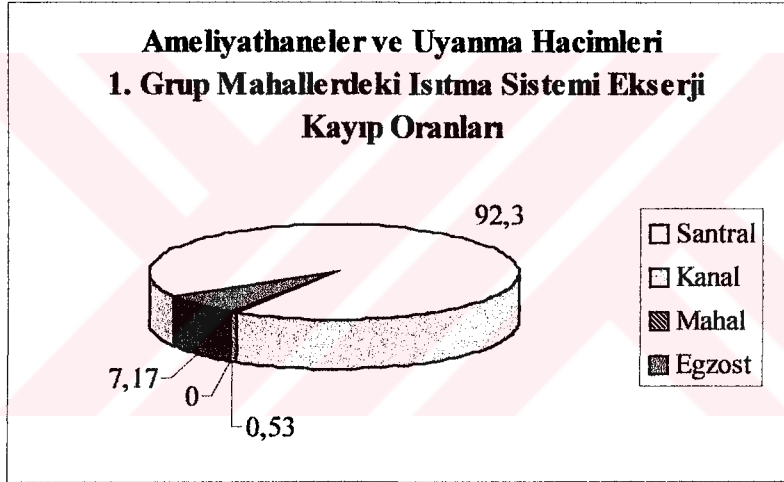
$$f_{EGZOST} = \frac{2,7757}{(2,7757 + 17,0497)} = 0,1400$$

Çizelge 4.25 1. grup mahallerde ısıtma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Bileşen	Bir Değere Getirilmiş Maliyet	Termoekonomik Faktör
	Z (€/h)	f (%)
KS	14,2345	59,94
1. Grup Mahal Kanalları	0,3027	84,65
Egzost	2,7757	14



Şekil 4.12 1. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kaybı (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)



Şekil 4.13 1. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

4.1.4.2 İkinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi

2. gruptaki mahaller için kanal ekserji kaybı $T_o=270$ K, $T=303,5$ K yazılarak bağıntı (4.31) ile,

$E_{kanal}=407,1320$ kJ/h olarak hesaplanır.

Kanal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 270 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{KÇ} = 303 \text{ K} \quad P_{KÇ}^* = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_{KÇ} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{KÇ} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{303}{270} - 1 - \ln \frac{303}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0129 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$$e_{KÇ} = 1,9168 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{KÇ} = 1,9168 * 3671,9706 = 7038,4333 \text{ kJ/h bulunur.}$$

Bu gruptaki mahallerde ısı kaybı olmadığı için mahal ekserji kaybı da bulunmamaktadır.

Mahal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 270 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{\text{mahal}} = 295 \text{ K} \quad P_{\text{mahal}}^{**} = 101,344 \text{ kPa}$$

$$w_{\text{mahal}} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

* Kanallarda basınç kaybı ihmal edilmiştir.

** Mahal ortalama basıncı, temiz odalar ile çevre mahaller arasındaki basınç farklarına göre belirlenen her bir mahalın basıncı ile mahal hacimlerinin çarpılarak toplam hacme bölünmesiyle bulunmuştur.

$$e_{\text{mahalç}} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{295}{270} - 1 - \ln \frac{295}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,344}{101,325} \right]$$

$$e_{\text{mahalç}} = 1,1385 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{\text{mahalç}} = 1,1385 * 3671,9706 = 4180,5385 \text{ kJ/h bulunur.}$$

Mahallere yollanan şartlandırılmış havanın maliyeti, (4.33) bağıntısından hesaplanır. Burada Z_{kanal} ; kanal, filtre, menfez, yangın ve volum damperleri ve termostat maliyetlerinden oluşur ve $Z_{\text{kanal}} = 0,2318 \text{ €/h}$ olarak Bölüm 4.1.1.2'de hesaplanmıştır. Değerler bağıntı (4.33)'da yazılarak, $c_{\text{KÇ}} = 0,0034 \text{ €/kj}$ olarak hesaplanır.

Kanallardaki kayıp ekserji maliyeti*, (4.34) bağıntısından

$$C_{\text{kayıpkanal}} = 0,0115 \text{ €/h olarak hesaplanır.}$$

Mahallerde ekserji kaybı olmadığı için, $C_{\text{kayıpmahal}} = 0$ olur.

Çevreye atılan havanın maliyeti, bağıntı (4.36) kullanılarak hesaplanır. Buradaki Z_{egzost} değeri, 2,3234 €/h olarak Bölüm 4.1.1.2'de hesaplanmıştır.

Değerler denge denkleminde yerine yerleştirildiğinde,

$$c_{\text{çevre}} = 6,3365 * 10^{-4} \text{ €/kj olarak hesaplanır.}$$

Kayıp ekserji maliyeti (4.37) bağıntısından, $C_{\text{çevre}} = 16,5372 \text{ €/h}$ bulunur.

Ekserji kayıp oranları, bağıntı (3.57)'den aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$y_{\text{KS}} = \frac{93,3599}{100,7225} = 0,9269$$

$$y_{\text{KANAL}} = \frac{0,1131}{100,7225} = 0,0011$$

$$y_{\text{MAHAL}} = 0$$

* Sisteme girişteki şartlandırılmış havanın birim ekserjetik maliyeti, bütün kayıplar için ($C_{\text{kayıpKS}}, C_{\text{kayıpK}}, C_{\text{kayıpmahal}}$) ort alınmıştır.

$$y_{EGZOST} = \frac{7,2495}{100,7225} = 0,0720$$

Çizelge 4.26 2. grup mahallerde ısıtma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Bileşen	Ekserji Kaybı Miktarı	Ekserji Kayıp Oranı
	Ek (kW)	y (%)
KS	93,3599	92,69
2. Grup Mahal Kanalları	0,1131	0,11
2. Grup Mahaller	0	0
Egzost	7,2495	7,20

Termoekonomik faktör değerleri, bağıntı (3.60) kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.

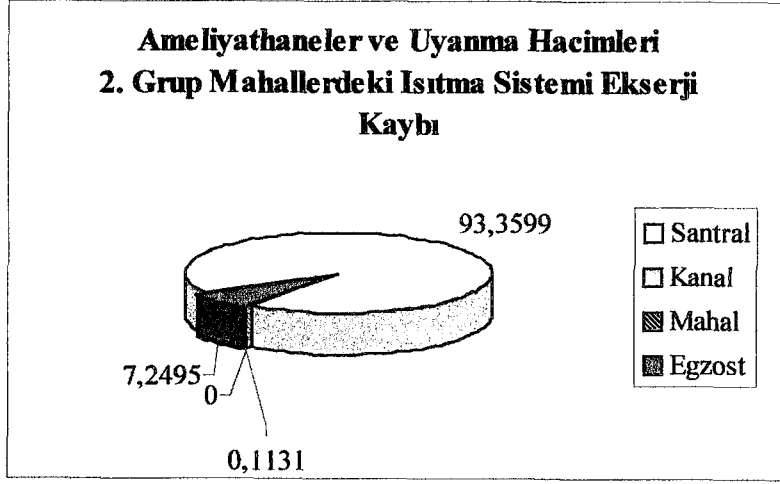
$$f_{KS} = \frac{14,2345}{(14,2345 + 9,5118)} = 0,5994$$

$$f_{KANAL} = \frac{0,2318}{(0,2318 + 0,0115)} = 0,9527$$

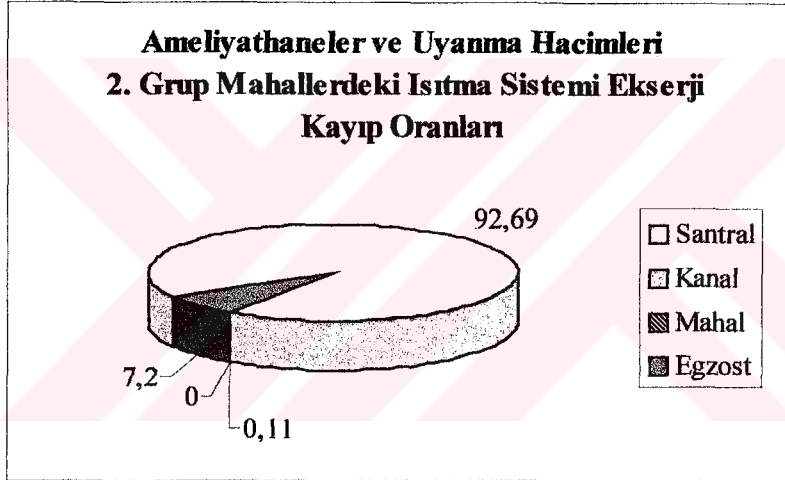
$$f_{EGZOST} = \frac{2,3234}{(2,3234 + 16,5372)} = 0,1232$$

Çizelge 4.27 2. grup mahallerde ısıtma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

Bileşen	Bir Değere Getirilmiş Maliyet	Termoekonomik Faktör
	Z (€/h)	f (%)
KS	14,2345	59,94
2. Grup Mahal Kanalları	0,2318	95,27
Egzost	2,3234	12,32



Şekil 4.14 2. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kaybı (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)



Şekil 4.15 2. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kayıp oranları (ameliyathaneler ve uyanma hacimleri)

4.2 Steril Koridor ve Çevresi

4.2.1 Yaz Sezonu İçin Ekserji Analizi

4.2.1.1 Temiz Hava Üfleme Santralinde Ekserji Analizi

Duyulur ısı yükü: $Q_d = 40608$ kJ/h

Gizli ısı yükü: $Q_g = 4464$ kJ/h

Toplam ısı yükü: $Q_t = 45072$ kJ/h

Dış hava şartları,

$$T_1 = 33 \text{ }^\circ\text{C KT} \quad T_1 = 24 \text{ }^\circ\text{C YT}$$

İç hava şartları,

$$T_2 = 22 \text{ }^\circ\text{C KT} \quad \phi = \%50 \text{ dir.}$$

Toplam hava debisi=13750 m³/h'dir.

Kanallardan üflenen hava sıcaklığı,

$$T_2 - T_5 = 7 \text{ }^\circ\text{C kabul edilmiştir.}$$

$T_5 = 15 \text{ }^\circ\text{C KT}$, $12,2 \text{ }^\circ\text{C YT}$ olarak hesaplanır.

$$h_5 = 34,7 \text{ kJ/kg olarak okunur.}$$

Santralde %100 dış hava kullanılmaktadır. Bu nedenle $T_1=T_3$ olarak yazılır.

$$T_3 = 33 \text{ }^\circ\text{C KT} \quad T_3 = 24 \text{ }^\circ\text{C YT} \quad h_3 = 72,2 \text{ kJ/kg}$$

Duyulur ısı oranı bağıntı (4.1) kullanılarak,

$$DIO=0,901 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Cihaz çıkış havası :

$$T_5 - T_4 = 1 \text{ }^\circ\text{C kabul edilerek,}$$

$$T_4 = 14 \text{ }^\circ\text{C KT} , \quad 11,5 \text{ }^\circ\text{C YT} , \quad h_4 = 32,9 \text{ kJ/kg olarak belirlenir.}$$

Dış hava soğutma serpantininde $9,2 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa ve %100 bağıl neme getirilir.

Soğutucu kapasitesi bağıntı (4.2) kullanılarak,

$$Q_s = 73132,5000 \text{ kJ/h olarak hesaplanır.}$$

Soğutma serpantininden çıkan dış hava $KT=14 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa ve %74 bağıl neme kadar ısıtılır.

Isıtıcı kapasitesi bağıntı (4.3) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_I = 80784 \text{ kJ/h}$$

Toplam kütleli hava debisi, bağıntı (4.4) kullanılarak hesaplanır.

$$m = 16829,8654 \text{ kg/h}$$

Bağıntı (4.5) kullanılarak, soğutma ve ısıtma suyu debileri,

soğutma suyu için,

$$m_{su} = 35672,8726 \text{ kg/h}$$

ısıtma suyu için,

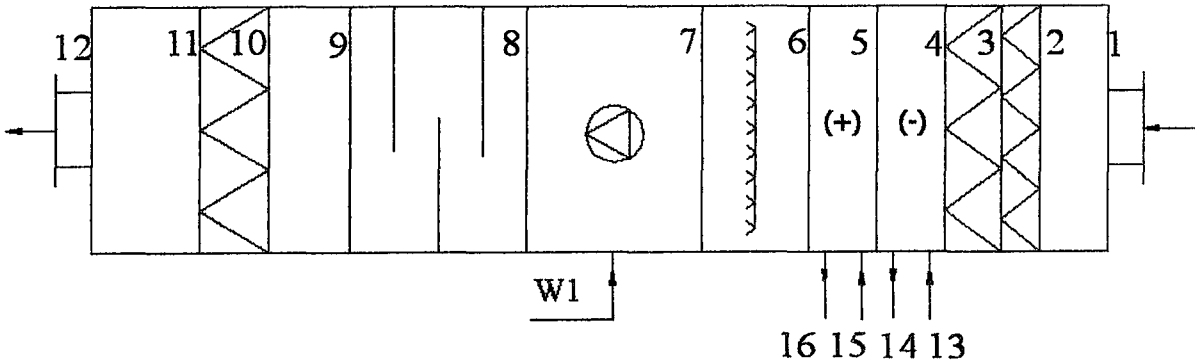
$$m_{su} = 1006,5709 \text{ kg/h olarak hesaplanır.}$$

Çizelge 4.28 Sistemdeki noktaların fiziksel değerleri (steril koridor ve çevresi için yaz sezonu)

Nokta	Sıcaklık T (°C)	Özgül nem w (kg _s /kg _h)	Entalpi h (kJ/kg)
1	33	0,015	72,2
2	22	0,0082	42
3	33	0,015	72,2
4	14	0,0073	32,9
5	15	0,0078	34,7

Bulunan değerler Ek 8'deki psikometrik diyagramda gösterilmiştir.

Şekil 4.16'da, incelenen klima santrali şematik olarak gösterilmiştir. Hücreler sırasıyla; damperli emiş hücresi, EU3 filtre, EU4 filtre, soğutma serpantini, ısıtma serpantini, sprej tipi nemlendirici, vantilatör, susturucu, boş hücre, EU7 filtre ve damperli atış hücresidir. Santrali üzerinde belirlenen noktaların ekserji kayıplarını hesaplanacaktır.



Şekil 4.16 Steril koridor ve çevresi için taze hava üfleme santrali

Ekserji hesaplamalarında; 1-12 noktaları için bağıntı (3.46), 13-16 noktaları için bağıntı (3.44) kullanılır.

1 Noktası :

Bu nokta dış havanın damperli emiş hücreğine girdiği noktadır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 306 \text{ K} \quad P_1 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_1 = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1 = 0,024 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_1 = (1,00724 + 0,015 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{306}{306} - 1 - \ln \frac{306}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,024) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,024} + 0,024 \ln \frac{0,024}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,024) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$e_1 = 0,1967 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

2 Noktası:

Bu noktada hava damperli atış hücreşinden çıkarak EU3 filtreye girer. Bu nokta dış havanın özelliklerine sahiptir ve bu hücrede havanın fiziksel özelliklerinde değişim olmadığı için ekserjileri aynıdır.

$e_2 = e_1 = 0,1967 \text{ kJ/kg}$ şeklinde yazılır.

3 Noktası:

Bu noktada EU3 filtreden çıkan hava EU4 filtreye girer. EU3 filtredeki basınç kaybı 40 Pa'dır.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_3 = 306 \text{ K} \quad P_3 = 101,285 \text{ kPa}$$

$$w_3 = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3 = 0,024 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_3 = (1,00724 + 0,015 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{306}{306} - 1 - \ln \frac{306}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,024) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,024} + 0,024 \ln \frac{0,024}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,024) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,285}{101,325} \right]$$

$e_3 = 0,1612 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

4 Noktası:

EU4 filtreden çıkış, soğutma serpantinine giriş noktasıdır. EU4 filtrede basınç kaybı 150 Pa'dır.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_4 = 306 \text{ K} \quad P_4 = 101,135 \text{ kPa}$$

$$w_4 = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_4 = 0,024 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_4^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_4 = (1,00724 + 0,015 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{306}{306} - 1 - \ln \frac{306}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,024) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,024} + 0,024 \ln \frac{0,024}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,024) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,135}{101,325} \right]$$

$e_4 = 0,0279 \text{ kJ/kg}$ şeklinde bulunur.

5 Noktası:

Bu nokta soğutma serpantininden çıkış noktasıdır. Dış hava burada soğutulduktan sonra, 9,2 °C sıcaklığa ve %100 bağıl neme sahip olur. 6 sıralı soğutucu batarya için basınç kaybı 130 Pa'dır.

Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_5 = 282,2 \text{ K}$$

$$P_5 = 101,005 \text{ kPa}$$

$$w_5 = 0,0073 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5 = 0,0117 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_5 = (1,00724 + 0,0073 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{282,2}{306} - 1 - \ln \frac{282,2}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0117) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0117} + 0,0117 \ln \frac{0,0117}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0117) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,005}{101,325} \right]$$

$e_5 = 0,7499 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

6 Noktası:

Bu nokta ısıtma serpantininden çıkış noktasıdır. Soğutma serpantininden çıkan hava, burada $KT=14 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $\phi=74\%$ 'e kadar ısıtılır. Santralde 2 sıralı ısıtıcı batarya kullanılmıştır ve basınç kaybı 30 Pa 'dır.

Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_6 = 287 \text{ K}$$

$$P_6 = 100,975 \text{ kPa}$$

$$w_6 = 0,0073 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6 = 0,0117 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_6 = (1,00724 + 0,0073 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{287}{306} - 1 - \ln \frac{287}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0117) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0117} + 0,0117 \ln \frac{0,0117}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0117) * 0,287 * 306 * \ln \frac{100,975}{101,325} \right]$$

$e_6=0,3549$ kJ/kg şeklinde bulunur.

7 Noktası:

Hava sprey tipi nemlendiriciden çıkar. Yaz klimasında nemlendirici hücre kullanılmamaktadır. Bu nedenle bu noktanın ekserjisi 6 noktasının ekserjisi ile aynı değere sahiptir.

$e_7=e_6=0,3549$ kJ/kg olarak yazılır.

8 Noktası:

Bu noktada hava vantilatörden çıkarak susturucuya girer.

Santral hücrelerinin basınç kaybı=670 Pa'dır.

Kanallardaki basınç kaybı=343,2376 Pa,

Dağıtıcı menfezdeki basınç kaybı=23,5360 Pa,

Menfezlerden önce konulan filtrelerden oluşan basınç kaybı=1500 Pa,

Mahal üfleme kanallarına monte edilen yangın damperinin basınç kaybı=16 Pa ve

Üfleme kanallarındaki volum damperlerinden oluşan basınç kaybı=1200 Pa olarak Bölüm 4.1.1.1'de belirlenmiştir. Buradan,

Toplam basınç kaybı=3,7528 kPa bulunur.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_8 = 287 \text{ K} \quad P_8 = 104,7278 \text{ kPa}$$

$$w_8 = 0,0073 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_8 = 0,0117 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_8^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_8 = (1,00724 + 0,0073 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{287}{306} - 1 - \ln \frac{287}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0117) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0117} + 0,0117 \ln \frac{0,0117}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0117) * 0,287 * 306 * \ln \frac{104,7278}{101,325} \right]$$

$e_8=3,5972$ kJ/kg şeklinde hesaplanır.

9 Noktası:

Susturucudan çıkan hava boş hücreye girer. Susturucudaki basınç kaybı 150 Pa'dır.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_9 = 287 \text{ K}$$

$$P_9 = 104,5778 \text{ kPa}$$

$$w_9 = 0,0073 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_s = 0,0117 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_s^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_9 = (1,00724 + 0,0073 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{287}{306} - 1 - \ln \frac{287}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0117) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0117} + 0,0117 \ln \frac{0,0117}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0117) * 0,287 * 306 * \ln \frac{104,5778}{101,325} \right]$$

$e_9 = 3,4636 \text{ kJ/kg}$ bulunur.

10 Noktası:

Boş hücreden çıkış, EU7 filtreye giriş noktasıdır. Bu noktanın ekserjisi 9 noktası ile aynıdır.

$e_{10} = 3,4636 \text{ kJ/kg}$ şeklinde yazılır.

11 Noktası:

EU7 filtreden çıkış noktasıdır. EU7 filtredeki basınç kaybı 150 Pa'dır. Bu noktada;

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{11} = 287 \text{ K}$$

$$P_{11} = 104,4278 \text{ kPa}$$

$$w_{11} = 0,0073 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{11} = 0,0117 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{11}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{11} = (1,00724 + 0,0073 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{287}{306} - 1 - \ln \frac{287}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0117) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0117} + 0,0117 \ln \frac{0,0117}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0117) * 0,287 * 306 * \ln \frac{104,4278}{101,325} \right]$$

$e_{11} = 3,3360$ kJ/kg olarak bulunur.

12 Noktası:

Damperli atış hücresinden çıkış noktasıdır. Basınç kaybı 20 Pa'dır. Buradaki değerler;

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{12} = 287 \text{ K} \quad P_{12} = 104,4078 \text{ kPa}$$

$$w_{12} = 0,0073 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{12} = 0,0117 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{12}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{12} = (1,00724 + 0,0073 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{287}{306} - 1 - \ln \frac{287}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0117) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0117} + 0,0117 \ln \frac{0,0117}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0117) * 0,287 * 306 * \ln \frac{104,4078}{101,325} \right]$$

$e_{12} = 3,3189$ kJ/kg şeklinde hesaplanır.

