

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEĞİŞİK İKLİM BÖLGELERİNDEKİ BİNALARIN PERFORMANSININ
EKSERJETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Evren KARAKAŞLI

Enstitü No: 092119104

**Anabilim Dalı: Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Program: Enerji Eğitimi**

ELAZIĞ-2012

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEĞİŞİK İKLİM BÖLGELERİNDEKİ BİNALARIN PERFORMANSININ
EKSERJETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Evren KARAKAŞLI

Enstitü No: 092119104

**Anabilim Dalı: Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Program: Enerji Eğitimi**

Danışman: Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 29.05.2012

ELAZIĞ-2012

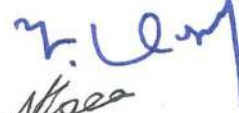
T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEĞİŞİK İKLİM BÖLGELERİNDEKİ BİNALARIN
PERFORMANSININ EKSERJETİK AÇIDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
EVREN KARAKAŞLI
Enstitü No: 092119104

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 29.05.2012

Tezin Savunulduğu Tarih : 18.06.2012

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP (F.Ü.) 
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Yasin VAROL (F.Ü.) 
Doç. Dr. Ahmet KOCA (F.Ü.) 

HAZİRAN - 2012

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, yardımları ve emeği geçen hocalarım başta danışmanım Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP ve tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Arif HAPBAŞLI olmak üzere, Prof. Dr. Yasin VAROL, Arş. Gör. Müjdat FIRAT ve Doktora Öğrencisi Mert GÜRTÜRK' e yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Çalışmanın yapılmasına destek veren Özel Damla Hastanesi'ne de katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Evren KARAKAŞLI
ELAZIĞ-2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖNSÖZ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XII
TABLolar LİSTESİ.....	XIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XVI
KISALTMALAR	XX
1. GİRİŞ	1
1.2. Isı Yalıtımı	6
1.2.1. Isı Yalıtımının Faydaları.....	7
1.3. Termodinamiğin Birinci ve İkinci Kanunu.....	8
1.3.1. Tersinmezlikler	8
1.4. Ekserji Kavramı.....	10
1.4.1. Kullanılan (Ekserji) ve Kullanılmayan (Anerji) Enerji.....	10
1.4.2. İkinci Yasa ve Ekserji Analizi	11
1.4.3. İkinci Yasa ve Ekserjinin Kullanıldığı Alanlar.....	12
1.4.4. Ekserjinin Önemli Boyutları	12
1.5. Hijyenik Klima Sistemi	13
1.5.1. Hastalıklardan Korunma Ve Tedavide İklimlendirme	13
1.5.2. Hastane Kliması ve Konfor Kliması Arasındaki Farklar.....	14
1.5.3. Hastane İklimlendirme Sistemlerinde Tasarım Parametreleri.....	14
1.5.3.1. Sıcaklık	14
1.5.3.2. Bağıl Nem Oranı	14

1.5.3.3.	Parçacık ve Mikroorganizma Sayısı.....	15
1.5.3.4.	Hava Hızı ve Hava Dağılımı.....	15
1.5.3.5.	Türbülanslı Odalarda Hava Dağılımı	16
1.5.3.6.	Laminer Hava Akışlı Temiz Odalar.....	16
1.5.3.7.	Basınçlandırma	16
1.5.3.8.	Taze Hava ve Toplam Hava Değişim Sayıları.....	17
1.5.3.9.	Havanın Toplanış Şekli.....	17
1.5.3.10.	Hastanelerde Ameliyathane İklimlendirmesi.....	18
1.5.3.11.	Ameliyathane Klima Santrallerinin Özellikleri.....	19
1.5.3.12.	Hava Kanalları.....	20
1.5.3.13.	Sızdırmaz Damperler.....	20
1.5.3.14.	Hava Akış Kontrol Elamanları.....	21
1.5.3.15.	Kanal Tipi Elektrikli Isıtıcılar.....	22
1.5.3.16.	Nemlendirici Ünite	23
1.5.3.17.	Isı Geri Kazanım Cihazları.....	23
1.5.3.18.	Menfezler.....	24
1.5.3.19.	Hepa Filtre	25
1.5.3.20.	Laminer Akış Üniteleri	26
1.5.4.	Hastane İklimlendirme Sistemlerinde Enerji Tasarrufu.....	28
1.5.5.	Projelendirme Sırasında Dikkate Alınması Gereken Hususlar	28
1.5.6.	Ülkemizde ve Dünyada Kullanılan Standartlar.....	29
2.	MATERYAL VE METOT	31
2.1.	Binaların Seçim Kriterleri.....	31
2.2.	Binanın Tanımı	32
2.2.1	Binanın Genel Özellikleri.....	32
2.2.2	Bina Isıtma Sistemi	36
2.3.	Ekserji Analizi.....	37