13 Noktası:

Bu noktada 7 °C sıcaklığındaki soğutma suyu, soğutma serpantinine girer. Buradaki değerler;

$$T_o = 306 \text{ K} \quad T_{13} = 280 \text{ K}$$

$$h_o = 72,2 \text{ kJ/kg} \quad h_{13} = 29,392 \text{ kJ/kg}$$

$$s_o = 0,4779 \text{ kJ/kgK} \quad s_{13} = 0,1061 \text{ kJ/kgK}$$

$$P_{13} = 1,0143 \text{ kPa}$$

$$e_{13} = (29,392 - 72,2) - 306(0,1061 - 0,4779)$$

$$e_{13} = 70,9628 \text{ kJ/kg bulunur.}$$

14 Noktası:

12 °C sıcaklığındaki su, soğutma serpantininden çıkar.

$$T_0 = 306 \text{ K}$$

$$T_{14} = 285 \text{ K}$$

$$h_0 = 72,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{14} = 50,402 \text{ kJ/kg}$$

$$s_0 = 0,4779 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_{14} = 0,1804 \text{ kJ/kgK}$$

$$P_{14} = 1,4186 \text{ kPa}$$

$$e_{14} = (50,402 - 72,2) - 306(0,1804 - 0,4779)$$

$$e_{14} = 69,237 \text{ kJ/kg olarak bulunur.}$$

15 Noktası:

Bu noktada 90 °C sıcaklığındaki su, ısıtma serpantinine girer.

$$T_0 = 306 \text{ K}$$

$$T_{15} = 363 \text{ K}$$

$$h_0 = 72,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{15} = 376,92 \text{ kJ/kg}$$

$$s_0 = 0,4779 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_{15} = 1,1925 \text{ kJ/kgK}$$

$$P_{15} = 70,14 \text{ kPa}$$

$$e_{15} = (376,92 - 72,2) - 306(1,1925 - 0,4779)$$

$$e_{15} = 86,0524 \text{ kJ/kg olarak bulunur.}$$

16 Noktası:

Bu noktada 70 °C sıcaklığındaki su, ısıtma serpantininden çıkar.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$T_{16} = 343 \text{ K}$$

$$h_o = 72,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{16} = 292,98 \text{ kJ/kg}$$

$$s_o = 0,4779 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_{16} = 0,9549 \text{ kJ/kgK}$$

$$P_{16} = 31,19 \text{ kPa}$$

$$e_{16} = (292,98 - 72,2) - 306(0,9549 - 0,4779)$$

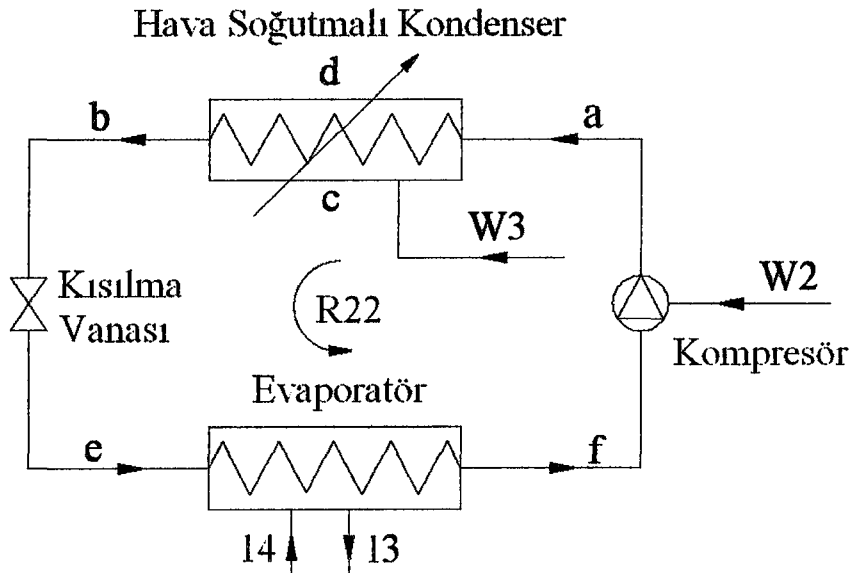
$e_{16} = 74,818 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

Fan gücü, (4.6) bağıntısı ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$W1 = \text{Fan gücü} = \frac{3,7500 * 3752,7687 * 1,2}{0,70} = 24571,6998 \text{ W} = 88458,1194 \text{ kJ/h}$$

4.2.1.2 Hava Soğutmalı Chillerde Ekserji Analizi

Klima santralinin soğuk su ihtiyacı, elektrik enerjisi ile çalışan hava soğutmalı kondenserli, sabit verimli chiller ile karşılanmaktadır. Kompresörün izentropik verimi % 80, elektrik motorunun verimi ise % 90'dır. R22'nin entalpisi b ve e noktalarında sabittir. Yoğuşma sıcaklığı $T_b = 40 \text{ °C}$, buharlaşma sıcaklığı $T_e = T_f = 0 \text{ °C}$ 'dir. Şekil 4.17'de çevrimin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.17 Steril koridor ve çevresi için hava soğutmalı chiller

Ek 9'da steril koridor ve çevresi için belirtilen noktalar, R22 diyagramında gösterilmiştir.

Çevrimdeki s_a , s_b , s_f , h_a , h_b , h_e ve h_f değerleri R22 diyagramından ve R22 tablosundan okunmuş, s_e ise (4.7) bağıntısından $x=0,28$ için,

$s_e=1,3318$ kJ/kg olarak bulunur.

Okunan ve hesaplanan değerler çizelge 4.29'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.29 Steril koridor ve çevresi için chillerdeki noktaların fiziksel değerleri

Nokta	T (K)	s (kJ/kgK)	h (kJ/kg)
a	313	1,75	434,85
b	313	1,1656	249,40
e	273	1,3318	249,40
f	271	1,75	403,87

Sistem için enerji dengesi, evaporatör için bağıntı (4.8), kondenser için bağıntı (4.9), gerekli kompresör gücü için bağıntı (4.10) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu bağıntılardan,

$$m_{R22}=4731,9868 \text{ kg/h,}$$

$$\dot{Q}_k=877545,6910 \text{ kJ/h ve}$$

$$\dot{W}_{comp}=146595,6910 \text{ kJ/h}=40,7210 \text{ kW}$$

bulunur.

Kompresörün elektrik motoru gücü, bağıntı (4.11) ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$W2= N_{motor} = 56,5570 \text{ kW}$$

Kondenser için elektrik gücü,

$$W3=8 \text{ kW olarak belirlenir.}$$

Çevrimde COP, (4.12) bağıntısı kullanılarak

$$COP = 4,9865 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Kondensere giriş havası dış hava şartlarında $T_c=33$ °C, çıkış havası ise $T_d=43$ °C kabul edilmiştir. Bu sıcaklıklar için, $h_c=72,2$ kJ/kg ve $h_d=82$ kJ/kg olarak okunmuştur.

Kondenserin soğutma hava debisi (4.13) bağıntısından aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$m_c = m_d = 94359,7517 \text{ kg/h}$$

Sistem bileşenlerinde kimyasal reaksiyon olmadığı için kimyasal ekserji bulunmamaktadır. Bu nedenle sistem için yalnız fiziksel ekserjiler hesaplanmıştır.

Hava soğutmalı chiller için; a,b,e ve f noktalarının özgül ekserjileri (3.44) bağıntısı ile, c ve d noktalarının özgül ekserjileri ise (3.46) bağıntısı ile hesaplanır.

a Noktası:

R22 kompresörden çıkarak kondensere gelir.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad T_a = 333 \text{ K}$$

$$h_o = 72,2 \text{ kJ/kg} \quad h_a = 434,85 \text{ kJ/kg}$$

$$s_o = 0,4779 \text{ kJ/kgK} \quad s_a = 1,75 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_a = (434,85 - 72,2) - 306(1,75 - 0,4779)$$

$$e_a = -26,6126 \text{ kJ/kg} \text{ olarak bulunur.}$$

b Noktası:

Kondenserden çıkan R22 kısılma vanasına gelir.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad T_b = 313 \text{ K}$$

$$h_o = 72,2 \text{ kJ/kg} \quad h_b = 249,4 \text{ kJ/kg}$$

$$s_o = 0,4779 \text{ kJ/kgK} \quad s_b = 1,1656 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_b = (249,4 - 72,2) - 306(1,1656 - 0,4779)$$

$$e_b = -33,2362 \text{ kJ/kg} \text{ olarak bulunur.}$$

c Noktası:

Soğutma havası kondensere girer.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_c = 306 \text{ K}$$

$$P_c = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_c = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_c = 0,024 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_c^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_c = (1,00724 + 0,015 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{306}{306} - 1 - \ln \frac{306}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,024) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,024} + 0,024 \ln \frac{0,024}{0,015} \right] + \left[(1 + 0,024) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$e_c = 0,1967 \text{ kJ/kg}$ şeklinde hesaplanır.

d Noktası:

Soğutma havası bu noktada kondenserden çıkar.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_d = 316 \text{ K}$$

$$P_d = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_d = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_d = 0,024 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_d^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_d = (1,00724 + 0,015 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{316}{306} - 1 - \ln \frac{316}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,024) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,024} + 0,024 \ln \frac{0,024}{0,015} \right] + \left[(1 + 0,024) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$e_d = 0,3622 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

e Noktası:

Kısılma vanasından çıkan R22 evaporatöre gelir.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$T_e = 273 \text{ K}$$

$$h_o = 72,2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_e = 249,4 \text{ kJ/kg}$$

$$s_o = 0,4779 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_e = 1,3318 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_e = (249,4 - 72,2) - 306(1,3318 - 0,4779)$$

$e_e = -84,0934$ kJ/kg bulunur.

f noktası:

R22 evaporatörden çıkarak kompresöre gelir.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad T_f = 271 \text{ K}$$

$$h_o = 72,2 \text{ kJ/kg} \quad h_f = 403,87 \text{ kJ/kg}$$

$$s_o = 0,4779 \text{ kJ/kgK} \quad s_f = 1,75 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_f = (403,87 - 72,2) - 306(1,75 - 0,4779)$$

$e_f = -57,5926$ kJ/kg bulunur.

4.2.1.3 Kazanda Ekserji Analizi

Bölüm 4.1.1.3'deki kabuller buradaki hesaplamalarda da geçerlidir.

Doğalgazın mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{DG} = 16,122 \text{ kg/kmol}$$

Yakma havasının mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{HAVA} = 28,84 \text{ kg/kmol}$$

Hava-doğalgaz karışımının mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{DG+HAVA} = 27,82 \text{ kg/kmol}$$

Baca gazının mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{BG} = 27,82 \text{ kg/kmol}$$

Sürekli akışlı açık sistemi için ısı transferi,

$Q = - 874309$ kJ/kmol yakıt olarak Bölüm 4.1.1.3'de hesaplanmıştır. Doğalgazın birim kütlesi için ısı transfer değeri,

$$\frac{874309}{15,98} = 54712,7048 \text{ kJ/kg DG 'dir.}$$

Kazana kW ısı üretmek için gereken doğalgaz debisi;

$$\dot{m}_{DG} = \frac{80784}{54712,7048} = 1,4765 \text{ kg/h olarak hesaplanır.}$$

Hava yakıt oranı Bölüm 4.1.1.3'de,

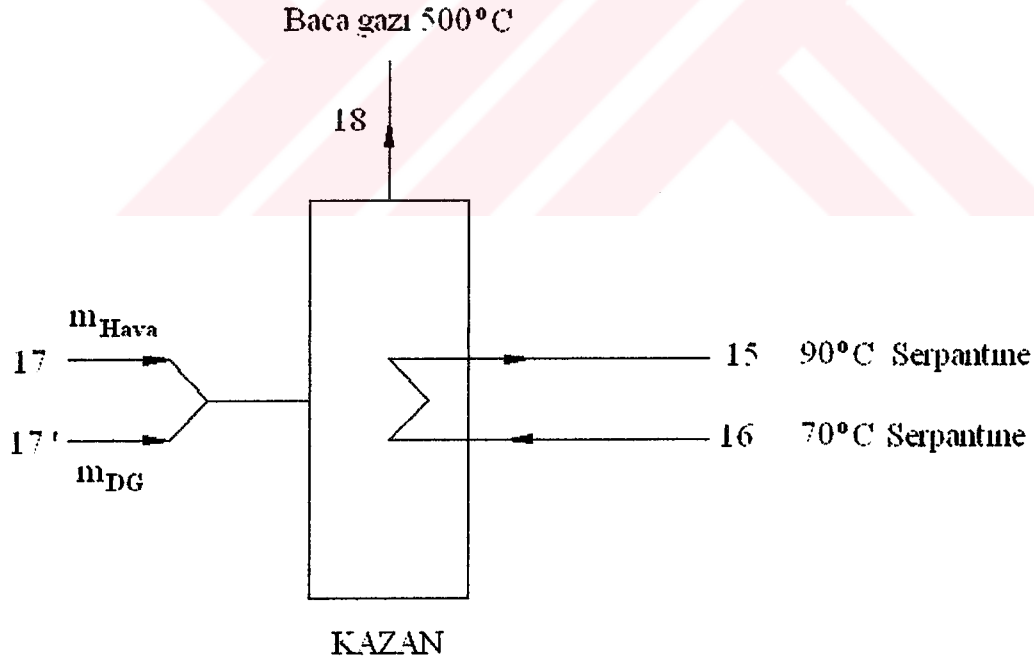
$$HY = 20,57 \frac{\text{kgHava}}{\text{kgDG}} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Bağıntı (4.16) kullanılarak, havanın kütleli debisi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\dot{m}_{hava} = 30,3719 \text{ kg/h}$$

Kazan giren toplam kütleli debi (4.17) bağıntısı kullanılarak,

$$\dot{m}_K = 31,8484 \text{ kg/h bulunur.}$$



Şekil 4.18 Kazan sisteminin şematik gösterimi (steril koridor ve çevresi için yaz sezonu)

Yakıtın ve havanın girişindeki fiziksel ekserjiler ihmal edilmiştir.

Formasyon Gibbs fonksiyonu, bağıntı (3.53) kullanılarak,

$$\bar{g}_{DG} = -50215,4690 \text{ kJ/kmol}$$

ve yakıtın ekserjisi (3.52) bağıntısı kullanılarak,

$$e_{DG}^{-CH} = 801116,6310 \text{ kJ/kmol olarak hesaplanır.}$$

Birim ekserji,

$$e_{17} = \frac{801116,6310}{16,122} = 49690,8961 \text{ kJ/kg olarak hesaplanır.}$$

Karışımın birim molünün kimyasal ekserjisi, bağıntı (3.51) kullanılarak hesaplanır. Bu bağıntıdaki x_K değerleri; $x_{CO_2} = 0,0807$, $x_{H_2O} = 0,1605$, $x_{N_2} = 0,7265$ ve $x_{O_2} = 0,0323$ olarak bölüm 4.1.1.3'de hesaplanmıştır.

Değerler yerine yerleştirildiğinde, karışımın birim molünün kimyasal ekserjisi,

$$\bar{e}_p^{-CH} = -8,314 * 306 \left[0,0807 * \ln \frac{0,0003}{0,0807} + 0,1605 \frac{0,019}{0,1605} + 0,7265 \frac{0,7748}{0,7265} + 0,0323 \frac{0,2059}{0,0323} \right]$$

$$\bar{e}_p^{-CH} = 1748,7643 \text{ kJ/kmol olarak bulunur.}$$

Baca gazının kimyasal ekserjisi ürünün kimyasal ekserjisine eşittir ve

$$\bar{e}_{18}^{-CH} = 1748,7643 \text{ kJ/kmol yazılır.}$$

Baca gazının fiziksel ekserjinin bulunmasında (3.48) bağıntısı kullanılır. Baca gazının sabit basınçtaki özgül ısısı $C_{p_{BG}} = 30,4693 \text{ kJ/kmol K}$ olarak Bölüm 4.1.1.3'de hesaplanmıştır.

$T_{BG} = 500^\circ\text{K}$ ve $P_{BG} = 101,325 \text{ atm}$ olmak üzere üzere baca gazı için fiziksel ekserji,

$$\bar{e}_{BG}^{-PH} = 30,4693 * 306 * \left(\frac{500}{306} - 1 - \ln \frac{500}{306} \right) + 0$$

$$\bar{e}_{BG}^{-PH} = 1332,9393 \text{ kJ/kmol}$$

olarak hesaplanır.

Baca gazı için toplam ekserji (4.21) bağıntısından,

$$\bar{e}_{BG} = \bar{e}_{18} = 3081,7036 \text{ kJ/kmol şeklinde bulunur.}$$

Baca gazının birim kütle için ekserjisi;

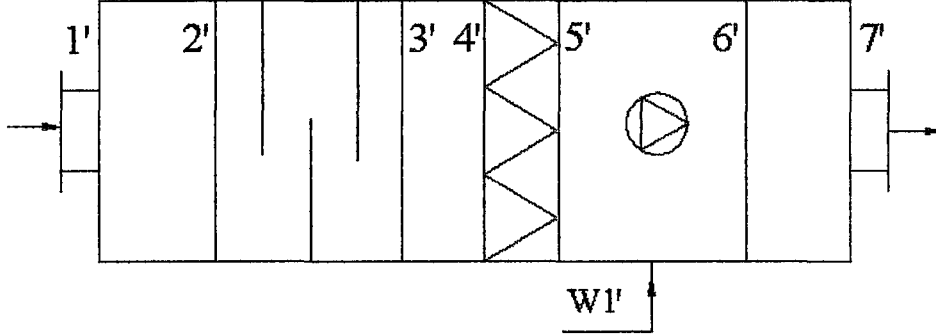
$$e_{18} = \frac{3081,7036}{27,82} = 110,7729 \text{ kJ/kg olarak hesaplanır.}$$

Çizelge 4.30 Steril koridor ve çevresinde yaz sezonu için tanımlanan noktalardaki fiziksel değerler

Nokta	Madde	T(K)	P (kPa)	h(kj/kg)	m (kg/h)	e (kj/kg)	E (kj/h)
1	Hava	306	101,325	72,2	21175,0306	0,1967	3310,4345
2	Hava	306	101,325	72,2	21175,0306	0,1967	3310,4345
3	Hava	306	101,285	72,2	21175,0306	0,1612	2712,9743
4	Hava	306	101,135	72,2	21175,0306	0,0279	469,5532
5	Hava	282,2	101,005	27,9	21175,0306	0,7449	12536,5667
6	Hava	287	100,975	32,9	21175,0306	0,3549	5972,9192
7	Hava	287	100,975	32,9	21175,0306	0,3549	5972,9192
8	Hava	287	104,727	32,9	21175,0306	3,5972	60540,3918
9	Hava	287	104,577	32,9	21175,0306	3,4636	58291,9218
10	Hava	287	104,577	32,9	21175,0306	3,4636	58291,9218
11	Hava	287	104,427	32,9	21175,0306	3,3360	56144,4309
12	Hava	287	104,407	32,9	21175,0306	3,3189	55856,64028
13	Su	280	1,0143	29,392	44781,6437	70,9628	2531438,9333
14	Su	285	1,4186	50,402	44781,6437	69,237	2469874,8841
15	Su	363	70,14	376,92	1266,4492	86,0524	86616,9037
16	Su	343	31,19	292,98	1266,4492	74,818	75308,8061
a	R-22	333	1500	434,85	5940,260	-84,0934	-397928,2869
b	R-22	313	1500	249,40	5940,260	-33,2363	-157273,5069
c	Nemli hava	306	101,325	72,7	112289,0983	0,1967	18560,5632
d	Nemli hava	316	101,325	82	112289,0983	0,3622	34177,1021
e	R-22	273	500	249,40	5940,260	-84,0934	-397928,2869
f	R-22	271	500	403,87	5940,260	-57,5926	-272527,0313
W1	Fan						88458,1194
W2	Kompresör						203605,2
W3	Kondenser						28800
17	Doğalgaz	306	101,325	-	1,4765	49690,896	73368,6079
17'	Hava	306	101,325	-	30,3719	0	0
18	Bacagazı	500	101,325	-	31,8484	110,7729	3527,9396

4.2.1.4 Egzost Santrali İçin Ekserji Kayıpları

Şekil 4.19'da, incelenen klima santrali şematik olarak gösterilmiştir. Bu klima santrali üzerinde belirlenen noktaların ekserji kayıplarını hesaplanacaktır.



Şekil 4.19 Steril koridor ve çevresi için egzost santrali

Steril koridor 101,325 kPa olarak kabul edilmiş ve hava akış yönüne göre temiz oda ve çevresi arasında 12 Pa basınç farkı uygulanarak diğer mahallerin basınçları belirlenmiştir.

Çizelge 4.31 Steril koridor ve çevresi mahal basınçları

Mahal No	Mahal Adı	Hacim (m ³)	Basınç (kPa)
2048	Cihaz Deposu	38,0	101,337
2049	Kirli Oda	23,2	101,313
2050	Steril Malzeme Deposu	81,4	101,337
2052	Sorumlu Hemşire Odası	19,1	101,337
2053	Doktorlar Odası	22,6	101,337
2054	Personel Dinlenme	26,5	101,337
2073	Temizlik Odası	6,5	101,313
2074	Temiz Malzeme Odası	10,0	101,337
2075	Kirli Oda	20,7	101,313
2095	Cihaz Odası	16,1	101,337
2096	Kontrol Odası	16,1	101,337
2097	Koridor	676,1	101,325
2101	Film Banyo	20,3	101,313
2101 A	Perfüzyonistler	26,8	101,313
2105	Kateter Malzeme Yıkama	15,1	101,313
2106	Kateter Depo	13,5	101,325
2107	Kateter	141,4	101,337

Çizelge 4.31 kullanılarak, ortalama basınç aşağıda hesaplanmıştır.

Ortalama Basınç=101,3277 kPa

Santral hücrelerinin özgül ekserjileri, (3.46) bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

1' Noktası:

Mahalden emilen hava damperli emiş hücresine girer. Havanın santrale giriş sıcaklığı 25 °C kabul edilmiştir. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o' = 298 \text{ K} \quad P_o' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_1' = 298 \text{ K} \quad P_1' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$w_1' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_1' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{101,3277}{101,3277} \right]$$

$e_1' = 0,10878 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

2' Noktası:

Bu noktada, damperli emiş hücresinden çıkan hava susturucuya girer. Damperli emiş hücresindeki basınç kaybı 20 Pa'dır.

$$T_o' = 298 \text{ K} \quad P_o' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_2' = 298 \text{ K} \quad P_2' = 101,3077 \text{ kPa}$$

$$w_2' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_2' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_2^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_2' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{101,3077}{101,3277} \right]$$

$e_2' = 0,09167$ kJ/kg şeklinde bulunur.

3' Noktası:

Susturucudan çıkan hava boş hücreye girer. Susturucudaki basınç kaybı 150 Pa'dır.

$$T_o' = 298 \text{ K} \quad P_o' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_3' = 298 \text{ K} \quad P_3' = 101,1577 \text{ kPa}$$

$$w_3' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3^o' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_3' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{101,1577}{101,3277} \right]$$

$e_3' = -0,0367$ kJ/kg şeklinde hesaplanır.

4' Noktası:

Bu noktada boş hücreden çıkan hava EU3 filtreye girer. Boş hücrede basınç ve sıcaklık değişimi olmadığı için ekserjisi 3 noktası ile aynıdır.

$e_4' = -0,0367$ kJ/kg olarak yazılır.

5' Noktası:

EU3 filtreden çıkan hava aspiratöre girer. EU3 filtredaki basınç kaybı 40 Pa'dır.

$$T_o' = 298 \text{ K} \quad P_o' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_5' = 298 \text{ K} \quad P_5' = 101,1177 \text{ kPa}$$

$$w_5' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5^o' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_5' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{101,1177}{101,3277} \right]$$

$e_5' = -0,071 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

6' Noktası:

Bu noktada hava, aspiratörden çıkar. Aspiratörün; santraldeki bütün hücrelerin, mahallerdeki kanalların ve menfezlerin basınç kaybını yenmesi gerekmektedir.

Santral hücrelerinin basınç kaybı=230 Pa

Kanallardaki basınç kaybı=392,2660 Pa

Toplayıcı menfezler için hava hızı 1,5 m/s seçilmiştir. Bu hızda menfez başına basınç kaybı 1,9613 Pa'dır.

Menfezlerdeki basınç kaybı=menfez sayısı*birim menfez başına basınç kaybı=1*1,9613=1,9613 Pa

Emme kanallarındaki volum damperlerinden oluşan basınç kaybı=damper sayısı*birim damper başına basınç kaybı=8*200=1600 Pa

Toplam basınç kaybı=2,2242 kPa olarak hesaplanır.

$$T_o' = 298 \text{ K} \quad P_o' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_6' = 298 \text{ K} \quad P_6' = 103,3419 \text{ kPa}$$

$$w_6' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_6' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{103,3419}{101,3277} \right]$$

$$e_6' = 1,8144 \text{ kJ/kg bulunur.}$$

7' Noktası:

Hava damperli atış hücresinden dışarı atılır. Bu noktada basınç kaybı 20 Pa'dır.

$$T_0' = 298 \text{ K} \quad P_0' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_7' = 298 \text{ K} \quad P_7' = 103,3219 \text{ kPa}$$

$$w_7' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_7' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_7^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_7' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 298 * \left(\frac{298}{298} - 1 - \ln \frac{298}{298} \right) +$$

$$0,287 * 298 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 298 * \ln \frac{103,3219}{101,3277} \right]$$

$$e_7' = 1,7976 \text{ kJ/kg olarak hesaplanır.}$$

Fan gücü bağıntı (4.6) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$W_1' = \frac{4,4166 * 2224,2273 * 1,2}{0,70} = 16840,5781 \text{ W} = 60626,0813 \text{ kJ/h}$$

Çizelge 4.32 Steril koridor ve çevresinde yaz sezonu için egzost santralindeki fiziksel değerler

Nokta	Madde	T (K)	P (kPa)	h (kJ/kg)	m (kg/h)	e (kJ/kg)	E (kJ/h)
1'	Hava	298	101,3277	45,4	19461,4443	0,10878	2117,0159
2'	Hava	298	101,3077	45,4	19461,4443	0,09167	1784,0306
3'	Hava	298	101,1577	45,4	19461,4443	-0,0367	-714,2350
4'	Hava	298	101,1577	45,4	19461,4443	-0,0367	-714,2350
5'	Hava	298	101,1177	45,4	19461,4443	-0,071	-1381,7625
6'	Hava	298	103,3419	45,4	19461,4443	1,8144	35310,8445
7'	Hava	298	103,3219	45,4	19461,4443	1,7976	34983,8923
W1'	Fan gücü						60626,0813

4.2.2 Soğutma Sistemi Elemanları İçin Maliyet Analizi

Soğutma sistemi yılda 4320 saat çalışmaktadır. Sistem elemanlarının ömrü 15 yıl kabul edilmiştir.

Yaz klimastizasyonunda klima santrali, chiller ve kazan devrededir ve bu bileşenlerin maliyeti hesaplanacaktır. Kazan yalnızca klima santralini beslemektedir. Mahallerin sıcak su ve buhar ihtiyacı ayrı bir kazanla sağlanmaktadır.

Sistemdeki klima santrali 33000 €, chiller 25000 €, kazan 1200 €, otomatik kontrol ünitesi 3800 €, ısıtma sistemi için borular, pompalar ve diğer bileşenler 20000 €, soğutma sistemi için borular, pompalar ve diğer bileşenler 15000 €, personel giderleri yıllık 12000 €, sigorta ve vergiler yıllık 1250 €, yıllık bakımlar 1300 €'dur. Maliyetlere işçilik ücretleri dahildir. Soğutma sistemi yılda 4320 saat çalışmaktadır.

Doğalgazın alış fiyatı 0,18 €/m³, elektriğin alış fiyatı 0,07 €/kWh, şebekeden çekilen suyun alış fiyatı 0,78 €/m³'tür.

Çizelge 4.33 Soğutma sistemi elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (santral, chiller, kazan)
Yatırım maliyeti (€)	98000
Yıllık elektrik ve doğalgaz masrafı (€/yıl)	28750
Yıllık vergi, sigorta ve personel masrafı (€/yıl)	13250
Yıllık bakımlar (€/yıl)	1300
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	11,5355
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	14,7885

Bir değere getirilmiş maliyet, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Z_{KS} = \left[\frac{98000}{15 \cdot 4320} + \frac{43300}{4320} \right] \cdot 1,282 = 14,7885 \text{ €/h}$$

Santralden çıkan havanın maliyeti, bağıntı (4.26) kullanılarak hesaplanır.

Bu bağıntıdaki c_1 santrale giren havanın maliyetidir ve 0'dır.

c_{13} , c_{14} , c_{15} ve c_{16} şebekeden çekilen suyun birim m^3 'ünün, kj olarak ısıtma/soğutma maliyetidir ve (4.27) bağıntısı kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$c_{13}=c_{14} = \frac{0,78 \cdot 114,4092}{730950} = 1,2208 \cdot 10^{-4} \text{ €/kj}$$

$$c_{15}=c_{16} = \frac{0,78 \cdot 3,2210}{80784} = 3,1100 \cdot 10^{-5} \text{ €/kj}$$

Elektriğin maliyeti, $c_{fan} = 1,9444 \cdot 10^{-5} \text{ €/kj}$ 'dür.

Şartlandırılmış havanın klima santralinden çıkarken maliyeti c_{12} , değerlerin (4.27) bağıntısında yazılmasıyla,

$c_{12} = 4,3639 \cdot 10^{-4} \text{ €/kj}$ olarak hesaplanır.

Kaybolan ve tahrip olan ekserji (4.28) bağıntısı kullanılarak,

$$\sum (E_L + E_D) = 161330,2662 \text{ kj/h} = 44,8139 \text{ kW}$$
 olarak hesaplanır.

Kayıp ekserji maliyeti, bağıntı (4.29) kullanılarak hesaplanır. Buradaki c_{ort} değeri ise (4.30) bağıntısında değerler yerine koyularak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$c_{ort} = 5,9424 \cdot 10^{-5} \text{ €/kj}$$

Kayıp ekserji maliyeti,

$$C_{kayıpKS} = 9,5871 \text{ €/h}$$
 olarak hesaplanır.

Steril koridor ve çevresindeki mahaller sterilizasyon önem derecesine göre 3 grupta toplanabilir.

4.2.2.1 Birinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi

1. gruptaki mahaller;

Çizelge 4.34 1. grup mahaller (steril koridor ve çevresi)

Mahal No	Mahal Adı
2048	Cihaz Deposu
2050	Steril Malzeme Deposu
2074	Temiz Malzeme Odası
2095	Cihaz Odası
2096	Kontrol Odası
2101	Film Banyo
2101 A	Perfüsyonistler
2105	Kateter Malzeme Yıkama
2106	Kateter Depo
2107	Kateter

Bu gruptaki kanallar için, kanal ekserji kaybı bağıntı (4.31)'den hesaplanır. Burada $T_o=306$ K, $T=287,5$ K'dir. Değerler bağıntıda yerine yerleştirilerek,

$E_{kanal}=-450,9585$ kJ/h bulunur.

Kanal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{KÇ} = 288 \text{ K}$$

$$P_{KÇ}^* = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_{KÇ} = 0,0078 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ} = 0,0125 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{KÇ} = (1,00724 + 0,0078 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{288}{306} - 1 - \ln \frac{288}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0125) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0125} + 0,0125 \ln \frac{0,0129}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0125) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$$e_{KÇ} = 0,5823 \text{ kJ/kg}$$

* Kanallarda basınç kaybı ihmal edilmiştir.

$E_{K\dot{C}}=0,5823*6976,7442=4062,5581$ kJ/h olarak bulunur.

Bu gruptaki mahallerin ekserji kaybı, bağıntı (4.32) kullanılarak hesaplanır. Burada $T_o=306$ K, $T=T_{\text{mahal}}=295$ K'dir. Q_{mahal} bu gruptaki mahallerin toplam ısı kazancısıdır ve $Q_{\text{mahal}}=19774,8$ kJ/h'dir. Bu değerler kullanılarak,

$E_{\text{mahal}}=-737,3654$ kJ/h olarak hesaplanır.

Mahal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{\text{mahal}} = 298 \text{ K}$$

$$P_{\text{mahal}}^* = 101,3328 \text{ kPa}$$

$$w_{\text{mahal}} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{\text{mahal}\dot{C}} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{298}{306} - 1 - \ln \frac{298}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,3328}{101,325} \right]$$

$$e_{\text{mahal}\dot{C}} = 0,1254 \text{ kJ/kg}$$

$E_{\text{mahal}\dot{C}} = 0,1254 * 6976,7442 = 874,8837$ kJ/h bulunur.

Bu gruptaki mahaller için mahallere yollanan şartlandırılmış havanın maliyeti, (4.33) bağıntısından hesaplanır. Burada Z_{kanal} ; kanal, filtre, menfez, yangın ve volum damperleri ve termostat maliyetlerini kapsamaktadır. Kanal maliyeti 2500 €, filtre maliyeti 1350 €/yıl, menfez maliyeti 150 €, damper maliyeti 1250 € ve termostat maliyeti 250 €'dir. Filtrelerin her sene değişmesi gerektiği için maliyeti yıllık olarak yazılmıştır.

* Mahal ortalama basıncı, temiz odalar ile çevre mahaller arasındaki basınç farklarına göre belirlenen her bir mahalın basıncı ile mahal hacimlerinin çarpılarak toplam hacme bölünmesiyle bulunmuştur.

Çizelge 4.35 1. grup mahaller için sistem elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (Kanal, filtre, menfez vb.)
Yatırım maliyeti (€)	4150
Yıllık giderler (€/yıl)	1350
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	0,3765
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	0,4827

Bir değere getirilmiş maliyet,

$$Z_{kanal} = \left[\frac{4150}{15 \cdot 4320} + \frac{1350}{4320} \right] \cdot 1,282 = 0,4827 \text{ €/h olarak bulunur.}$$

Değerlerin bağıntı (4.33)'de yerine yazılmasıyla,

$$c_{KÇ} = 0,00612 \text{ €/kj olarak hesaplanır.}$$

Kanallardaki kayıp ekserji maliyeti * (4.34) bağıntısından,

$$C_{kayıpkanal} = 0,0268 \text{ €/h bulunur.}$$

Mahallerdeki kayıp ekserji maliyeti, (4.35) bağıntısı kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{kayıpmahal} = 0,0438 \text{ €/h}$$

Çevreye atılan havanın maliyeti bağıntı (4.36) kullanılarak hesaplanır. Buradaki Z_{egzost} değeri, emme kanalları ve menfez maliyetleri ile emiş yapan klima santralının maliyetinin mahal debilerine göre dağılımının toplamı kullanılarak bulunur.

Egzost santralının yatırım maliyeti 18000 €, bakım maliyeti 350 €, yıllık harcanan elektrik 6000 €/h'dir. 1. grup mahaller için santral yatırım maliyeti 7500 €, bakım maliyeti 150 €, yıllık elektrik harcaması 2500 €/yıl olarak hesaplanır. Bu mahaller için emme kanallarının maliyeti 1500 €, menfez maliyeti 130 €, damper maliyeti ise 70 € olarak kabul edilmiştir. Bütün maliyetlere, işçilik ücretleri dahil edilmiştir.

* Sisteme girişteki şartlandırılmış havanın birim ekserjetik maliyeti, bütün kayıplar için ($C_{kayıpKS}$, $C_{kayıpK}$ ve $C_{kayıpmahal}$) aynı değer alınmıştır. Bu değer c_{ort} değeridir.

Çizelge 4.36 1. grup mahaller için egzost sistemi elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (Santral, kanal, menfez, damper)
Yatırım maliyeti (€)	9200
Yıllık elektrik masrafı (€/yıl)	2500
Yıllık vergi ve sigorta (€/yıl)	150
Yıllık bakımlar (€/yıl)	150
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	0,7901
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	1,0129

Bir değere getirilmiş maliyet,

$$Z_{\text{egzost}} = \left[\frac{9200}{15 \cdot 4320} + \frac{2800}{4320} \right] \cdot 1,282 = 1,0129 \text{ €/h bulunur.}$$

Değerlerin (4.36) bağıntısında yazılmasıyla,

$$c_{\text{çevre}} = 1,8197 \cdot 10^{-4} \text{ €/kj olarak hesaplanır.}$$

Kayıp ekserji maliyeti, bağıntı (4.37) kullanılarak,

$$C_{\text{çevre}} = 6,3661 \text{ €/h bulunur.}$$

Ekserji kayıp oranları, bağıntı (3.57)'den aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$y_{KS} = \frac{44,8139}{54,8617} = 0,8169$$

$$y_{KANAL} = \frac{0,1253}{54,8617} = 0,0023$$

$$y_{MAHAL} = \frac{0,2048}{54,8617} = 0,0037$$

$$y_{EGZOST} = \frac{9,7177}{54,8617} = 0,1771$$

Çizelge 4.37 1. grup mahallerde soğutma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Ekserji Kaybı Miktarı	
	E_k (kW)	y (%)
KS	44,8139	81,69
1. Grup Mahal Kanalları	0,1253	0,23
1. Grup Mahaller	0,2048	0,37
Egzost	9,7177	17,71

Termoekonomik faktör değerleri, bağıntı (3.60) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

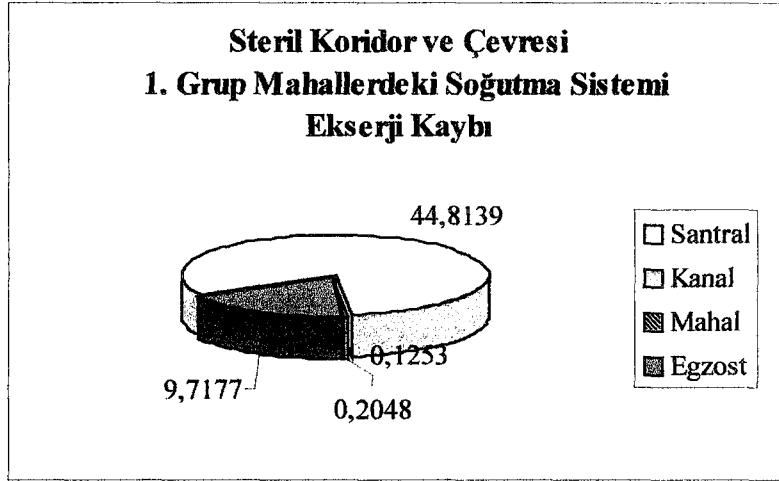
$$f_{KS} = \frac{14,7885}{(14,7885 + 9,5871)} = 0,6067$$

$$f_{KANAL} = \frac{0,4827}{(0,4827 + 0,0268)} = 0,9474$$

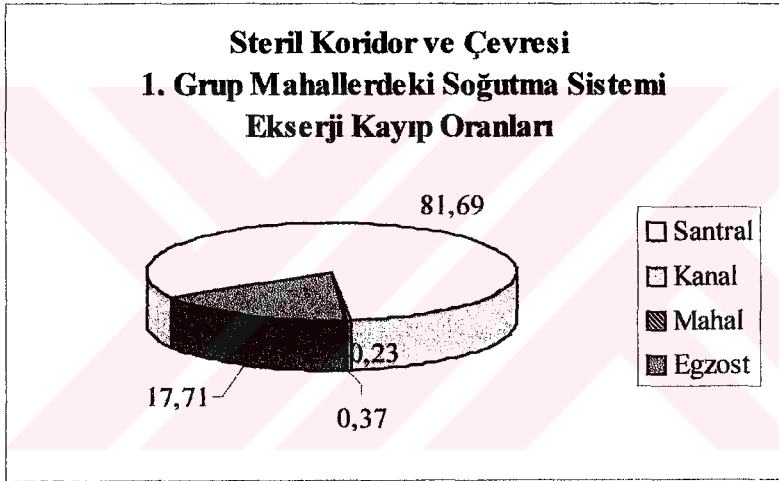
$$f_{EGZOST} = \frac{1,0129}{(1,0129 + 6,3661)} = 0,1373$$

Çizelge 4.38 1. grup mahallerde soğutma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Bir Değere Getirilmiş Maliyet	
	Z (€/h)	f (%)
KS	14,7885	60,67
1. Grup Mahal Kanalları	0,4827	94,74
Egzost	1,0129	13,73



Şekil 4.20 1. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi)



Şekil 4.21 1. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

4.2.2.2 İkinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi

2. gruptaki mahaller, çizelge 4.39'da gösterilmiştir..

Çizelge 4.39 2. grup mahaller (steril koridor ve çevresi)

Mahal No	Mahal Adı
2049	Kirli Oda
2073	Temizlik Odası
2075	Kirli Oda
2097	Koridor

Bu gruptaki kanallar için $T_o=306$ K, $T=287,5$ K yazılarak, kanal ekserji kaybı bağıntı (4.31)'den hesaplanır.

$E_{kanal}=-553,8087$ kJ/h bulunur.

Kanal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{KÇ} = 288 \text{ K} \quad P_{KÇ}^* = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_{KÇ} = 0,0078 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ} = 0,0125 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{KÇ} = (1,00724 + 0,0078 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{288}{306} - 1 - \ln \frac{288}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0125) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0125} + 0,0125 \ln \frac{0,0129}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0125) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$$e_{KÇ} = 0,5823 \text{ kJ/kg}$$

$E_{KÇ} = 0,5823 * 8567,9315 = 4989,1065$ kJ/h olarak bulunur.

Bu gruptaki mahallerin ekserji kaybı, bağıntı (4.32)'den hesaplanır. Burada $T_o=306$ K, $T=T_{mahal}=295$ K'dir. Mahallerin toplam ısı kazancı olan $Q_{mahal}=19774,8$ kJ/h'dir. Buradan,

$E_{mahal} = -783,6773$ kJ/h olarak hesaplanır.

Mahal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 306 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{mahal} = 298 \text{ K} \quad P_{mahal}^{**} = 101,3242 \text{ kPa}$$

* Kanallarda basınç kaybı ihmal edilmiştir.

** Mahal ortalama basıncı, temiz odalar ile çevre mahaller arasındaki basınç farklarına göre belirlenen her bir mahalın basıncı ile mahal hacimlerinin çarpılarak toplam hacme bölünmesiyle bulunmuştur.

$$w_{\text{mahal}} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{\text{mahal}\dot{q}} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{298}{306} - 1 - \ln \frac{298}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,3242}{101,325} \right]$$

$$e_{\text{mahal}\dot{q}} = 0,1178 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{\text{mahal}\dot{q}} = 0,1178 * 8567,9315 = 1009,3023 \text{ kJ/h olarak hesaplanır.}$$

Mahallere yollanan şartlandırılmış havanın maliyeti, (4.33) bağıntısından hesaplanır. Burada Z_{kanal} ; kanal, filtre, menfez, yangın ve volum damperleri ve termostat maliyetlerini kapsar. Kanal maliyeti 2200 €, filtre maliyeti 850 €/yıl, menfez maliyeti 100 €, damper maliyeti 1100 € ve termostat maliyeti 100 €'dir. Filtrelerin her sene değişmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.40 2.grup mahaller için sistem elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (Kanal, filtre, menfez vb.)
Yatırım maliyeti (€)	3500
Yıllık giderler (€/yıl)	850
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	0,2507
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	0,3215

Bir değere getirilmiş maliyet,

$$Z_{\text{kanal}} = \left[\frac{3500}{15 * 4320} + \frac{850}{4320} \right] * 1,282 = 0,3215 \text{ €/h olarak bulunur.}$$

Değerlerin bağıntı (4.33)'de yerine yazılmasıyla,

$$c_{K\dot{q}} = 0,0049 \text{ €/kJ olarak hesaplanır.}$$

Kanallardaki kayıp ekserji maliyeti * (4.34) bağıntısından,

$$C_{\text{kayıpkanal}}=0,0329 \text{ €/h bulunur.}$$

Mahallerdeki kayıp ekserji maliyeti, (4.35) bağıntısı kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{\text{kayıpmahal}}=0,0466 \text{ €/h}$$

Çevreye atılan havanın maliyeti bağıntı (4.36) kullanılarak hesaplanır. Buradaki Z_{egzost} değeri, emme kanalları ve menfez maliyetleri ile emiş yapan klima santralının maliyetinin mahal debilerine göre dağılımının toplamı kullanılarak bulunur.

2. grup mahaller için santral yatırım maliyeti 9150 €, bakım maliyeti 180 € yıllık elektrik harcaması 3050 €/yıl olarak hesaplanır. Emme kanallarının maliyeti 1500 €, menfez maliyeti 100 €, damper maliyeti ise 50 € olarak kabul edilmiştir. Bütün maliyetlere, işçilik ücretleri dahildir.

Çizelge 4.41 2. grup mahaller için egzost sistemi elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (Santral, kanal, menfez, damper)
Yatırım maliyeti (€)	10800
Yıllık elektrik masrafı (€/yıl)	6000
Yıllık vergi ve sigorta (€/yıl)	180
Yıllık bakımlar (€/yıl)	180
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	1,6388
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	2,1011

Bir değere getirilmiş maliyet,

$$Z_{\text{egzost}} = \left[\frac{10800}{15 \cdot 4320} + \frac{6360}{4320} \right] \cdot 1,282 = 2,1011 \text{ €/h bulunur.}$$

Değerler (4.36) bağıntısında yazılarak,

$$C_{\text{çevre}} = 2,0143 \cdot 10^{-4} \text{ €/kj olarak hesaplanır.}$$

Kayıp ekserji maliyeti, bağıntı (4.37)'den,

* Sisteme girişteki şartlandırılmış havanın birim ekserjetik maliyeti, bütün kayıplar için ($C_{\text{kayıpKS}}, C_{\text{kayıpK}}$ ve $C_{\text{kayıpmahal}}$) aynı değer alınmıştır. Bu değer c_{ort} değeridir.

$C_{\text{çevre}}=7,0468 \text{ €/h}$ bulunur.