2.3.1.	Bir Akışkanın Ekserji Analizi.....	37
2.3.2.	Ekserji Geçişi	38
2.3.4.	Kontrol Hacimleri İçin Enerji Dengesi	40
2.3. 5.	Sürekli Akışlı Sistemler İçin Ekserji Dengesi	42
2.3.6.	Isıtma - Soğutma Sistemlerinde Ekserji Analizi	42
2.3.7.	Isıtma Sisteminin Ekserji Analizi	44
2.3.8.	Soğutma Sistemi Ekserji Analizi	51
3.	BULGULAR.....	60
3.1.	Örnek Poliklinik için Ekserji Hesabı.....	60
3.1.1	Örnek Poliklinik Isı Kaybı Hesabı	60
3.1.2	Örnek Poliklinik için Isı Kazançları.....	62
3.2.	Örnek Poliklinik Ekserji Analizi Hesaplama Sonuçları.....	64
3.2.1.	Örnek Poliklinik için Karakteristik Ekserji Değerleri.....	67
3.2.2.	Örnek Poliklinik için Karakteristik Enerji Değerleri.....	68
3.2.3.	Örnek Poliklinik İçin Performans Katsayısının Hesaplanması	75
3.2.4.	Düzeltilme Faktörleri için Değerler.....	75
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	108
5.	ÖNERİLER.....	110
	KAYNAKLAR.....	112
	ÖZGEÇMİŞ	117

ÖZET

Günümüzde hastane, alışveriş merkezleri, banka vb. binalarda merkezi ısıtma ve soğutma sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, mevcut olan bu tip sistemlerin başta enerji giderleri ve bakım giderleri bir hayli fazla olmaktadır.

Bu giderlerin azaltılması amacıyla çeşitli enerji sarfiyatını azaltıcı yöntemler araştırılmakta ve uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden günümüzde en yaygın olarak bilineni ve uygulananı yalıtımdır. Ancak son zamanlarda yalıtımında tek başına bir çözüm olmadığı görülmüştür.

Bu nedenle araştırmacılar tarafından yapılan yeni değerlendirmeler sonucu kayıp enerjinin azaltılması veya verilen enerjiden maksimum şekilde faydalanma yollarına gidilmiş ve yeni çözüm arayışlarına başvurulmuştur. Bu yöntemlerden biri de ekserji kavramıdır.

Ekserji analizi, bir sistemin enerji analizinden farklıdır. Ekserji analizinin sonuçları, bir sistemdeki prosesin daha fazla iş yapabilme potansiyelini ortaya koyar. Bu yüzden, ekserji analizi, bu çalışmada ele alınan sistemlerinin analizinde önemli bir yöntemdir. Çünkü, bu analiz, mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemleri tasarlanmasının mümkün olup olmayacağını açığa kavuşturacaktır.