Ekserji kayıp oranları, bağıntı (3.57)'den aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$y_{KS} = \frac{44,8139}{54,9031} = 0,8162$$

$$y_{KANAL} = \frac{0,1538}{54,9031} = 0,0028$$

$$y_{MAHAL} = \frac{0,2177}{54,9031} = 0,0040$$

$$y_{EGZOST} = \frac{9,7177}{54,9031} = 0,1770$$

Çizelge 4.42 2. grup mahallerde soğutma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Ekserji Kaybı Miktarı	Ekserji Kayıp Oranı
	E_k (kW)	y (%)
KS	44,8139	81,62
2. Grup Mahal Kanalları	0,1538	0,28
2. Grup Mahaller	0,2177	0,40
Egzost	9,7177	17,70

Termoekonomik faktör değerleri, bağıntı (3.60) kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

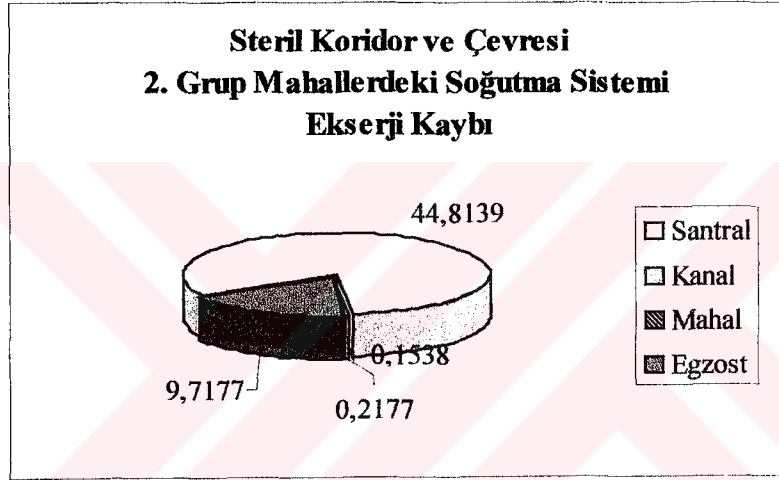
$$f_{KS} = \frac{14,7885}{(14,7885 + 9,5871)} = 0,6067$$

$$f_{KANAL} = \frac{0,3215}{(0,3215 + 0,0329)} = 0,9072$$

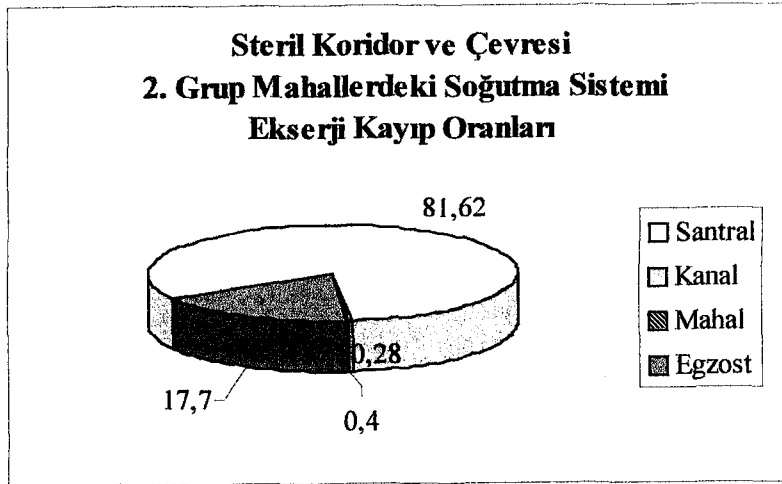
$$f_{EGZOST} = \frac{2,1011}{(2,1011 + 7,0468)} = 0,2297$$

Çizelge 4.43 2. grup mahallerde soğutma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Bir Değere Getirilmiş Maliyet	Termoekonomik Faktör
	Z (€/h)	f (%)
KS	14,7885	60,67
2. Grup Mahal Kanalları	0,3215	90,72
Egzost	2,1011	22,97



Şekil 4.22 2. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi)



Şekil 4.23 2. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

4.2.2.3 Üçüncü Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi

3. gruptaki mahaller;

Çizelge 4.44 3. grup mahaller (steril koridor ve çevresi)

Mahal No	Mahal Adı
2052	Sorumlu Hemşire Odası
2053	Doktorlar Odası
2054	Personel Dinlenme

Bu gruptaki kanallar için kanal ekserji kaybı bağıntı (4.31)'dan hesaplanır. Burada $T_o=306$ K, $T=287,5$ K'dir. Değerlerin bağıntıda yazılmasıyla,

$E_{kanal} = -83,0713$ kJ/h olarak hesaplanır.

Kanal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 306 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{KÇ} = 288 \text{ K}$$

$$P_{KÇ}^* = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_{KÇ} = 0,0078 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ} = 0,0125 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{KÇ} = (1,00724 + 0,0078 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{288}{306} - 1 - \ln \frac{288}{306} \right) +$$

$$0,287 * 306 \left[(1 + 0,0125) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0125} + 0,0125 \ln \frac{0,0129}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0125) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$$e_{KÇ} = 0,5823 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{KÇ} = 0,5823 * 1285,1897 = 748,3660 \text{ kJ/h bulunur.}$$

* Kanallarda basınç kaybı ihmal edilmiştir.

Bu gruptaki mahallerin ekserji kaybı, bağıntı (4.32) kullanılarak hesaplanır. Burada $T_o=306$ K, $T=T_{\text{mahal}}=295$ K'dir. Q_{mahal} bu gruptaki mahallerin toplam ısı kazancısıdır ve $Q_{\text{mahal}}=19774,8$ kJ/h'dir. Bu değerler kullanılarak,

$$E_{\text{mahal}} = -160,1451 \text{ kJ/h olarak hesaplanır.}$$

Mahal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$\begin{aligned} T_o &= 306 \text{ K} & P_o &= 101,325 \text{ kPa} \\ T_{\text{mahal}} &= 298 \text{ K} & P_{\text{mahal}}^* &= 101,3370 \text{ kPa} \\ w_{\text{mahal}} &= 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h & R_a &= 0,287 \text{ kJ/kgK} \\ \tilde{w}_{\text{mahal}} &= 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h & c_{pv} &= 1,8723 \text{ kJ/kgK} \\ \tilde{w}_{\text{mahal}}^o &= 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h & c_{pa} &= 1,00724 \text{ kJ/kgK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{mahal}\checkmark} &= (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 306 * \left(\frac{298}{306} - 1 - \ln \frac{298}{306} \right) + \\ &0,287 * 306 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] + \\ &\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 306 * \ln \frac{101,3370}{101,325} \right] \end{aligned}$$

$$e_{\text{mahal}\checkmark} = 0,1291 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{\text{mahal}\checkmark} = 0,1291 * 1285,1897 = 165,9180 \text{ kJ/h bulunur.}$$

Mahallere yollanan şartlandırılmış havanın maliyeti, (4.33) bağıntısından hesaplanır. Burada Z_{kanal} ; kanal, filtre, menfez, yangın ve volum damperleri ve termostat maliyetlerini kapsar.

Kanal maliyeti 1530 €, filtre maliyeti 300 €/yıl, menfez maliyeti 30 €, damper maliyeti 850 € ve termostat maliyeti 60 €'dir. Filtrelerin her sene değişmesi gerektiği için maliyeti yıllıktır.

* Mahal ortalama basıncı, temiz odalar ile çevre mahaller arasındaki basınç farklarına göre belirlenen her bir mahalın basıncı ile mahal hacimlerinin çarpılarak toplam hacme bölünmesiyle bulunmuştur.

Çizelge 4.45 3. grup mahaller için sistem elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (Kanal, filtre, menfez vb.)
Yatırım maliyeti (€)	2470
Yıllık giderler (€/yıl)	300
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	0,1076
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	0,1379

Bir değere getirilmiş maliyet,

$$Z_{kanal} = \left[\frac{2470}{15 \cdot 4320} + \frac{300}{4320} \right] \cdot 1,282 = 0,1379 \text{ €/h olarak hesaplanır.}$$

Değerlerin bağıntı (4.33)'de yerine yazılmasıyla,

$$c_{KÇ} = 0,0327 \text{ €/kj bulunur.}$$

Kanallardaki kayıp ekserji maliyeti * (4.34) bağıntısından, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{kayıpkanal} = 0,0049 \text{ €/h}$$

Mahallerdeki kayıp ekserji maliyeti, (4.35) bağıntısı kullanılarak,

$$C_{kayıpmahal} = 0,0095 \text{ €/h bulunur.}$$

Çevreye atılan havanın maliyeti bağıntı (4.36) kullanılarak hesaplanır. Buradaki Z_{egzost} değeri, emme kanalları ve menfez maliyetleri ile emiş yapan klima santralının maliyetinin mahal debilerine göre dağılımının toplamı kullanılarak bulunur.

3. grup mahaller için santral yatırım maliyeti 1350 €, bakım maliyeti 20 € yıllık elektrik harcaması 450 €/yıl olarak hesaplanır. Bu mahaller için emme kanallarının maliyeti 750 €, menfez maliyeti 30 €, damper maliyeti ise 30 € olarak kabul edilmiştir. Bütün maliyetlere, işçilik ücretleri dahil edilmiştir.

* Sisteme girişteki şartlandırılmış havanın birim ekserjetik maliyeti, bütün kayıplar için ($C_{kayıpKS}$, $C_{kayıpK}$ ve $C_{kayıpmahal}$) aynı değer alınmıştır. Bu değer c_{ort} değeridir.

Çizelge 4.46 3. grup mahaller için egzost sistemi elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)

Maliyetler	Soğutma sistemi elemanları (Santral, kanal, menfez, damper)
Yatırım maliyeti (€)	2160
Yıllık elektrik masrafı (€/yıl)	450
Yıllık vergi ve sigorta (€/yıl)	150
Yıllık bakımlar (€/yıl)	20
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	0,1768
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	0,2267

Bir değere getirilmiş maliyet, aşağıda hesaplanmıştır.

$$Z_{egzost} = \left[\frac{2160}{15 * 4320} + \frac{620}{4320} \right] * 1,282 = 0,2267 \text{ €/h}$$

Değerler (4.36) bağıntısında yazılarak,

$$c_{çevre} = 1,6183 * 10^{-4} \text{ €/kj bulunur.}$$

Kayıp ekserji maliyeti, bağıntı (4.37) kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$C_{çevre} = 5,6614 \text{ €/h}$$

Ekserji kayıp oranları, bağıntı (3.57)'den aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$y_{KS} = \frac{44,8139}{54,5992} = 0,8208$$

$$y_{KANAL} = \frac{0,0231}{54,5992} = 0,0004$$

$$y_{MAHAL} = \frac{0,0445}{54,5992} = 0,0008$$

$$y_{EGZOST} = \frac{9,7177}{54,5992} = 0,1780$$

Çizelge 4.47 3. grup mahallerde soğutma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Ekserji Kaybı Miktarı	Ekserji Kayıp Oranı
	E_k (kW)	y (%)
KS	44,8139	82,08
3. Grup Mahal Kanalları	0,0231	0,04
3. Grup Mahaller	0,0445	0,08
Egzost	9,7177	17,80

Termoekonomik faktör değerleri, bağıntı (3.60) kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

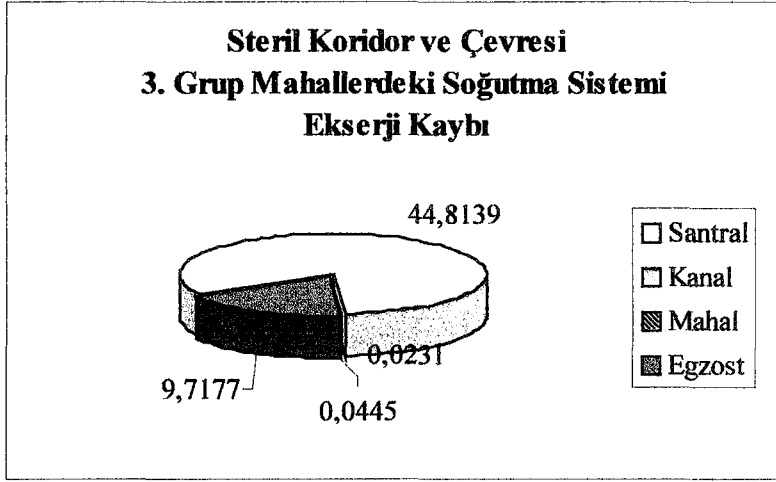
$$f_{KS} = \frac{14,7885}{(14,7885 + 9,5871)} = 0,6067$$

$$f_{KANAL} = \frac{0,1379}{(0,1379 + 0,0049)} = 0,9657$$

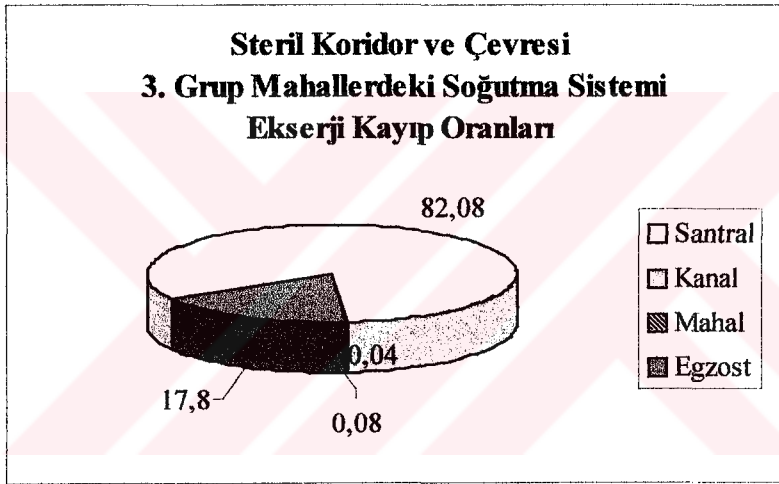
$$f_{EGZOST} = \frac{0,2267}{(0,2267 + 5,6614)} = 0,0385$$

Çizelge 4.48 3. grup mahallerde soğutma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Bir Değere Getirilmiş Maliyet	Termoekonomik Faktör
	Z (€/h)	f (%)
KS	14,7885	60,67
3. Grup Mahal Kanalları	0,1379	96,57
Egzost	0,2267	3,85



Şekil 4.24 3. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi)



Şekil 4.25 3. grup mahallerdeki soğutma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

4.2.3 Kış Sezonu İçin Ekserji Analizi

4.2.3.1 Temiz Hava Üfleme Santralinde Ekserji Analizi

Bütün mahaller şartlandırılan ortamlarla komşu olduğu için ısı kaybı alınmamıştır.

Dış hava şartları,

$$T_1 = -3 \text{ } ^\circ\text{C KT} \quad \phi = \%90$$

İç hava şartları,

$$T_2 = 22 \text{ } ^\circ\text{C KT} \quad \phi = \%50 \text{ olarak belirlenir.}$$

Santralde %100 dış hava kullanılmaktadır. $T_1 = T_3$ 'dir ve

$$T_3 = -3 \text{ °C KT} \quad T_3 = -3,5 \text{ °C YT} \quad h_3 = 3,3 \text{ kJ/kg} \quad \text{olarak yazılır.}$$

Isıtma serpantininden çıkan hava:

$$T_4 = 44 \text{ °C KT}, \quad 18,5 \text{ °C YT}, \quad h_4 = 52,8 \text{ kJ/kg} \quad \text{olarak okunur.}$$

Isıtıcı kapasitesi, bağıntı (4.3) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_I = 791010 \text{ kJ/h}$$

Cihaz çıkış havası,

$$T_5 = 31 \text{ °C KT}, \quad 18,5 \text{ °C YT}, \quad h_5 = 53,8 \text{ kJ/kg} \quad \text{olarak okunur.}$$

Nemlendirici kapasitesi (4.38) bağıntısından,

$$Q_N = 75,7350 \text{ kJ/h} \quad \text{bulunur.}$$

Kanallardan üflenen hava sıcaklığı,

$$T_5 - T_6 = 1 \text{ °C} \quad \text{kabul edilerek}$$

$$T_6 = 30 \text{ °C KT}, \quad 18,2 \text{ °C YT} \quad h_6 = 52 \text{ kJ/kg} \quad \text{olarak okunur.}$$

Toplam kütleli hava debisi, bağıntı (4.4) kullanılarak aşağıdaki hesaplanmıştır.

$$m = 16829,8654 \text{ kg/h}$$

Bağıntı (4.5) kullanılarak ısıtma suyu debisi,

$$m_{su} = 9965,0519 \text{ kg/h} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Çizelge 4.49 Sistemdeki noktaların fiziksel değerleri (steril koridor ve çevresi için kış sezonu)

Nokta	Sıcaklık T (°C)	Özgül nem w (kg _s /kg _n)	Entalpi h (kJ/kg)
1	-3	0,0037	3,3
2	22	0,0082	42
3	-3	0,0037	3,3
4	44	0,0037	52,8
5	31	0,0082	52,8
6	30	0,0082	52

Bu değerler Ek 10'daki psikometrik diyagramda gösterilmiştir.

Ekserji hesaplamalarında 1-12 noktaları için denklem (3.46), 13 ve 14 noktaları için denklem (3.44) kullanılmıştır.

1 Noktası :

Bu nokta dış havanın damperli emiş hücresine girdiği noktadır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_0 = 270 \text{ K} \quad P_0 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 270 \text{ K} \quad P_1 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_1 = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1 = 0,0059 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_1^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

Bu noktadaki ekserji,

$$e_1 = (1,00724 + 0,0037 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{270}{270} - 1 - \ln \frac{270}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0059) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0059} + 0,0959 \ln \frac{0,00594}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0059) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$e_1 = 0,04412 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

2 Noktası:

Bu noktada hava damperli atış hücresinden çıkarak EU3 filtreye girer. Bu nokta dış havanın özelliklerine sahiptir ve bu hücrede havanın fiziksel özelliklerinde değişim olmadığı için ekserjileri aynıdır.

$e_2 = e_1 = 0,04412 \text{ kJ/kg}$ olarak yazılır.

3 Noktası:

Bu noktada EU3 filtreden çıkan hava EU4 filtreye girer. EU3 filtredaki basınç kaybı 40 Pa'dır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_0 = 270 \text{ K} \quad P_0 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_3 = 270 \text{ K} \quad P_3 = 101,285 \text{ kPa}$$

$$w_3 = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3 = 0,0059 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_3 = (1,00724 + 0,0037 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{270}{270} - 1 - \ln \frac{270}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0059) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0059} + 0,09594 \ln \frac{0,0059}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0059) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,285}{101,325} \right]$$

$e_3 = 0,01334 \text{ kJ/kg}$ şeklinde hesaplanır.

4 Noktası:

Bu nokta EU4 filtreden çıkış, soğutma serpantinine giriş noktasıdır. EU4 torba filtrede basınç kaybı 150 Pa'dır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_0 = 270 \text{ K} \quad P_0 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_4 = 270 \text{ K} \quad P_4 = 101,135 \text{ kPa}$$

$$w_4 = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_4 = 0,0059 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_4^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_4 = (1,00724 + 0,0037 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{270}{270} - 1 - \ln \frac{270}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0059) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0059} + 0,0959 \ln \frac{0,0059}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0059) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,135}{101,325} \right]$$

$e_4 = -0,1022 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

5 Noktası:

Bu nokta soğutma serpantininden çıkış noktasıdır. Kış klimasında soğutma serpantini kullanılmadığı için bu noktasının ekserjisi 4 noktası ile aynıdır.

$e_5 = e_4 = -0,1022$ kJ/kg şeklinde yazılır.

6 Noktası:

Bu nokta ısıtma serpantininden çıkış noktasıdır. Santrale $KT = -3$ °C, $\phi = \%80$ 'de giren hava burada $t_4 = 44$ °C KT , $18,5$ °C YT 'ye kadar ısıtılır. Santralde kullanılan 2 sıralı ısıtıcı batarya için basınç kaybı 30 Pa'dır.

$$T_0 = 270 \text{ K} \quad P_0 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_6 = 317 \text{ K} \quad P_6 = 101,105 \text{ kPa}$$

$$w_6 = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6 = 0,0059 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_6 = (1,00724 + 0,0037 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{317}{270} - 1 - \ln \frac{317}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0059) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0059} + 0,0959 \ln \frac{0,0059}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0059) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,105}{101,325} \right]$$

$e_6 = 3,5971$ kJ/kg olarak bulunur.

7 Noktası:

Bu noktada hava sprej tipi nemlendiriciden çıkarak vantilatöre girer. Nemlendiricide basınç kaybı 110 Pa'dır.

$$T_0 = 270 \text{ K} \quad P_0 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_7 = 304 \text{ K} \quad P_7 = 100,995 \text{ kPa}$$

$$w_7 = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_7 = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_7 = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{304}{270} - 1 - \ln \frac{304}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{100,995}{101,325} \right]$$

$e_7 = 2,3263 \text{ kJ/kg}$ şeklinde hesaplanır.

8 Noktası:

Bu noktada hava vantilatörden çıkarak susturucuya girer. Vantilatörün; santraldeki bütün hücrelerin, mahallerdeki kanalların ve menfezlerin basınç kaybını yenmesi gerekmektedir.

Bölüm 4.2.1.1'de;

Kanallardaki basınç kaybı=343,2376 Pa,

Menfezlerdeki basınç kaybı=23,5360 Pa,

Menfezlerden önce konulan filtrelerden oluşan basınç kaybı=1500 Pa,

Mahal üfleme kanallarına monte edilen yangın damperinin basınç kaybı=16 Pa,

Üfleme kanallarındaki volum damperlerinde oluşan basınç kaybı=1200 Pa olarak belirlenmiştir.

Santral hücrelerinin basınç kaybı=650 Pa olmak üzere,

Toplam basınç kaybı=3,7328 Pa olarak hesaplanır.

$$T_0 = 270 \text{ K} \quad P_0 = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_8 = 304 \text{ K} \quad P_8 = 104,7278 \text{ kPa}$$

$$w_8 = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_8 = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_8^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_8 = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{304}{270} - 1 - \ln \frac{304}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{104,7278}{101,325} \right]$$

$e_8 = 5,1758$ kJ/kg şeklinde bulunur.

9 Noktası:

Susturucudan çıkan hava boş hücreye girer. Susturucudaki basınç kaybı 150 Pa'dır.

$$T_o = 270 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_9 = 304 \text{ K}$$

$$P_9 = 104,5778 \text{ kPa}$$

$$w_9 = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_9 = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_9^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_9 = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{304}{270} - 1 - \ln \frac{304}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{104,5778}{101,325} \right]$$

$e_9 = 5,0633$ kJ/kg olarak hesaplanır.

10 Noktası:

Boş hücreden çıkış, EU7 filtreye giriş noktasıdır. Bu noktanın ekserjisi 9 noktası ile aynıdır.

$e_{10} = 5,0633$ kJ/kg şeklinde yazılır.

11 Noktası:

EU7 filtreden çıkış noktasıdır. EU7 filtredeki basınç kaybı 150 Pa'dır. Bu noktada;

$$T_o = 270 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{11} = 304 \text{ K} \quad P_{11} = 104,4278 \text{ kPa}$$

$$w_{11} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{11} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{11}^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{11} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{304}{270} - 1 - \ln \frac{304}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{104,4278}{101,325} \right]$$

$e_{11} = 4,9506 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

12 Noktası:

Damperli atış hücresinden çıkış noktasıdır. Basınç kaybı 20 Pa'dır. Buradaki değerler;

$$T_o = 270 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{12} = 304 \text{ K} \quad P_{12} = 104,4078 \text{ kPa}$$

$$w_{12} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{12} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{12}^o = 0,0037 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{12} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{304}{270} - 1 - \ln \frac{304}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0037}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0037} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{104,4078}{101,325} \right]$$

$e_{12} = 4,9355 \text{ kJ/kg}$

13 Noktası:

Bu noktada 90 °C sıcaklığındaki su ısıtma serpantinine girer.

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 270 \text{ K} & T_{13} &= 363 \text{ K} \\
 h_0 &= 3,3 \text{ kJ/kg} & h_{13} &= 376,92 \text{ kJ/kg} \\
 s_0 &= 0,4775 \text{ kJ/kgK} & s_{13} &= 1,1925 \text{ kJ/kgK} \\
 & & P_{13} &= 70,14 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$e_{13} = (376,92 - 3,3) - 270(1,1925 - 0,4775)$$

$$e_{13} = 180,5700 \text{ kJ/kg}$$

olarak bulunur.

14 Noktası:

70 °C sıcaklığındaki su ısıtma serpantininden çıkar.

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 270 \text{ K} & T_{14} &= 343 \text{ K} \\
 h_0 &= 3,3 \text{ kJ/kg} & h_{14} &= 292,98 \text{ kJ/kg} \\
 s_0 &= 0,4775 \text{ kJ/kgK} & s_{14} &= 0,9549 \text{ kJ/kgK} \\
 & & P_{14} &= 31,19 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$e_{14} = (292,98 - 3,3) - 270(0,9549 - 0,4775)$$

$$e_{14} = 160,7820 \text{ kJ/kg}$$

olarak bulunur.

Fan gücü bağıntı (4.6) kullanılarak, aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$W1 = \text{Fan gücü} = \frac{3,8194 * 3732,7687 * 1,2}{0,70} = 24440,7474 \text{ W} = 87986,6908 \text{ kJ/h}$$

4.2.3.2 Kazanda Ekserji Analizi

Bölüm 4.1.3.2'deki kabuller buradaki hesaplamalarda da geçerlidir.

Doğalgazın mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{DG} = 16,122 \text{ kg/kmol}$$

Yakma havasının mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{HAVA} = 28,84 \text{ kg/kmol}$$

Hava-doğalgaz karışımının mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{DG+HAVA} = 27,82 \text{ kg/kmol}$$

Baca gazının mol ağırlığı,

$$\bar{M}_{BG} = 27,82 \text{ kg/kmol} \text{ olarak Bölüm 4.1.1.3'de hesaplanmıştır.}$$

(4.14) bağıntısıyla kazanda kinetik ve potansiyel enerji değişimi olmadığı kabul edilmiştir.

Sürekli akışlı açık sistemi için ısı transferi,

$Q = -860717 \text{ kJ/kmol}$ yakıt olarak Bölüm 4.1.3.2'de hesaplanır. Doğalgazın birim kütlesi için ısı transfer değeri,

$$\frac{860717}{15,98} = 53862,1557 \text{ kJ/kg DG} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Kazana kW ısı üretmek için gereken doğalgaz debisi, aşağıda hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_{DG} = \frac{791010}{53862,1557} = 14,6858 \text{ kg/h}$$

Hava yakıt oranı, Bölüm 4.1.1.3'de,

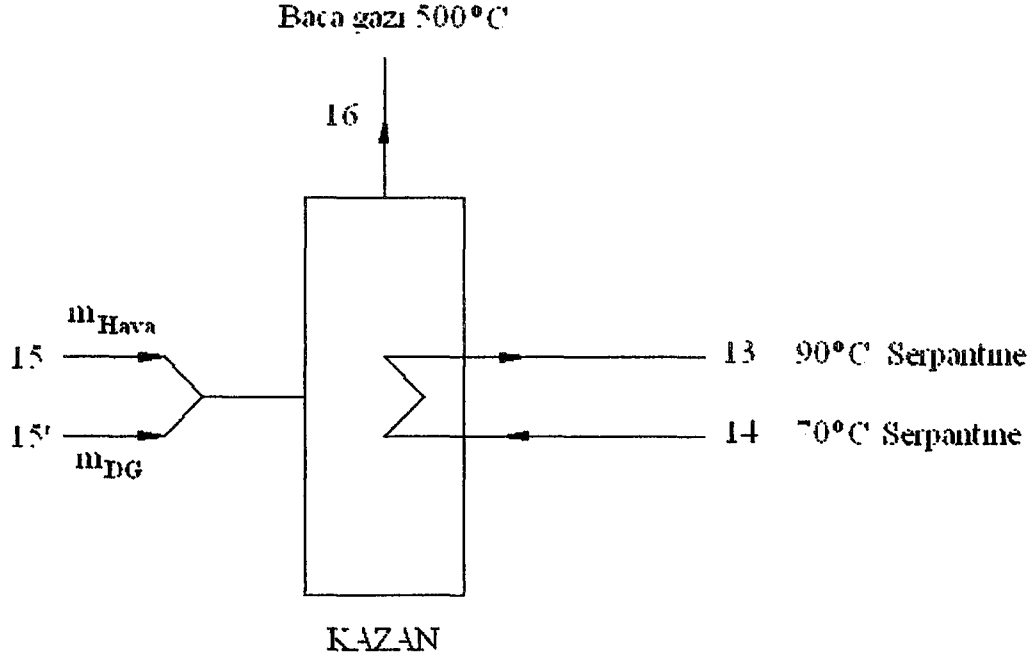
$$HY = 20,57 \frac{\text{kg hava}}{\text{kg DG}} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Bağıntı (4.16) kullanılarak, havanın kütleli debisi,

$$\dot{m}_{hava} = 302,0869 \text{ kg/h} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Kazan giren toplam kütleli debi (4.17) bağıntısı kullanılarak, aşağıda hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_k = 316,7727 \text{ kg/h}$$



Şekil 4.26 Kazan sisteminin şematik gösterimi (steril koridor ve çevresi için kış sezonu)

Yakıtın ve havanın girişindeki fiziksel ekserjiler ihmal edilmiştir.

Formasyon Gibbs fonksiyonu bağıntı (3.53) kullanılarak,

$$\bar{g}_{DG} = -50215,4690 \text{ kJ/kmol}$$

yakıtın ekserjisi, (3.52) bağıntısında

$$e_{DG}^{-CH} = 801116,6310 \text{ kJ/kmol olarak hesaplanmıştır.}$$

Birim ekserji,

$$e_{15} = \frac{801116,6310}{16,122} = 49690,8961 \text{ kJ/kg olarak hesaplanır.}$$

Karışımın birim molünün kimyasal ekserjisi, bağıntı (3.51) kullanılarak hesaplanır. Bu bağıntıdaki x_K değerleri; $x_{CO_2} = 0,0807$, $x_{H_2O} = 0,1605$, $x_{N_2} = 0,7265$ ve $x_{O_2} = 0,0323$ olarak bölüm 4.1.1.3'de hesaplanmıştır.

Değerler yerine yerleştirildiğinde, karışımın birim molünün kimyasal ekserjisi;

$$\bar{e}_p^{CH} = -8,314 * 270 \left[0,0807 * \ln \frac{0,0003}{0,0807} + 0,1605 \frac{0,019}{0,1605} + 0,7265 \frac{0,7748}{0,7265} + 0,0323 \frac{0,2059}{0,0323} \right]$$

$\bar{e}_p^{CH} = 1543,0273$ kJ/kmol olarak bulunur.

Baca gazının kimyasal ekserjisi ürünün kimyasal ekserjisine eşittir.

$$\bar{e}_{16}^{CH} = 1543,0273 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazının fiziksel ekserjinin bulunmasında (3.48) bağıntısı kullanılır. Baca gazının sabit basınçtaki özgül ısısı, $C_{p_{BG}} = 30,4693$ kJ/kmol K olarak Bölüm 4.1.1.3'de hesaplanmıştır.

$T_{BG} = 500^\circ\text{K}$ ve $P_{BG} = 101,325$ atm olmak üzere üzere baca gazı için fiziksel ekserji;

$$\bar{e}_{BG}^{PH} = 30,4693 * 270 * \left(\frac{500}{270} - 1 - \ln \frac{500}{270} \right) + 0$$

$\bar{e}_{BG}^{PH} = 1938,7537$ kJ/kmol olarak hesaplanır.

Baca gazı için toplam ekserji (4.21) bağıntısından,

$$\bar{e}_{BG} = \bar{e}_{16} = 3481,7810 \text{ kJ/kmol olarak hesaplanır.}$$

Baca gazının birim kütle için ekserjisi;

$$e_{16} = \frac{3481,7810}{27,82} = 125,1539 \text{ kJ/kg bulunur.}$$

Çizelge 4.50 Steril koridor ve çevresinde kış sezonu için tanımlanan noktalardaki fiziksel değerler

Nokta	Madde	T(K)	P (kPa)	h(kj/kg)	m (kg/h)	e (kj/kg)	E (kj/h)
1	Hava	270	101,325	3,3	16829,8654	0,04412	742,5337
2	Hava	270	101,325	3,3	16829,8654	0,04412	742,5337
3	Hava	270	101,285	3,3	16829,8654	0,01334	224,5104
4	Hava	270	101,135	3,3	16829,8654	-0,1022	-1720,01
5	Hava	270	101,135	3,3	16829,8654	-0,1022	-1720,01
6	Hava	317	101,105	52,8	16829,8654	3,5971	60538,71
7	Hava	304	100,995	52,8	16829,8654	2,3263	39151,32
8	Hava	304	104,727	52,8	16829,8654	5,1758	87108,0173
9	Hava	304	104,577	52,8	16829,8654	5,0633	85214,6575
10	Hava	304	104,577	52,8	16829,8654	5,0633	85214,6575
11	Hava	304	104,427	52,8	16829,8654	4,9506	83317,9316
12	Hava	304	104,407	52,8	16829,8654	4,9355	83063,8007
13	Su	363	70,14	376,92	9965,0519	180,5700	1799389,421
14	Su	343	31,19	292,98	9965,0519	160,7820	1602200,974
W1	Fan gücü						87986,6908
15	Doğalgaz	270	101,325	-	14,6858	49690,8961	729750,5619
15'	Hava	270	101,325	-	302,0869	0	0
16	Bacagazı	500	101,325	-	316,7727	125,1539	39645,3331

4.2.3.3 Egzost Santrali İçin Ekserji Kayıpları

Santral hücrelerinin özgül ekserjileri, (3.46) bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

1' Noktası:

Mahalden emilen hava damperli emiş hücrelerine girer. Havanın santrale giriş sıcaklığı 22 °C kabul edilmiştir. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o' = 295 \text{ K} \quad P_o' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_1' = 295 \text{ K} \quad P_1' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$w_1' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kj/kgK}$$

$$\tilde{w}_1' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kj/kgK}$$

$$\tilde{w}_1^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_1' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{101,3277}{101,3277} \right]$$

$e_1' = 0,1077 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplanır.

2' Noktası:

Bu noktada, damperli emiş hücresinden çıkan hava susturucuya girer. Damperli emiş hücresindeki basınç kaybı 20 Pa'dır.

$$T_o' = 295 \text{ K} \quad P_o' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_2' = 295 \text{ K} \quad P_1' = 101,3077 \text{ kPa}$$

$$w_2' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_2' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_2^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_2' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{101,3077}{101,3277} \right]$$

$e_2' = 0,0907 \text{ kJ/kg}$ şeklinde hesaplanır.

3' Noktası:

Susturucudan çıkan hava boş hücreye girer. Susturucudaki basınç kaybı 150 Pa'dır. Bu noktadaki fiziksel özellikler;

$$T_o' = 295 \text{ K} \quad P_o' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_3' = 295 \text{ K} \quad P_3' = 101,1577 \text{ kPa}$$

$$w_3' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_3^o = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_3' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{101,1577}{101,3277} \right]$$

$e_3' = -0,0364 \text{ kJ/kg}$ şeklinde bulunur.

4' Noktası:

Bu noktada hava boş hücreden çıkan hava EU3 filtreye girer. Bu noktanın ekserjisi 3 noktası ile aynıdır.

$e_4' = -0,0364 \text{ kJ/kg}$ olarak yazılır.

5' Noktası:

EU3 filtreden çıkan hava aspiratöre girer. EU3 filtredeki basınç kaybı 40 Pa'dır.

$$T_0' = 295 \text{ K} \quad P_0' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_5' = 295 \text{ K} \quad P_5' = 101,1177 \text{ kPa}$$

$$w_5' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_5^o = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_s' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{101,1177}{101,3277} \right]$$

$e_s' = -0,0703$ kJ/kg olarak hesaplanır.

6' Noktası:

Bu noktada hava, aspiratörden çıkar. Bölüm 4.2.1.4'de, toplam basınç kaybı=2,2242 kPa olarak hesaplanmıştır.

$$T_o' = 295 \text{ K} \quad P_o' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_6' = 295 \text{ K} \quad P_6' = 103,3419 \text{ kPa}$$

$$w_6' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_6^o' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_6' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{103,3419}{101,3277} \right]$$

$e_6' = 1,7961$ kJ/kg şeklinde hesaplanır.

7' Noktası:

Hava damperli atış hücresinden dışarı atılır. Bu noktada basınç kaybı 20 Pa'dır.

$$T_o' = 295 \text{ K} \quad P_o' = 101,3277 \text{ kPa}$$

$$T_7' = 295 \text{ K} \quad P_7' = 103,3219 \text{ kPa}$$

$$w_7' = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_7' = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_7^{o'} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_7' = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 295 * \left(\frac{295}{295} - 1 - \ln \frac{295}{295} \right) +$$

$$0,287 * 295 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,0082}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,0082} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 295 * \ln \frac{103,3219}{101,3277} \right]$$

$e_7' = 1,7795 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

Fan gücü bağıntı (4.6) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$W1' = \frac{4,4166 * 2224,2273 * 1,2}{0,70} = 16840,5781 \text{ W} = 60626,0813 \text{ kJ/h}$$

Çizelge 4.51 Steril koridor ve çevresinde kış sezonu için egzost santralindeki fiziksel değerler

Nokta	Madde	T (K)	P (kPa)	h (kJ/kg)	m (kg/h)	e (kJ/kg)	E (kJ/h)
1'	Hava	295	101,3277	42	19461,4443	0,1077	2095,9975
2'	Hava	295	101,3077	42	19461,4443	0,0907	1765,1529
3'	Hava	295	101,1577	42	19461,4443	-0,0364	-708,3965
4'	Hava	295	101,1577	42	19461,4443	-0,0364	-708,3965
5'	Hava	295	101,1177	42	19461,4443	-0,0703	-1368,1395
6'	Hava	295	103,3419	42	19461,4443	1,7961	34954,7001
7'	Hava	295	103,3219	42	19461,4443	1,7795	34631,6401
W1'	Fan gücü						60626,0813

4.2.4 Isıtma Sistemi Elemanları İçin Maliyet Analizi

Isıtma sistemi yılda 4320 saat çalışmaktadır. Sistem elemanlarının ömrü 15 yıl kabul edilmiştir. Kış klimastizasyonunda klima santrali ve kazan devrededir ve bu bileşenlerin maliyeti hesaplanacaktır. Kazan yalnızca klima santralini beslemektedir. Mahallerin sıcak su ve buhar ihtiyacı ayrı bir kazanla sağlanmaktadır.

Sistemdeki klima santrali 33000 €, kazan 1200 €, otomatik kontrol ünitesi 3800 €, ısıtma sistemi için borular, pompalar ve diğer bileşenler 20000 €, personel giderleri yıllık 12000 €,

sigorta ve vergiler yıllık 1250 €, yıllık bakımlar 1300 €'dur. Maliyetlere işçilik ücretleri dahildir. Isıtma sistemi yılda 4320 saat çalışmaktadır.

Doğalgazın alış fiyatı 0,18 €/m³, elektriğin alış fiyatı 0,07 €/kWh, şebekeden çekilen suyun alış fiyatı 0,78 €/m³'tür.

Çizelge 4.52 Isıtma sistemi elemanlarının maliyeti (steril koridor ve çevresi)

Maliyetler	Isıtma sistemi elemanları (KS, chiller, kazan)
Yatırım maliyeti (€)	58000
Yıllık elektrik ve doğalgaz masrafı (€/yıl)	24400
Yıllık vergi, sigorta ve personel masrafı (€/yıl)	13250
Yıllık bakımlar (€/yıl)	1300
Sistemin saatlik masrafı (€/h)	9,9113
Bir değere getirilmiş saatlik masraf (€/h)	12,7062

Bir değere getirilmiş maliyet,

$$Z_{KS} = \left[\frac{58000}{15 * 4320} + \frac{38950}{4320} \right] * 1,282 = 12,7062 \text{ €/h bulunur.}$$

Santralden çıkan havanın maliyeti, bağıntı (4.39) kullanılarak hesaplanır. Burada, c_1 santrale giren havanın maliyetidir ve 0'dır.

c_{13} ve c_{14} şebekeden çekilen suyun birim m³'ünün, kj olarak ısıtma maliyetidir ve (4.27) bağıntısından aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$c_{13}=c_{14}=\frac{0,78 * 3,0882}{791010}=3,1444 * 10^{-5} \text{ €/kj}$$

Elektriğin maliyeti, $c_{fan}=1,9444 * 10^{-5} \text{ €/kj}$ 'dir.

Değerler bağıntı (4.39)'da yazılarak şartlandırılmış havanın santralden çıkarken maliyeti,

$$c_{12}=2,4404 * 10^{-4} \text{ €/kj olarak hesaplanır.}$$

Kaybolan ve tahrip olan ekserji (4.40) bağıntısı kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\sum (E_L + E_D) = 195175,1378 \text{ kj/h}$$

Kayıp ekserji maliyeti bağıntı (4.29)'den hesaplanır. c_{ort} değeri için bağıntı (4.41) kullanılarak,

$c_{ort}=2,7592*10^{-5}$ €/kj olarak hesaplanır.

Değerler, (4.29) bağıntısı kullanılarak,

$C_{kayıpKS}=7,5649$ €/h bulunur.

4.2.4.1 Birinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi

1. gruptaki kanallar için bağıntı (4.31) kullanılarak, kanal ekserjisi hesaplanır. Burada $T_o=270$ K, T kanala giriş ve kanaldan çıkıştaki havanın sıcaklık ortalaması olup $T=303,5$ K şeklinde hesaplanmıştır. Değerler yerine yerleştirilerek,

$E_{kanal}=773,5508$ kj/h bulunur.

Kanal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 270 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{KÇ} = 303 \text{ K} \quad P_{KÇ}^* = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_{KÇ} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kj/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kj/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kj/kgK}$$

$$e_{KÇ} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{303}{270} - 1 - \ln \frac{303}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0129 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$$e_{KÇ}=1,9168 \text{ kj/kg}$$

$$E_{KÇ}= 1,9168*6976,7442=13373,0233 \text{ kj/h bulunur.}$$

Bu gruptaki mahallerde ısı kaybı olmadığı için mahal ekserji kaybı da bulunmamaktadır.

Mahal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

* Kanallarda basınç kaybı ihmal edilmiştir.

$$\begin{aligned}
T_o &= 270 \text{ K} & P_o &= 101,325 \text{ kPa} \\
T_{\text{mahal}} &= 295 \text{ K} & P_{\text{mahal}}^* &= 101,3328 \text{ kPa} \\
w_{\text{mahal}} &= 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h & R_a &= 0,287 \text{ kJ/kgK} \\
\tilde{w}_{\text{mahal}} &= 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h & c_{pv} &= 1,8723 \text{ kJ/kgK} \\
\tilde{w}_{\text{mahal}}^o &= 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h & c_{pa} &= 1,00724 \text{ kJ/kgK}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
e_{\text{mahal}\dot{c}} &= (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{295}{270} - 1 - \ln \frac{295}{270} \right) + \\
&0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] + \\
&\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,3328}{101,325} \right]
\end{aligned}$$

$$e_{\text{mahal}\dot{c}} = 1,1298 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{\text{mahal}\dot{c}} = 1,1298 * 6976,7442 = 7882,3256 \text{ kJ/h olarak hesaplanır.}$$

Mahallere yollanan şartlandırılmış havanın maliyeti, (4.33) bağıntısından hesaplanır. Burada Z_{kanal} ; kanal, filtre, menfez, yangın ve volum damperleri ve termostat maliyetlerini kapsamaktadır. $Z_{\text{kanal}} = 0,4827 \text{ €/h}$ olarak Bölüm 4.2.2.1'de hesaplanmıştır.

Değerleri denge denkleminde yazarak,

$$c_{K\dot{C}} = 0,00155 \text{ €/kj bulunur.}$$

Kanallardaki kayıp ekserji maliyeti**, (4.34) bağıntısından

$$C_{\text{kayıpkanal}} = 0,0213 \text{ €/h olarak hesaplanır.}$$

Mahallerde ekserji kaybı olmadığı için,

* Mahal ortalama basıncı, temiz odalar ile çevre mahaller arasındaki basınç farklarına göre belirlenen her bir mahalın basıncı ile mahal hacimlerinin çarpılarak toplam hacme bölünmesiyle bulunmuştur.

** Sisteme girişteki şartlandırılmış havanın birim ekserjetik maliyeti, bütün kayıplar için ($C_{\text{kayıpKS}}, C_{\text{kayıpK}}$ ve $C_{\text{kayıpmahal}}$) aynı değer alınmıştır. Bu değer c_{ort} değeridir.

$C_{\text{kayıpmahal}}=0$ olur.

Çevreye atılan havanın maliyeti, bağıntı (4.36) kullanılarak hesaplanır. Buradaki Z_{egzost} değeri, 1,0129 €/h olarak Bölüm 4.2.2.1’de hesaplanmıştır.

Değerleri denklemde yerine yazarsak,

$c_{\text{çevre}}=3,8203*10^{-4}$ €/kj bulunur.

Kayıp ekserji maliyeti (4.37) bağıntısından, aşağıda hesaplanmıştır.

$C_{\text{çevre}}=13,2305$ €/h

Ekserji kayıp oranları, bağıntı (3.57)’den hesaplanır.

$$y_{\text{KS}}=\frac{54,2153}{64,0501}=0,8464$$

$$y_{\text{KANAL}}=\frac{0,21491}{64,0501}=0,0034$$

$$y_{\text{MAHAL}}=0$$

$$y_{\text{EGZOST}}=\frac{9,6199}{64,0501}=0,1502$$

Çizelge 4.53 1. grup mahallerde ısıtma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Ekserji Kaybı Miktarı E_k (kW)	Ekserji Kayıp Oranı y (%)
KS	54,2153	84,64
1. Grup Mahal Kanalları	0,2149	0,34
1. Grup Mahaller	0	0
Egzost	9,6199	15,02

Termoekonomik faktör, bağıntı (3.60) kullanılarak hesaplanır.