Bu çalışmada, Elazığ Hayat Damla Hastanesi'nin yılda yaklaşık 6795.6 kWh ısıtma enerjisine ihtiyaç duyan binanın bazı bölümlerinin mevcut bilinen ve yeni yöntemlerin yardımı ile enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Ekserji ve enerji analizinin bir birinden farklı olduğu, yani ekserji kavramı ile enerji kavramının aynı olmadığı ve ekserjinin enerjiden dolayı ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu çalışma yalıtım durumu iyi olan, 17 m² lik taban alanlı ve 52 m³ hacimli göz polikliniği referans alınarak yapılmıştır. Göz polikliniği bütün binanın ısıtıldığı gibi doğalgaz kazan destekli vrf sistemi ile tavandan ısıtılmaktadır. Sistem termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre göz polikliniğinin ve hastane binasının farklı bölümlerinde bulunan odaların enerji ve ekserji analizi yapılmış, bununla birlikte farklı coğrafi şartların enerji ve ekserji miktarında ne gibi farklılıklar ortaya koyduğu belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Yapılan enerji ve ekserji analizi sonucunda verim göz polikliniğinin enerji miktarı $E_{W, fos} = 267.97 \text{ W}$, ekserji miktarı $Ex_{ü, fos} = 1590.10 \text{ W}$ olarak hesaplanmıştır.

Türkiye iklim şartlarına göre dört ısı bölgesinin ayrı ayrı değerlendirmesi yapılmış, ayrıca mevcut kurulu sistemin ekserji analizi sonucunda ülkemizde ki diğer büyük kapasiteli binalar için de ne gibi tedbirler alınabileceği tartışılmıştır. Ekserji analizinin amacı, ekserji verimliliğini belirlemek ve ekserji kayıplarının gerçek büyüklüğünü ve sebebini belirlemektir.

Anahtar Kelimeler: Binalar, ekserji, enerji, termodinamik, sürdürülebilir enerji

ABSTRACT
EXERGETIC ANALYSES OF BUILDINGS PERFORMANCE AT
DIFFERENT CLIMATES

Today, central heating and cooling systems are widely used in hospitals, shopping centers, banks and so on. However, energy and maintenance costs of such systems are very high.

In order to reduce these costs, a variety of methods are researched and these methods are being applied. The well know method of these thecniques is insulation. Recently, it is understood that the installation is not a unique solution among these. For this reason, the researchers made new assessments to reduce energy loss and research solutions, to utilize the maximum energy. One of these methods is the concept of exergy.

Exergy Analysis is different from the energy analysis of a system. Exergy analysis results reveal the potential of the process for more work to do in a system. Therefore, the exergy analysis is an important method for the analysis of this system are taken into consideration. Because this analysis will reveal that it is possible to design more efficient energy systems or not able to possible by reducing inefficiencies in existing systems.

In this study, energy and exergy analysis was conducted with the help of known and new methods in Elazığ Damla hospital where need approximately 6795.6 kWh heating energy per year in some parts of the building. Energy and exergy are not same concepts and exergy is occurred due to presence of energy. This study made by reference of the eye clinic where has 52 m³ 17 m² volume floor area and having in good insulation. Eye clinic is heated from the ceiling with natural gas boilers backed by VRF system such as whole building is heated. Energy and exergy analyzes have been made according to the first and second laws of thermodynamics in the eye clinic and rooms are located in different parts of the hospital building. However,different geographical conditions are revealed what kind of differences by the amount of energy and exergy, are determined and compared. As a result of the energy and exergy analysis of the eye clinic were calculated as the amount of energy is $E_{W, fos} = 267.97 \text{ W}$ and the amount of exergy is $Ex_{ü, fos} = 1590.10 \text{ W}$

According to climatic conditions of Turkey, four heat areas evaluation was conducted separately. Also exergy analysis of the system is currently installed in our country such as what measures can be taken for other large-capacity buildings are discussed. The purpose of exergy analysis is to determine exergy efficiency, actual amount of exergy losses and the causes of the losses.

Keywords: Buildings, exergy, energy, thermodynamics, sustainable energy

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sonlu sıcaklık farkında; sıcaklık, ısı, entropi ve ekserji geçişi.....	9
Şekil 1.2. Ameliyathane İklimlendirilmesi	18
Şekil 1.3. Motorlu Damper.....	21
Şekil 1.4.a. Cav Kutusu	22
Şekil 1.4.b. Vav Kutusu	22
Şekil 1.5. Kanal Tipi Elektrikli Isıtıcı.....	23
Şekil 1.6. Isı Geri Kazanım Cihazı	24
Şekil 1.7. Hepa Filtre	25
Şekil 1.8. Hepa Filtre Kutusu	26
Şekil 1.9. Laminer Akış Ünitesi.	27
Şekil 2.1 Elazığ Hayat Damla Hastanesi Vaziyet Planı.....	33
Şekil 2.2. Kazana ait parametreler	49
Şekil 2.3. Klima santraline ait parametreler	48
Şekil 2.4. Fan -Coil parametreleri	49
Şekil 2.5. Isı değiştirici (eşanjör) parametreler	50
Şekil 2.6. Soğutucu (chiller) parametreleri	52
Şekil 2.7. Klima santrali parametreleri	53
Şekil 2.8. Fan-coil parametreleri	54
Şekil 2.9. Kuru soğutucu (dry-cooler) parametreleri.....	55
Şekil 2.10. Soğutucuya ait parametreler	56
Şekil 2.11. Klima santraline ait parametreler	58
Şekil 2.12. Fan-coil cihazına ait parametreler	58
Şekil 3.1. Örnek poliklinik ısıtma sisteminin ekserji ve enerji değişimi	70
Şekil 3.2. Örnek poliklinik ekserji ve enerji değişimi	71
Şekil 3.3. Örnek poliklinik ekserji kayıp / tüketim bileşenleri.....	72
Şekil 3.4. Örnek poliklinik enerji kazanç ve kayıplar	73
Şekil 3.5. Örnek poliklinik için ekserji arz ve talep değişimi	74

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Bina kat alanları.....	34
Tablo 2.2. Bina servis katları.....	34
Tablo 2.3. Bina servis katları.....	34
Tablo 2.4. Binaya ait bazı örnek veriler	34
Tablo 2.5. Binada Bulunan İç Ünite Sayısı ve Özellikleri	35
Tablo 2.6. Binada Bulunan Dış Ünite Sayısı ve Özellikleri.....	35
Tablo 2.7. Baca gazlarının termodinamik özellikleri.....	47
Tablo 2.8 Baca gazlarının $y^e_{ç}$ değerleri.....	47
Tablo 3.1 Göz polikliniği özellikleri.....	61
Tablo 3.2 Pencere zam değerleri.....	62
Tablo 3.3 Hesaplamalar.....	65
Tablo 3.4. Yalıtım Faktörleri	76
Tablo 3.5. Sıcaklık Faktörleri	76
Tablo 3.6. Sıcaklık Düşüşü Faktörleri.....	76
Tablo 3.7. a. Örnek poliklinik için genel enerji sonuçları.....	80
Tablo 3.7. b. Örnek poliklinik için genel ekserji sonuçları	81
Tablo 3.7.c. Örnek poliklinik için sistem enerji kayıpları	82
Tablo 3.7.d. Örnek poliklinik için sistem ekserji kayıpları.....	82
Tablo 3.8. Üretim Değerleri ve Dönüşümler	83
Tablo 3.9. a . Hasta Odası 3.Normal Kat, 1. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adana İli Enerji Analiz Değerleri.....	84
Tablo 3.9. .b. Hasta Odası 3.Normal Kat, 1. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adana İli Ekserji Analiz Değerleri.....	85
Tablo 3.9.c Hasta Odası 3.Normal Kat, 1. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adana İli enerji kayıpları.....	86
Tablo 3.9.d. Hasta Odası 3.Normal Kat, 1. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adana İli ekserji kayıpları.....	86
Tablo 3.10. a. Hasta Odası 3.Normal Kat, 2 . Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adapazarı İli Enerji Analiz Değerleri	87
Tablo 3.10. b. Hasta Odası 3.Normal Kat, 2 . Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adapazarı İli Ekserji Analiz Değerleri.....	88