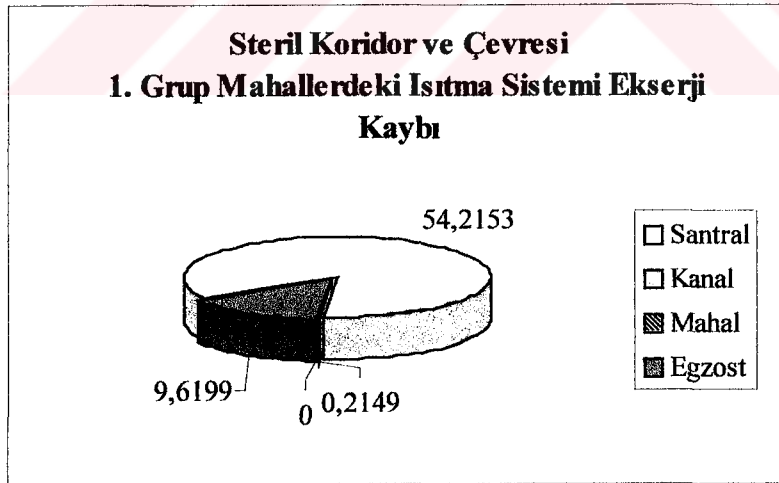
$$f_{KS} = \frac{12,7062}{(12,7062 + 7,5649)} = 0,6268$$

$$f_{KANAL} = \frac{0,4827}{(0,4827 + 0,0213)} = 0,9577$$

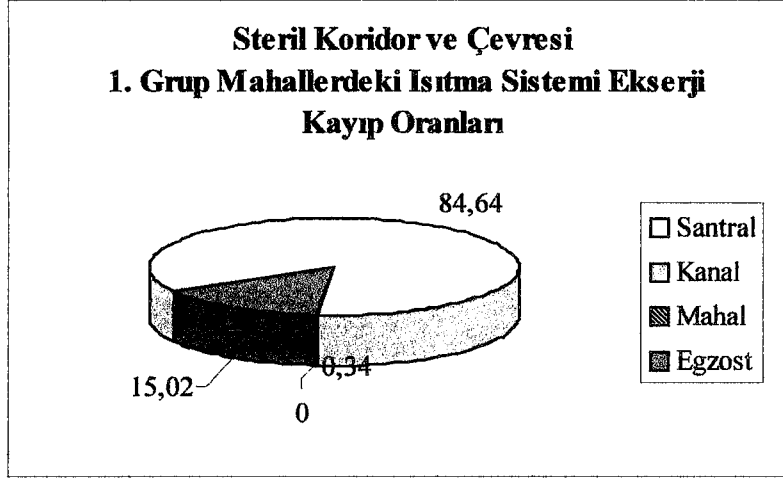
$$f_{EGZOST} = \frac{1,0129}{(1,0129 + 13,2305)} = 0,0711$$

Çizelge 4.54 1. grup mahallerde ısıtma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Bir Değere Getirilmiş Maliyet	Termoekonomik Faktör
	Z (€/h)	f (%)
KS	12,7062	62,68
1. Grup Mahal Kanalları	0,4827	95,77
Egzost	1,0129	7,11



Şekil 4.27 1. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi)



Şekil 4.28 1. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

4.2.4.2 İkinci Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi

2. gruptaki kanallar için kanal ekserji kaybı, bağıntı (4.30)'da $T_o=270$ K, $T=303,5$ K yazılarak,

$E_{kanal}=949,9747$ kJ/h bulunur.

Kanal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 270 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{KÇ} = 303 \text{ K}$$

$$P_{KÇ}^* = 101,325 \text{ kPa}$$

$$\tilde{w}_{KÇ} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{KÇ} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{303}{270} - 1 - \ln \frac{303}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0129 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

* Kanallarda basınç kaybı ihmal edilmiştir.

$$e_{KÇ}=1,9168 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{KÇ}= 1, 9168*8567,9315=16423,0110 \text{ kJ/h olarak hesaplanır.}$$

Bu gruptaki mahallerde ısı kaybı olmadığı için mahal ekserji kaybı da bulunmamaktadır.

Mahal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 270 \text{ K} \quad P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{\text{mahal}}=295 \text{ K} \quad P_{\text{mahal}}^* = 101,3242 \text{ kPa}$$

$$w_{\text{mahal}}= 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}}=0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{\text{mahal}}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h \quad c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{\text{mahalç}} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{295}{270} - 1 - \ln \frac{295}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,343}{101,325} \right]$$

$$e_{\text{mahalç}}=1,1232 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{\text{mahalç}}=1,1232*8567,9315=9623,5006 \text{ kJ/h bulunur.}$$

Mahallere yollanan şartlandırılmış havanın maliyeti, (4.33) bağıntısından hesaplanır. Burada Z_{kanal} ; kanal, filtre, menfez, yangın ve volüm damperleri ve termostat maliyetlerini kapsamaktadır. $Z_{\text{kanal}}=0,3215 \text{ €/h}$ olarak Bölüm 4.2.2.2'de hesaplanmıştır.

Değerleri bu bağıntıda yerine yerleştirirsek,

$$c_{KÇ}=0,00125 \text{ €/kj olarak hesaplanır.}$$

Kanallardaki kayıp ekserji maliyeti**, (4.34) bağıntısından aşağıda hesaplanmıştır.

* Mahal ortalama basıncı, temiz odalar ile çevre mahaller arasındaki basınç farklarına göre belirlenen her bir mahalın basıncı ile mahal hacimlerinin çarpılarak toplam hacme bölünmesiyle bulunmuştur.

** Sisteme girişteki şartlandırılmış havanın birim ekserjetik maliyeti, bütün kayıplar için ($C_{\text{kayıpKS}}, C_{\text{kayıpK}}$ ve $C_{\text{kayıpmahal}}$) aynı değer alınmıştır. Bu değer c_{ort} değeridir.

$$C_{\text{kayıpkanal}}=0,0262 \text{ €/h}$$

Mahallerde ekserji kaybı olmadığı için,

$$C_{\text{kayıpmahal}}=0 \text{ olur.}$$

Çevreye atılan havanın maliyeti, bağıntı (4.36) kullanılarak hesaplanır. Z_{egzost} değeri, 2,1011 €/h olarak Bölüm 4.2.2.2’de hesaplanmıştır.

Değerleri denge denkleminde yerine yerleştirerek,

$$c_{\text{çevre}}=4,0802*10^{-4} \text{ €/kj olarak hesaplanır.}$$

Kayıp ekserji maliyeti (4.37) bağıntısından,

$$C_{\text{çevre}}=14,1305 \text{ €/h bulunur.}$$

Ekserji kayıp oranları, bağıntı (3.57)’den hesaplanır.

$$y_{KS}=\frac{54,2153}{64,0991}=0,8458$$

$$y_{KANAL}=\frac{0,2639}{64,0991}=0,0041$$

$$y_{MAHAL}=0$$

$$y_{EGZOST}=\frac{9,6199}{64,0991}=0,1501$$

Çizelge 4.55 2. grup mahallerde ısıtma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Ekserji Kaybı Miktarı	Ekserji Kayıp Oranı
	E_k (kW)	y (%)
KS	54,2153	84,58
2. Grup Mahal Kanalları	0,2639	0,41
2. Grup Mahaller	0	0
Egzost	9,6199	15,01

Termoekonomik faktör, bağıntı (3.60) kullanılarak hesaplanır.

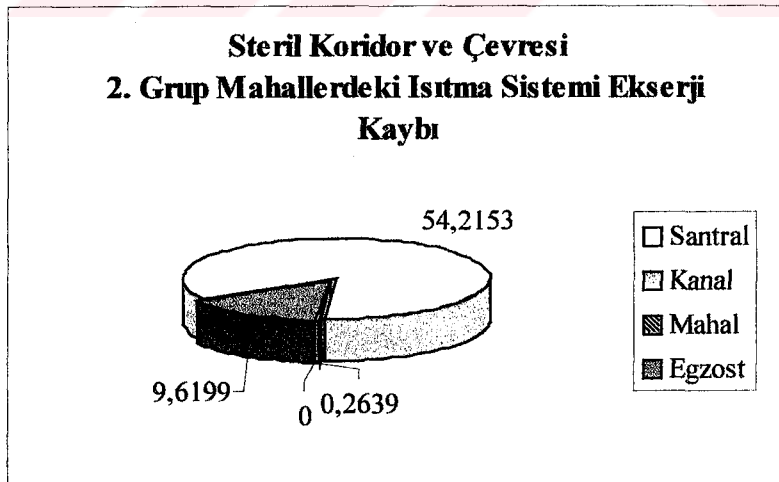
$$f_{KS} = \frac{12,7062}{(12,7062 + 7,5649)} = 0,6268$$

$$f_{KANAL} = \frac{0,3215}{(0,3215 + 0,0262)} = 0,9246$$

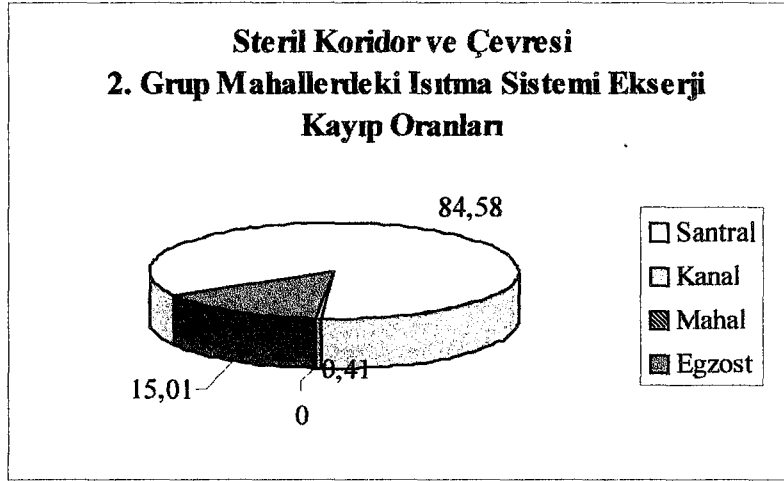
$$f_{EGZOST} = \frac{2,1011}{(2,1011 + 14,1305)} = 0,1294$$

Çizelge 4.56 2. grup mahallerde ısıtma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoekonomik faktör (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Bir Değere Getirilmiş Maliyet Z (€/h)	Termoekonomik Faktör f (%)
KS	12,7062	62,68
2. Grup Mahal Kanalları	0,3215	92,46
Egzost	2,1011	12,94



Şekil 4.29 2. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi)



Şekil 4.30 2. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

4.2.4.3 Üçüncü Grup Mahaller İçin Maliyet Analizi

3. gruptaki kanallar için kanal ekserji kaybı, bağıntı (4.30)'da $T_o=270$ K, $T=303,5$ K yazılarak,

$E_{kanal}=142,4962$ kJ/h olarak hesaplanır.

Kanal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$T_o = 270 \text{ K}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$T_{KÇ} = 303 \text{ K}$$

$$P_{KÇ}^* = 101,325 \text{ kPa}$$

$$w_{KÇ} = 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$R_a = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ} = 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pv} = 1,8723 \text{ kJ/kgK}$$

$$\tilde{w}_{KÇ}^o = 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h$$

$$c_{pa} = 1,00724 \text{ kJ/kgK}$$

$$e_{KÇ} = (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{303}{270} - 1 - \ln \frac{303}{270} \right) +$$

$$0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0129 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] +$$

$$\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,325}{101,325} \right]$$

$$e_{KÇ} = 1,9168 \text{ kJ/kg}$$

* Kanallarda basınç kaybı ihmal edilmiştir.

$E_{KC}=1,9168*1285,1897=2463,4516$ kJ/h olarak hesaplanır.

Bu gruptaki mahallerde ısı kaybı olmadığı için mahal ekserji kaybı da bulunmamaktadır.

Mahal çıkışındaki ekserji kaybı, bağıntı (3.46)'dan hesaplanır.

$$\begin{aligned} T_o &= 270 \text{ K} & P_o &= 101,325 \text{ kPa} \\ T_{\text{mahal}} &= 295 \text{ K} & P_{\text{mahal}}^* &= 101,3370 \text{ kPa} \\ W_{\text{mahal}} &= 0,0082 \text{ kg}_s/\text{kg}_h & R_a &= 0,287 \text{ kJ/kgK} \\ \tilde{w}_{\text{mahal}} &= 0,0132 \text{ kg}_s/\text{kg}_h & c_{pv} &= 1,8723 \text{ kJ/kgK} \\ \tilde{w}_{\text{mahal}}^o &= 0,015 \text{ kg}_s/\text{kg}_h & c_{pa} &= 1,00724 \text{ kJ/kgK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{mahal}\checkmark} &= (1,00724 + 0,0082 * 1,8723) * 270 * \left(\frac{295}{270} - 1 - \ln \frac{295}{270} \right) + \\ &0,287 * 270 \left[(1 + 0,0132) \ln \frac{1 + 0,015}{1 + 0,0132} + 0,0132 \ln \frac{0,0132}{0,015} \right] + \\ &\left[(1 + 0,0132) * 0,287 * 270 * \ln \frac{101,3370}{101,325} \right] \end{aligned}$$

$$e_{\text{mahal}\checkmark} = 1,1331 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{\text{mahal}\checkmark} = 1,1331 * 1285,1897 = 1456,2485 \text{ kJ/h bulunur.}$$

Mahallere yollanan şartlandırılmış havanın maliyeti, (4.33) bağıntısından hesaplanır. Burada; kanal, filtre, menfez, yangın ve volum damperleri ve termostat maliyetlerini kapsamaktadır. $Z_{\text{kanal}}=0,1379$ €/h olarak Bölüm 4.2.2.3'de hesaplanmıştır. Değerleri denklemde yerleştirerek,

$$c_{KC}=0,00828 \text{ €/kj bulunur.}$$

Kanallardaki kayıp ekserji maliyeti **, (4.34) bağıntısından aşağıda hesaplanmıştır.

$$C_{\text{kayıpkanal}}=0,0039 \text{ €/h}$$

Mahallerde ekserji kaybı olmadığı için, $C_{\text{kayıpmahal}}=0$ olur.

* Mahal ortalama basıncı, temiz odalar ile çevre mahaller arasındaki basınç farklarına göre belirlenen her bir mahalın basıncı ile mahal hacimlerinin çarpılarak toplam hacme bölünmesiyle bulunmuştur.

** Sisteme girişteki şartlandırılmış havanın birim ekserjetik maliyeti, bütün kayıplar için ($C_{\text{kayıpKS}}, C_{\text{kayıpK}}$ ve $C_{\text{kayıpmahal}}$) aynı değer alınmıştır. Bu değer c_{on} değeridir.

Çevreye atılan havanın maliyeti, bağıntı (4.36) kullanılarak hesaplanır. Buradaki $Z_{egzost}=0,2267$ €/h olarak Bölüm 4.2.2.3’de hesaplanmıştır.

$c_{çevre}=3,5472*10^{-4}$ €/kj olarak hesaplanır.

Kayıp ekserji maliyeti (4.37) bağıntısından, $C_{çevre}=12,2844$ €/h bulunur.

Ekserji kayıp oranları, bağıntı (3.57)’den hesaplanır.

$$y_{KS} = \frac{54,2153}{63,8748W} = 0,8488$$

$$y_{KANAL} = \frac{0,2639}{63,8748} = 0,0006$$

$$y_{MAHAL} = 0$$

$$y_{EGZOST} = \frac{9,6199}{63,8748} = 0,1506$$

Çizelge 4.57 3. grup mahallerde ısıtma sistemi için ekserji kaybı ve ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Ekserji Kaybı Miktarı	Ekserji Kayıp Oranı
	E_k (kW)	y (%)
KS	54,2153	84,88
3. Grup Mahal Kanalları	0,0396	0,06
3. Grup Mahaller	0	0
Egzost	9,6199	15,06

Termoekonomik faktör, bağıntı (3.60) kullanılarak hesaplanır.

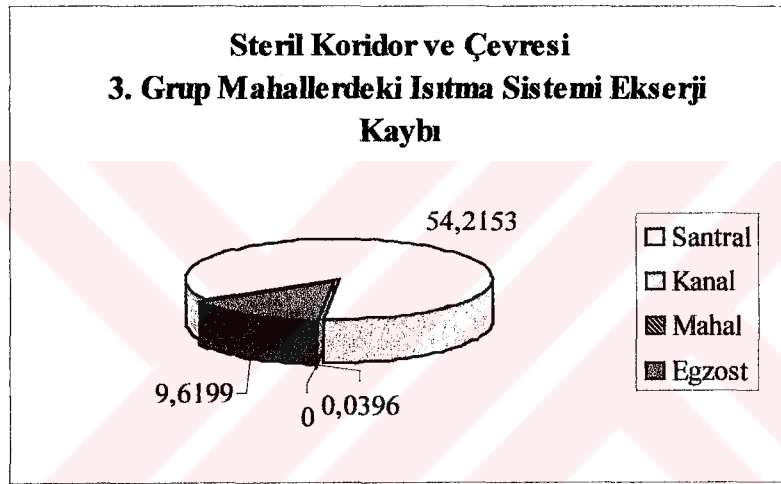
$$f_{KS} = \frac{12,7062}{(12,7062 + 7,5649)} = 0,6268$$

$$f_{KANAL} = \frac{0,1379}{(0,1379 + 0,0039)} = 0,9725$$

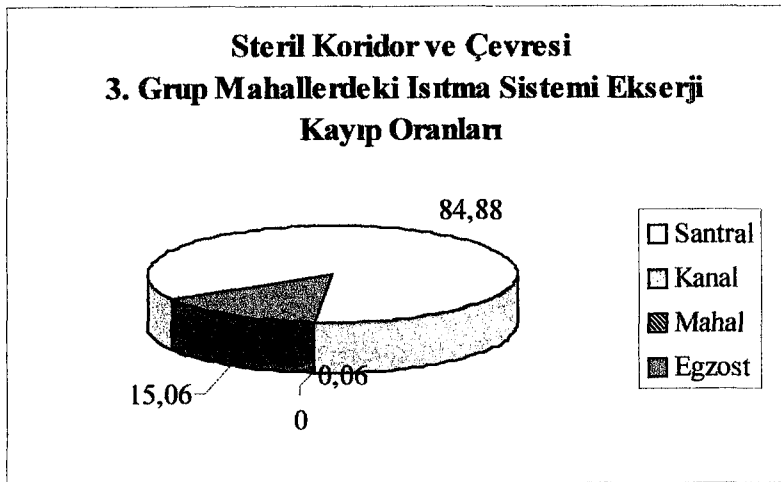
$$f_{EGZOST} = \frac{0,2267}{(0,2267 + 12,2844)} = 0,0181$$

Çizelge 4.58 3. grup mahallerde ısıtma sistemi için bir değere getirilmiş maliyet ve termoeconomik faktör (steril koridor ve çevresi)

Bileşen	Bir Değere Getirilmiş Maliyet Z (€/h)	Termoeconomik Faktör f (%)
KS	12,7062	62,68
3. Grup Mahal Kanalları	0,1379	97,25
Egzost	0,2267	1,81



Şekil 4.31 3. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kaybı (steril koridor ve çevresi)



Şekil 4.32 3. grup mahallerdeki ısıtma sistemi ekserji kayıp oranları (steril koridor ve çevresi)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Klimatizasyon sistemi yaz sezonu için incelendiğinde, çizelge 4.5 ve çizelge 4.30'dan, hem ameliyathaneler ve uyanma hacimleri, hem de steril koridor ve çevresi için en büyük ekserji akısının serpantine gelen soğutma suyuna ait olduğu görülmektedir.

Kış sezonunda ise, yine her iki mahal grubu için en büyük ekserji akısının, çizelge 4.21 ve çizelge 4.50'den serpantine gelen ısıtma suyuna ait olduğu anlaşılmaktadır.

Sterilizasyon önem derecesine göre; ameliyathaneler ve uyanma hacimleri iki, steril koridor ve çevresi üç alt gruplara ayrılmıştır. Bu beş grup yaz ve kış sezonu için incelendiğinde, şekil 4.7, şekil 4.9, şekil 4.12, şekil 4.14, şekil 4.20, şekil 4.22, şekil 4.24, şekil 4.27, şekil 4.29 ve şekil 4.31'den, en yüksek ekserji kaybının klima santrali başlığı altında toplanan bileşenlere ait olduğu, bunu egzost santrali ve bu santrale ait bileşenlerin takip ettiği görülmektedir. Kanal grubunun ekserji kaybı ise oldukça düşüktür.

Çizelge 4.13 ve çizelge 4.18'in incelenmesiyle yaz sezonunda, ameliyathaneler ve uyanma hacimlerinin her iki alt grubu için termoekonomik faktörün en yüksek olduğu bileşenin kanal grubu olduğu görülür. Klima santrali grubu için ortalama %60 olan termoekonomik faktör, en düşük değerini egzost grubunda almaktadır. Bu oran analizinden, bir değere getirilmiş maliyete göre en yüksek ekserji kayıp maliyetinin egzost grubuna ait olduğu görülmektedir.

Yine aynı sezon için steril koridor ve çevresi incelendiğinde, çizelge 4.38 ve çizelge 4.43 ve çizelge 4.48'den termoekonomik faktörün bileşenlere göre büyüklük sıralamasının değişmediği görülmektedir. Bu nedenle bu grup için de bir değere getirilmiş maliyete göre en yüksek ekserji kayıp maliyetinin egzost grubuna ait olduğu söylenebilir. Bu oranın 3. alt gruptaki mahallerde, diğer iki alt gruptakilere göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni şu şekilde açıklanabilir; egzost grubu bileşenlerinin bir değere getirilmiş maliyetleri içinde yer alan egzost klima santralinin maliyeti, üç mahal alt grubunun debilerine oranlanarak hesaplanmıştır. 3. grup mahallerdeki debinin diğer gruplardan düşük olması sonucu, bir değere getirilmiş maliyet de daha düşük çıkmış, bu da termoekonomik oranı etkilemiştir.

Kış sezonunda hem ameliyathaneler ve uyanma hacimleri hem de steril koridor ve çevresinde, ısı kaybı ve dolayısıyla ekserji kaybı olmamaktadır. Bu dönemde en yüksek ekserji kayıp oranı, şekil 4.13, şekil 4.15, şekil 4.28, şekil 4.30 ve şekil 4.32'nin incelenmesiyle her iki mahal grubu için de klima santrali grubuna ait olarak görülmektedir ve oran ortalama olarak ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için %90, steril koridor ve çevresi için %85'dir. Bunu

egzost grubu takip etmektedir.

Termoekonomik faktör incelendiğinde, çizelge 4.25, çizelge 4.27, çizelge 4.54, çizelge 4.56 ve çizelge 4.58'den yine her iki mahal grubu için de en yüksek orana kanal grubunun sahip olduğu görülmektedir.

Her iki sezonda ve her iki mahal grubu için, en yüksek ekserji kayıp oranının klima santrali grubuna ait olması ve bu grubun termoekonomik faktörünün ortalama olarak %60 olması, optimizasyon çalışmalarına bu gruptan başlamanın uygun olacağını göstermektedir.