Tablo 3.10.c. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem enerji kayıpları.....	89
Tablo 3.10.d. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem ekserji kayıpları.....	89
Tablo 3.11. a . Hasta Odası 3.Normal Kat, 3. Sıcaklık Bölgesi. Örnek Elazığ İli Enerji Analiz Değerleri.....	90
Tablo 3.11.b. Hasta Odası 3.Normal Kat, 1. Sıcaklık Bölgesi. Örnek Elazığ İli Ekserji Analiz Değerleri.....	91
Tablo 3.11. d. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem enerji kayıpları.....	92
Tablo 3.11.d. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem ekserji kayıpları.....	92
Tablo 3.12.a. Hasta Odası 3.Normal Kat, 4. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Ağrı İli Enerji Analiz Değerleri.....	93
Tablo 3.12.b. Hasta Odası 3.Normal Kat, 4. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Ağrı İli Ekserji Analiz Değerleri.....	94
Tablo 3.12.c. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem enerji kayıpları.....	95
Tablo 3.12.d. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem ekserji kayıpları.....	95
Tablo 3.13. a. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Cerrahi Yoğun Bakım Enerji Analiz Değerleri.....	96
Tablo 3.13. b. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Cerrahi Yoğun Bakım Ekserji Analiz Değerleri.....	97
Tablo 3.13.c. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Cerrahi Yoğun Bakım Enerji Kayıpları.....	98
Tablo 3.13.d. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Cerrahi Yoğun Bakım Ekserji Kayıpları.....	98
Tablo 3.14. a. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Toplantı Salonu Enerji Analiz Değerleri.....	99
Tablo 3.14. b. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Toplantı Salonu Ekserji Analiz Değerleri.....	100
Tablo 3.14.c. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Toplantı Salonu Enerji Kayıpları.....	101
Tablo 3.14. d. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Toplantı Salonu Ekserji Kayıpları ..	101
Tablo 3.15. a. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Çocuk Polikliniği Enerji Analiz Değerleri.....	102
Tablo 3.15. b. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Çocuk Polikliniği Ekserji Analiz Değerleri.....	103
Tablo 3.15.c. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Çocuk Polikliniği Enerji Kayıpları...	104

Tablo 3.15.d. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Çocuk Polikliniği Ekserji Kaybı	104
Tablo 3.16. Farklı dağıtım sistemlerinin karakteristik değerleri.....	105
Tablo 3.18. Binanın katlara göre toplam ısı kaybı tablosu.....	107
Tablo 3.19. Çeşitli ısıtma ve soğutma sistemlerinin karşılaştırılması	109

SEMBOLLER LİSTESİ

$1/x$	: Isıl geçirgenlik direnci
A	: Yapı bileşeninin kalınlığı
k_n	: Isı iletkenlik değeri
Ex	: Ekserji
P	: Basınç
v	: Hacim m^3
U	: Potansiyel enerji
T	: Sıcaklık
V	: Hız
g	: Yer çekimi
Z	: Yükseklik
S	: Entropi
e	: İç enerji
ψ	: Akış veya akım ekserjisi
h	: Entalpi
η	: Isıl verim
Q	: Isı geçişi miktarı
W	: İş
$\dot{m}$	: Kütlesel debi
$\dot{W}$	: Birim zaman işi veya güç
Q'	: Birim zamandaki ısı geçişi miktarı
Φ	: Kimyasal ekserji faktörü
H_a	: Yakıtın alt ısı değeri
y_{Ci}^e	: Baca gazlarının çevrede bulunma yüzdesi
A_i	: Alan
F_{xi}	: Sıcaklık düzeltme faktörü
Φ_{tr}	: Isı iletim kaybı