Kış sezonundaki toplam ekserji kaybı, yaz sezonundakinden daha yüksektir. Bu durumun nedeni olarak; kış sezonunda santrale sıcak su giriş-çıkışı arasındaki ekserji akısı farkının, yaz sezonundaki soğuk su giriş-çıkışı ile sıcak su giriş-çıkışı arasındaki ekserji akısı farkından daha büyük olması söylenebilir.

Kış sezonundaki ekserji kaybı nedeniyle her iki mahal grubu için klima santrali grubunda 73770 €, kanallarda 510 € ve egzost grubunda 316360 € gereksiz yere harcanmaktadır. Ekserji kaybı nedeniyle yaz sezonunda, her iki mahal grubu için boş yere yapılan harcama miktarı ise; klima santrali grubunda 91480 €, kanallarda 660 € ve egzost grubunda 168230 €'dur. Yani her iki sezon boyunca sistem bileşenlerinin tümünden 651000 € harcanmıştır.

Bu analiz sonucu, bir iklimlendirme sisteminin, özellikle de hastahane gibi konforun yanı sıra hijyenin de çok önemli olması nedeniyle yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olduğu bir sistemdeki ekserji kayıplarının ihmal edilemeyecek kadar fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle bir sistem optimizasyonu yapmak için yalnızca enerji kayıplarını hesaplamak yeterli değildir, termoekonomik analiz yöntemi kullanılarak sistemin ekserji kayıpları belirlenmeli ve bunları minimize edecek önlemler alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., (1996), "Thermal Design and Optimization", John Wiley Sons, New York.
- Bilge, M., (1996), "Temiz Oda Teknolojisi ile İlaç Endüstrisinde Temiz Oda Uygulamaları", Tesisat Mühendisliği, Mayıs 1996.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A., (2002), "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik", McGraw Hill, New York.
- Güven, K.O., (2003), "Ameliyathanelerde Hijyenik Klima Tesisatı", 6. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi
- Humbaracı, İ., (1983), "Isıtma-Havalandırma-Güneş Enerjisi 2", Hankur Matbaacılık, İstanbul
- Hürtürk, Ş., (2000), "Temiz Oda Tasarımı ve Bir Ameliyathaneye Uygulanarak Projelendirilmesi", Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Kıncay, O., Akbulut, U., Temir, G., (2004), "İstanbul'da Bulunan Bir İş Merkezindeki Örnek Bir Katın Soğutma Sezonunda Ekserji Analizi, Tesisat Dergisi", 108.
- Maro, O.S., (1997), "Temiz Odalar Düzenlenmesi Koşulları", 3. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Cilt I-Sayfa 65
- Özkaynak, F.T., (1994), "Temiz Oda Tasarımı ve Klima Sistemleri", Tetisan A.Ş. Teknik Yayınları, İstanbul
- Sunaç, B., Kenber, E., Çelimli, İ., Bilge, M., Uzgur, S., Giray, S., Yücel, T., (2001), "Klima Tesisatı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası", MMO/2001/296.
- Whyte, W., (1995), "Cleanroom Design", Wiley, New York.

INTERNET KAYNAKLARI

- [1]www.aldag.com.tr
- [2]www.axaoyak.com.tr
- [3]www.erbay.com.tr
- [4]www.erensan.com.tr
- [5]www.frierm.com.tr
- [6]www.istanbul.edu.tr/yuksekokullar/teknikbilimler/yed/personal/programlar/iklimlendirme/hastane.htm
- [7]www.pamsan.com.tr
- [8]www.reform.com.tr/teknik_bilgiler/kutuphane (kadir isa)
- [9]www.tekfil.com.tr
- [10]www.tekniklima.com.tr
- [11]www.trox.co.uk

EKLER

- Ek 1 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için tesisat projesi
- Ek 2 Steril koridor ve çevresi için tesisat projesi
- Ek 3 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için yaz sezonunda belirtilen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi
- Ek 4 Santral hücrelerindeki basınç kayıpları
- Ek 5 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için belirtilen noktaların R22 diyagramında gösterilmesi
- Ek 6 Mahaller için hava akış yönleri ve basınçlandırma
- Ek 7 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için kış sezonunda belirtilen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi
- Ek 8 Steril koridor ve çevresi için yaz sezonunda belirtilen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi
- Ek 9 Steril koridor ve çevresi için belirtilen noktaların R22 diyagramında gösterimi
- Ek 10 Steril koridor ve çevresi için kış sezonunda belirtilen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi

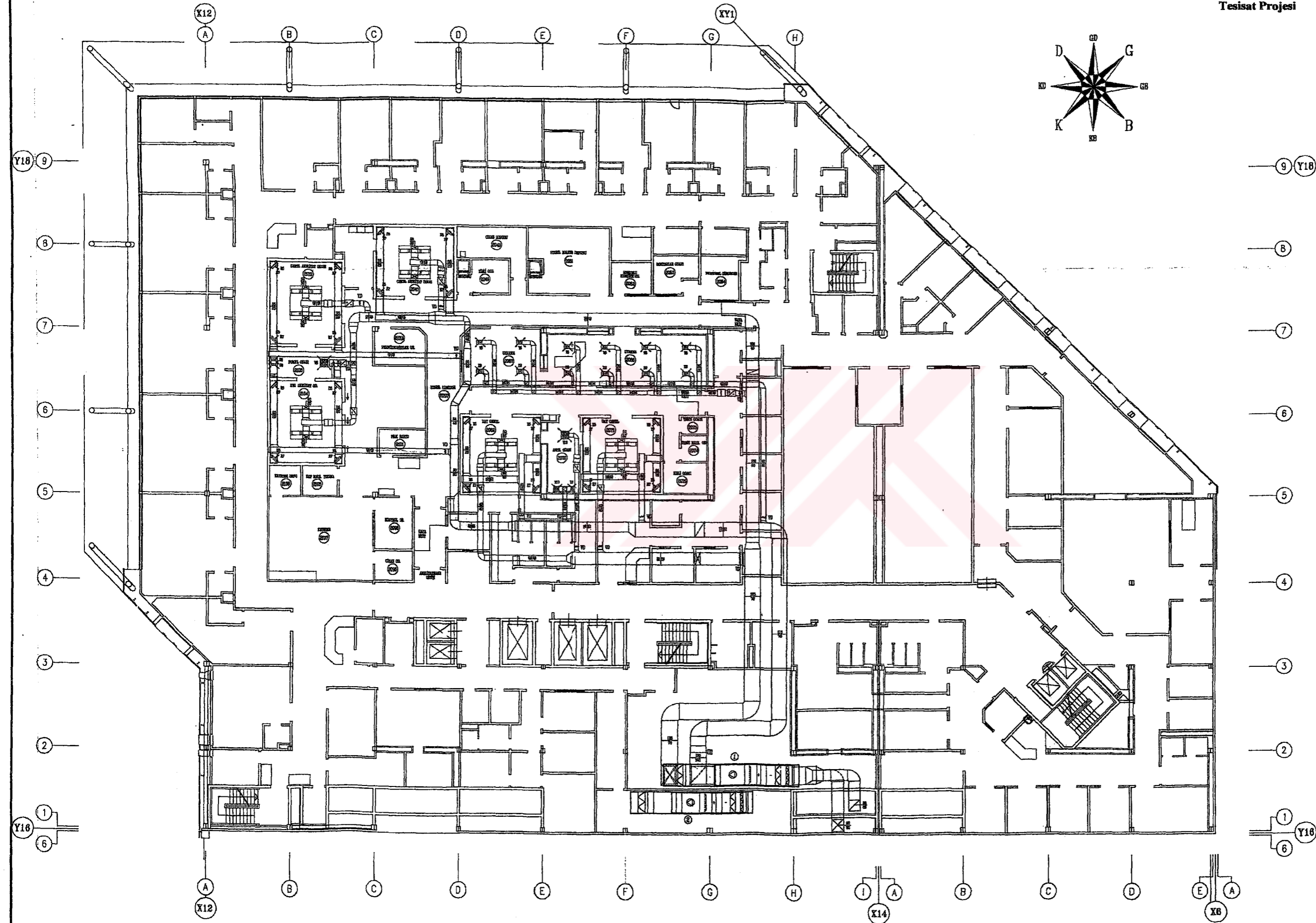


ÇİZİM LEGJENDİ	
---	YEREL HATIR
---	YEREL HATIR
---	YEREL HATIR
---	YEREL HATIR
---	YEREL HATIR
---	YEREL HATIR

YEREL HATIR TABLOSU		
HATIR NO	HATIR ADI	HATIR YERİ
1	100 m ² /h	1000 cm
2	150 m ² /h	1500 cm
3	200 m ² /h	2000 cm
4	250 m ² /h	2500 cm
5	300 m ² /h	3000 cm
6	350 m ² /h	3500 cm
7	400 m ² /h	4000 cm
8	450 m ² /h	4500 cm
9	500 m ² /h	5000 cm
10	550 m ² /h	5500 cm
11	600 m ² /h	6000 cm
12	650 m ² /h	6500 cm
13	700 m ² /h	7000 cm
14	750 m ² /h	7500 cm
15	800 m ² /h	8000 cm
16	850 m ² /h	8500 cm
17	900 m ² /h	9000 cm
18	950 m ² /h	9500 cm
19	1000 m ² /h	10000 cm

YEREL HATIR TABLOSU		
HATIR NO	HATIR ADI	HATIR YERİ
1	100 m ² /h	1000 cm
2	150 m ² /h	1500 cm
3	200 m ² /h	2000 cm
4	250 m ² /h	2500 cm
5	300 m ² /h	3000 cm
6	350 m ² /h	3500 cm
7	400 m ² /h	4000 cm
8	450 m ² /h	4500 cm
9	500 m ² /h	5000 cm
10	550 m ² /h	5500 cm
11	600 m ² /h	6000 cm
12	650 m ² /h	6500 cm
13	700 m ² /h	7000 cm
14	750 m ² /h	7500 cm
15	800 m ² /h	8000 cm
16	850 m ² /h	8500 cm
17	900 m ² /h	9000 cm
18	950 m ² /h	9500 cm
19	1000 m ² /h	10000 cm

SANTRAL TESİS		
1	100 m ² /h	1000 cm
2	150 m ² /h	1500 cm
3	200 m ² /h	2000 cm
4	250 m ² /h	2500 cm
5	300 m ² /h	3000 cm
6	350 m ² /h	3500 cm
7	400 m ² /h	4000 cm
8	450 m ² /h	4500 cm
9	500 m ² /h	5000 cm
10	550 m ² /h	5500 cm
11	600 m ² /h	6000 cm
12	650 m ² /h	6500 cm
13	700 m ² /h	7000 cm
14	750 m ² /h	7500 cm
15	800 m ² /h	8000 cm
16	850 m ² /h	8500 cm
17	900 m ² /h	9000 cm
18	950 m ² /h	9500 cm
19	1000 m ² /h	10000 cm

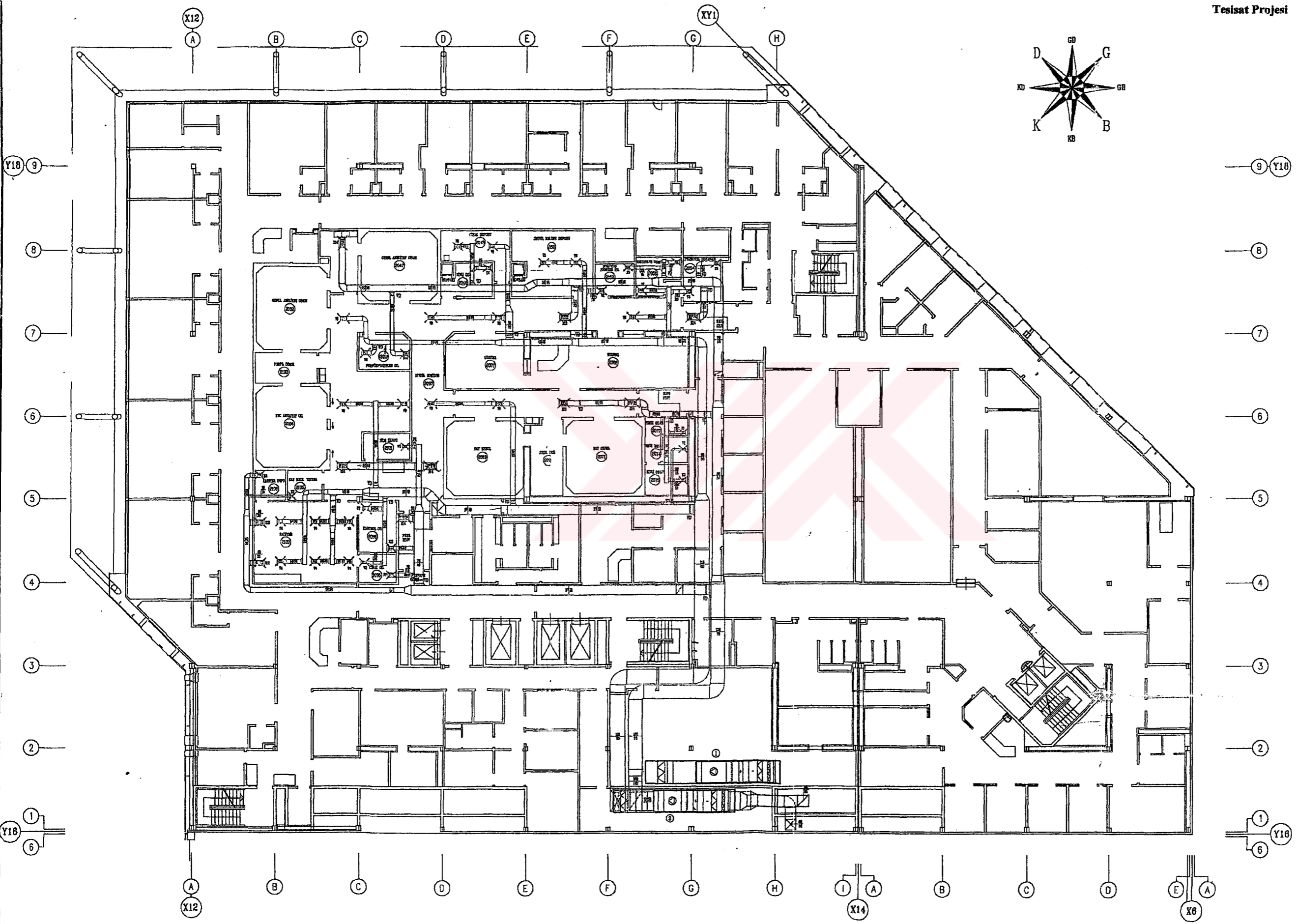
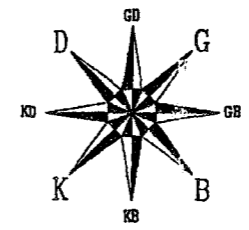


SİMGE ANLATIMI	
—	YEREL HATLAR
—	YEREL HATLAR
—	YEREL HATLAR
—	YEREL HATLAR
—	YEREL HATLAR
—	YEREL HATLAR
—	YEREL HATLAR

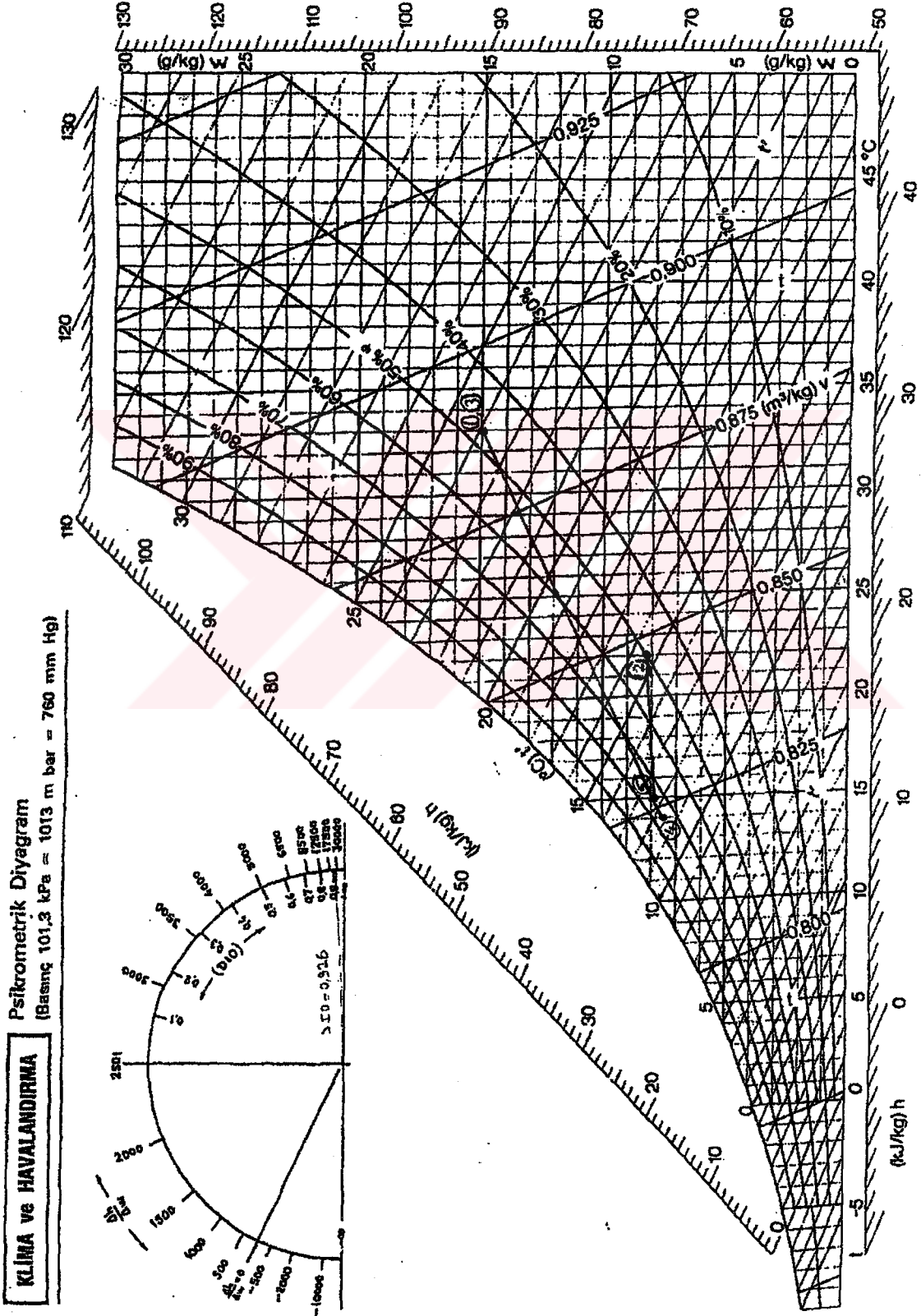
YEREL HATLAR TABLOSU		
HAT NO	HAT YERİ	HAT ÇAP
1	100 m ² /h	100 mm
2	150 m ² /h	150 mm
3	200 m ² /h	200 mm
4	250 m ² /h	250 mm
5	300 m ² /h	300 mm
6	350 m ² /h	350 mm
7	400 m ² /h	400 mm
8	450 m ² /h	450 mm
9	500 m ² /h	500 mm
10	550 m ² /h	550 mm
11	600 m ² /h	600 mm
12	650 m ² /h	650 mm
13	700 m ² /h	700 mm
14	750 m ² /h	750 mm
15	800 m ² /h	800 mm
16	850 m ² /h	850 mm
17	900 m ² /h	900 mm
18	950 m ² /h	950 mm
19	1000 m ² /h	1000 mm
20	1050 m ² /h	1050 mm
21	1100 m ² /h	1100 mm
22	1150 m ² /h	1150 mm
23	1200 m ² /h	1200 mm
24	1250 m ² /h	1250 mm

YEREL HATLAR TABLOSU		
HAT NO	HAT YERİ	HAT ÇAP
1	100 m ² /h	100 mm
2	150 m ² /h	150 mm
3	200 m ² /h	200 mm
4	250 m ² /h	250 mm
5	300 m ² /h	300 mm
6	350 m ² /h	350 mm
7	400 m ² /h	400 mm
8	450 m ² /h	450 mm
9	500 m ² /h	500 mm
10	550 m ² /h	550 mm
11	600 m ² /h	600 mm
12	650 m ² /h	650 mm
13	700 m ² /h	700 mm
14	750 m ² /h	750 mm
15	800 m ² /h	800 mm
16	850 m ² /h	850 mm
17	900 m ² /h	900 mm
18	950 m ² /h	950 mm
19	1000 m ² /h	1000 mm
20	1050 m ² /h	1050 mm
21	1100 m ² /h	1100 mm
22	1150 m ² /h	1150 mm
23	1200 m ² /h	1200 mm
24	1250 m ² /h	1250 mm

SİMLER TABLOSU	
①	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
②	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
③	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
④	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑤	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑥	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑦	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑧	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑨	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑩	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑪	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑫	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑬	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑭	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑮	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑯	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑰	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑱	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑲	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
⑳	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉑	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉒	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉓	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉔	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉕	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉖	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉗	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉘	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉙	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉚	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉛	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉜	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉝	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉞	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㉟	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊱	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊲	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊳	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊴	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊵	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊶	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊷	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊸	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊹	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊺	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊻	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊼	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊽	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊾	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)
㊿	YEREL HATLAR (YEREL HATLAR)



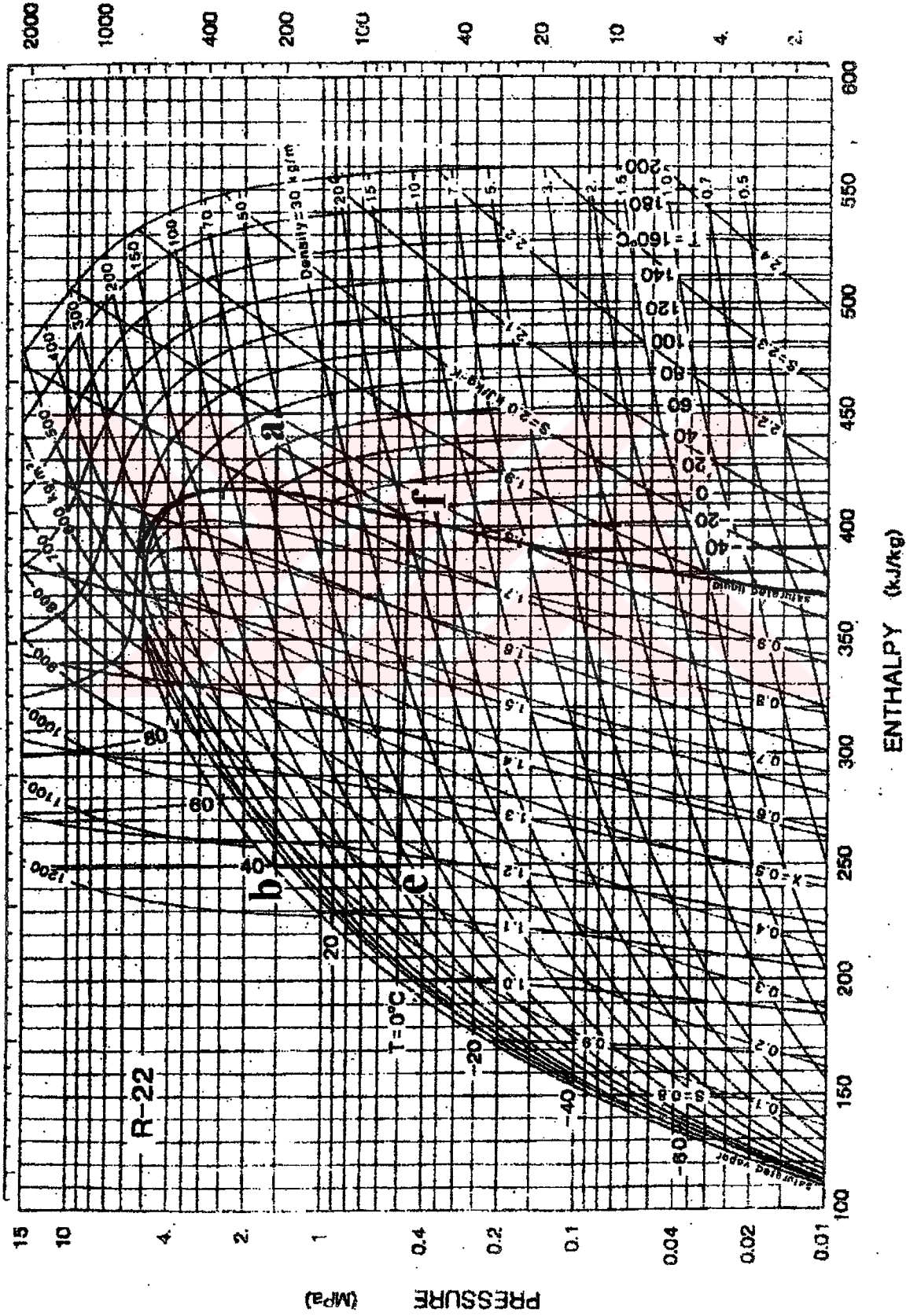
Ek 3 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için yaz sezonunda belirlenen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi



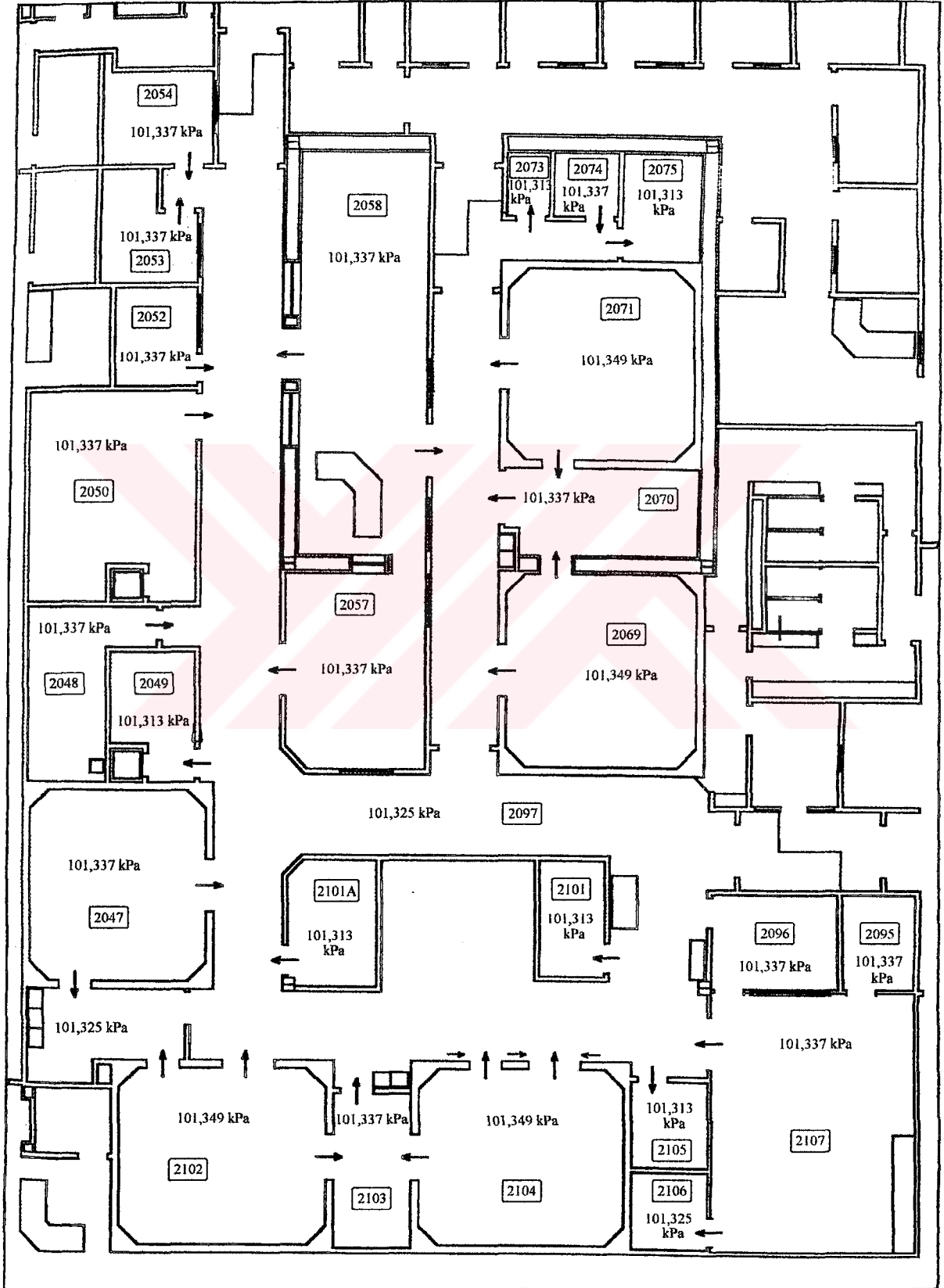
Ek 4 Santral hücrelerindeki basınç kayıpları

Basınç Kaybı Oluşan Kısım	Basınç Kaybı (Pa)
Kabin	50
Susturucu	150
Karışım ve Egzost Hücresi	40
Damper	20
Nemlendirme	110
FİLTRELER	
EU3 Filtre-V Tipi	40
EU4 Filtre-V Tipi	50
EU4 Torba Filtre	150
EU5 Torba Filtre	150
EU6 Torba Filtre	150
EU7 Torba Filtre	150
EU8 Torba Filtre	150
EU9 Torba Filtre	150
EU9 Hepa Filtre	200
Aktif Karbon Filtre	100
Metalik Filtre	50
Damla Tutucu	30
ISITICI BATARYA	
1 Sıralı	20
2 Sıralı	30
3 Sıralı	50
4 Sıralı	65
5 Sıralı	80
6 Sıralı	120
SOĞUTUCU BATARYA	
1 Sıralı	30
2 Sıralı	40
3 Sıralı	60
4 Sıralı	70
5 Sıralı	110
6 Sıralı	130

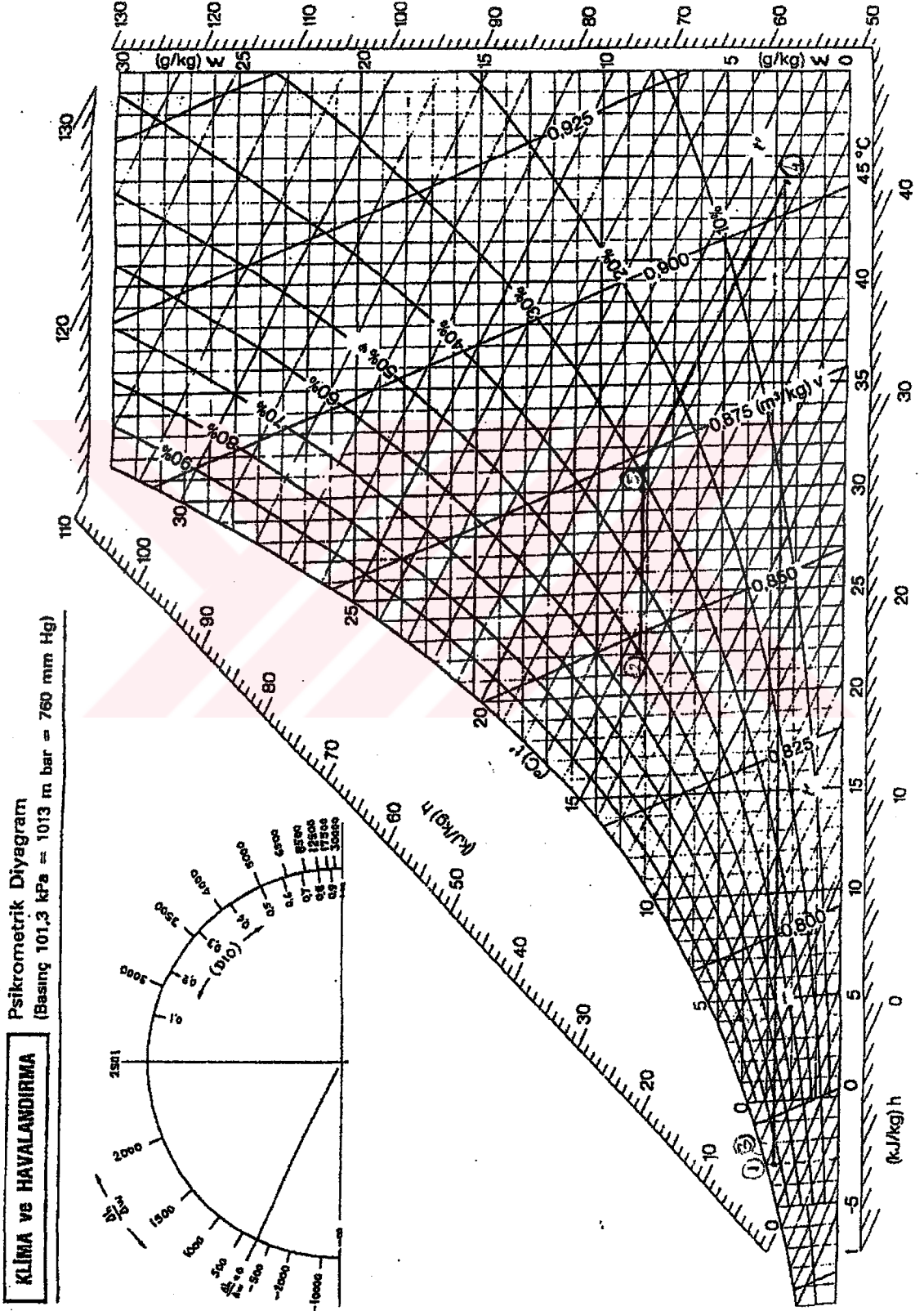
Ek 5 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için belirtilen noktaların R22 diyagramında gösterilmesi



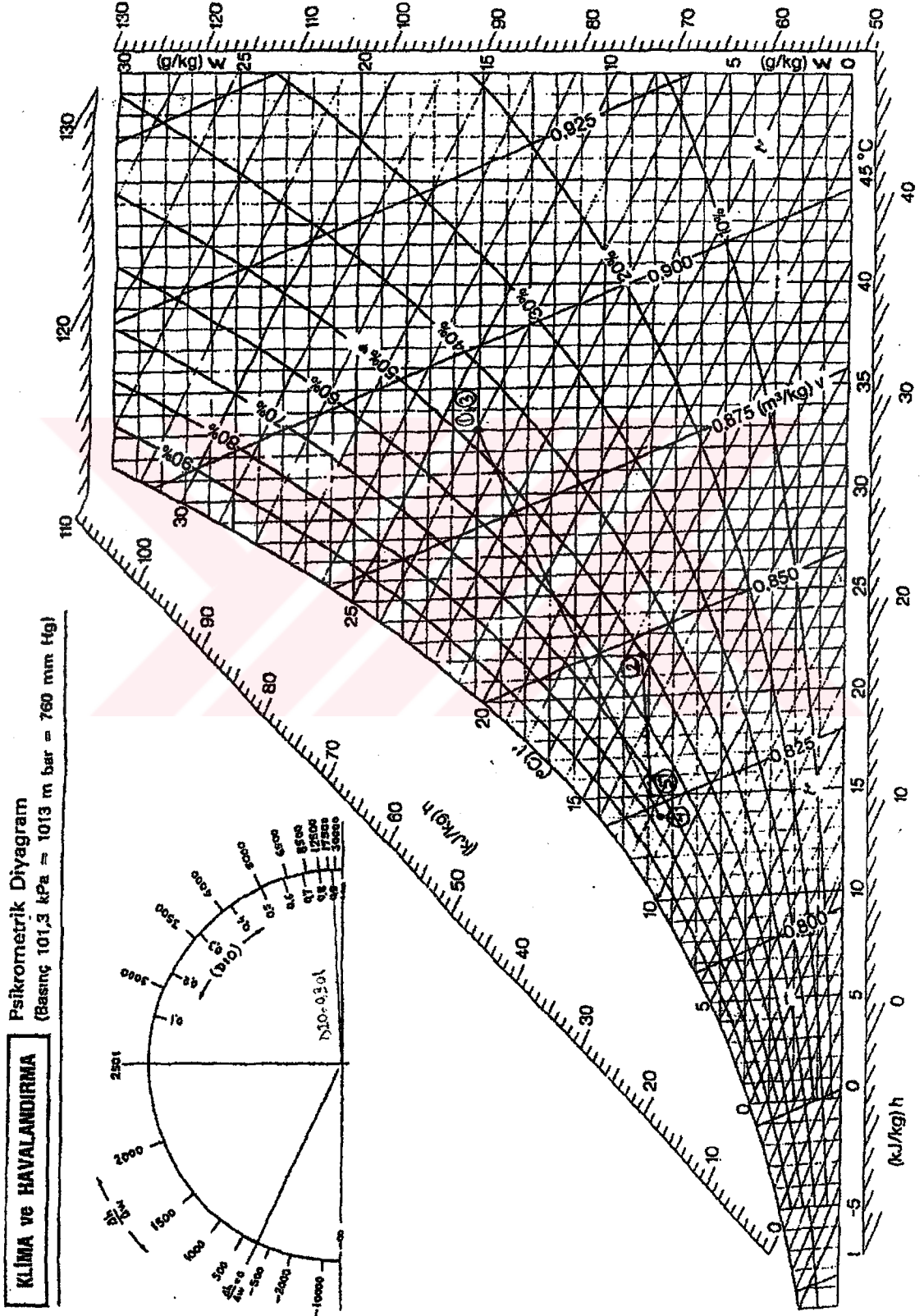
Ek 6 Mahaller için hava akış yönleri ve basınçlandırma



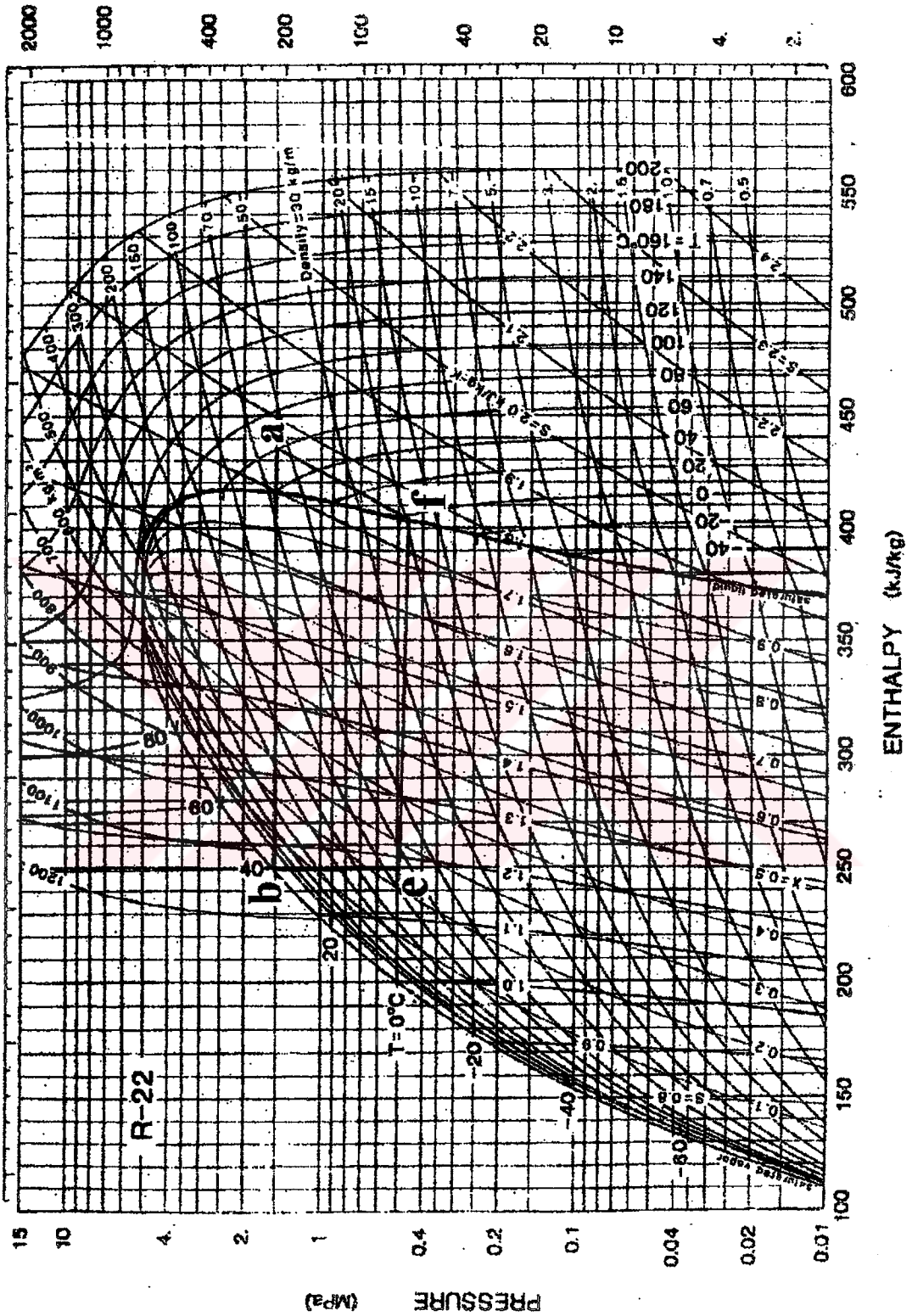
Ek 7 Ameliyathaneler ve uyanma hacimleri için kış sezonunda belirlenen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi



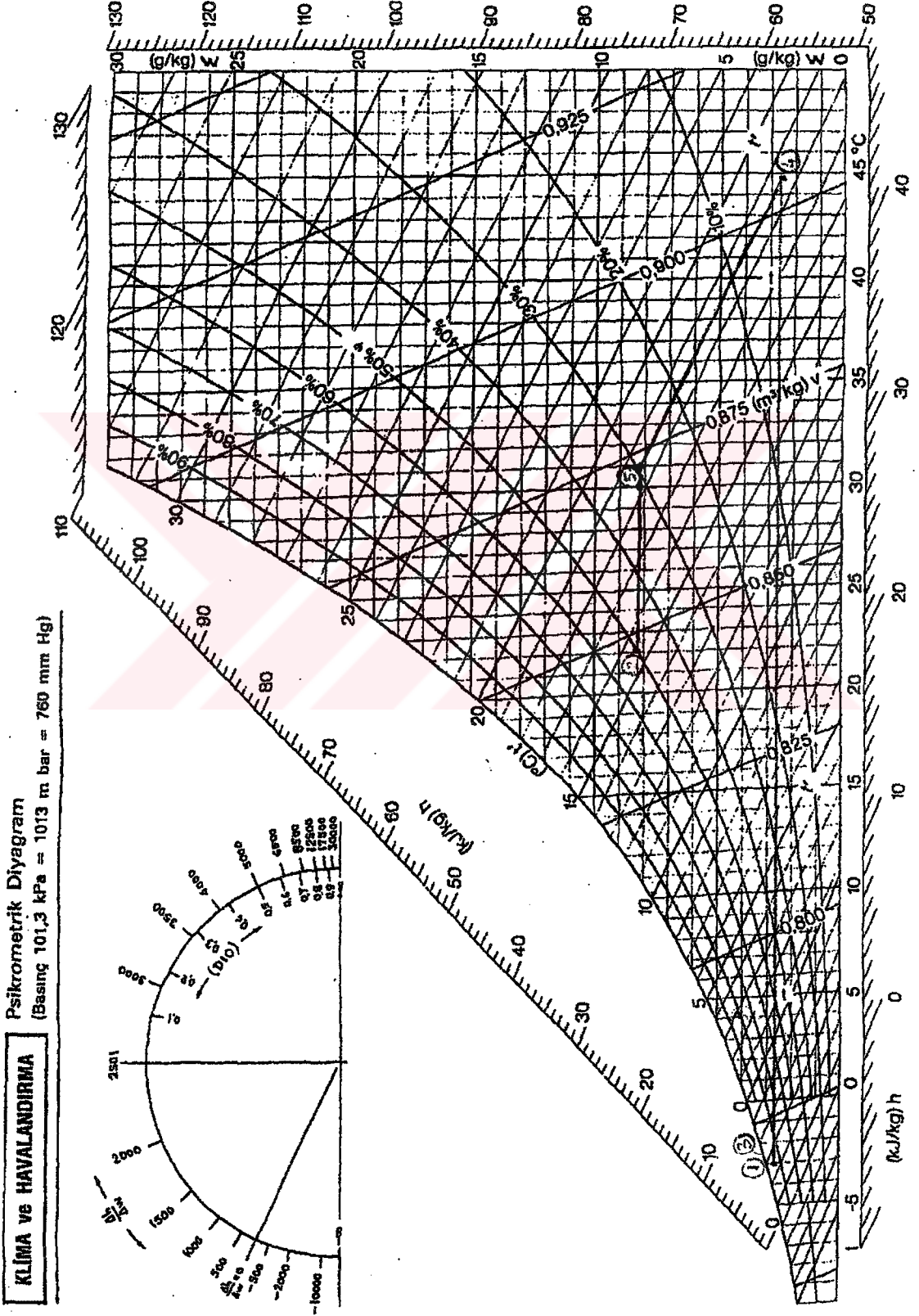
Ek 8 Steril koridor ve çevresi için yaz sezonunda belirlenen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi



Ek 9 Steril koridor ve çevresi için belirtilen noktaların R22 diyagramında gösterilmesi



Ek 10 Steril koridor ve çevresi için kış sezonunda belirlenen noktaların psikometrik diyagramda gösterilmesi



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 03.09.1980

Doğum yeri Çanakkale

Lise 1995-1998 Ayazağa Işık Lisesi

Lisans 1998-2002 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