H_{tr} : Spesifik ısı iletim kaybı
 n_d : Havalandırma katsayısı
 η_v : Isı değıştirgeci verimi
 F_{fr} : Pencere çerçeve kesri
 P_v : Havalandırma gücü
 ψ_o : Genel ekserji verimlilik
 $\psi_{s,birincil}$: Ekserji verimlilik
 $Ex_{ü, fos.}$: Fosil ekserji üretim
 $Ex_{ü, y}$: Yenilebilir ekserji üretim
 P_{yar} : Yardımcı güç
 $\emptyset$: Enerji akışı
 C : Hava özgül ısısı
 $E_{ü, fos}$: Enerji yükü fosil üretimi
 $Ex_{ü, fos}$: Ekserji yükü fosil üretimi
 $E_{p, w}$: KSS Birincil enerji talebi
 $E_{w, fos}$: KSS fosil enerji talebi
 ΔEx_d : Ekserji kaybı dağılımı
 Ex_d : Ekserji yük dağılımı
 ΔEx_{em} : Ekserji emisyon kaybı
 Ex_{em} : Ekserji emisyon yükü
 Ex_{KSS} : Kullanım Sıcak Suyu Ekserji Yüğü
 $Ex_{ısı}$: Isıtıcı ekserji yükü
 Ex_{top} : Toplam ekserji girişı
 $Ex_{L, fos}$: Fosil aydınlatma ekserji talebi
 Ex_p : İşletme ekserji yükü
 Ex_{fos} : Fosil kaynak ekserji girişı
 Ex_{oda} : Oda ekserji miktarı
 ΔE : Ekserji talep depolama
 Ex_{ed} : Ekserji yükü depolama
 $Ex_{v, fos}$: Fosil havalandırma ekserji talebi

$E_{xv,yen}$: Havalandırma yenilenebilir ekserji talebi
 $E_{w, fos}$: KSS fosil kaynak enerji talebi
 $E_{x, fos}$: KSS fosil kaynak enerji talebi
 $F_{\text{çev}}$: Çevresel enerji faktörü, ısı pompası kaynağı
 $F_{p, el, fos}$: Fosil birincil enerji faktörü
 $F_{p, el, y}$: Yenilenebilir birincil enerji faktörü
 $F_{p, fos}$: Fosil birincil enerji üretim faktörü
 $F_{p, yen}$: Yenilenebilir birincil nesil enerji faktörü
 $F_{p, fos, w}$: Fosil kaynak birincil kss enerji faktörü
 $F_{q, el, fos}$: Fosil elektrik kalite faktörü
 $F_{q, el, y}$: Yenilenebilir elektrik kalite faktörü
 $F_{q, fos}$: Fosil kaynak nesil kalite faktörü
 $F_{ısıtıcı}$: Hava ısıtıcı kalite faktörü (Carnot Faktörü)
 F_{oda} : Oda havası kalite faktörü (Carnot Faktörü)
 F_{Sol} : Güneş fraksiyonu
 F_w : KSS kesir üretim kaynağı
 n_o : İnsanların sayısı
 $P_{a, fos}$: Yardımcı fosil ekserji talep
 P_{yar} : Yardımcı enerji depolama
 p_L : Spesifik aydınlatma gücü
 P_L : Aydınlatma gücü
 $P_{L, fos}$: Aydınlatma fosil enerji talebi
 P_i : İşletme enerji yükü
 P_p : İşletme birincil enerji yükü
 p_v : Spesifik havalandırma gücü
 P_v : Havalandırma gücü
 $P_{H, fos}$: Fosil havalandırma enerji talebi
 Φ_d : Enerji yük dağılımı
 Φ_{dm} : Ekserji yük dağılımı
 Φ_{KSS} : Kullanım Sıcak Suyu Enerji Yüğü

$\Phi_{\ddot{u}}$	: Gerekli enerji üretimi
Φ_{hav}	: Havalandırma ısı kaybı
Φ_H	: Isı talebi
$\Phi''_{\ddot{o}}$	: Özgül ısı talebi
Φ_i	: İç ısı kazançları
$\Phi''_{iç}$	: Ekipmanlardan oluşan spesifik iç kazançlar
Φ_{in}	: İnsanlardan oluşan iç kazançlar
Φ_{ikd}	: Isı kaybı dağılımı
Φ_{em}	: Emisyon ısı kaybı
$\Phi_{ısı}$	: Sistemin ısı kaybı
$\Phi_{Is,prim}$	: Birincil kaynaktan olan ısı kaybı
Φ_{dp}	: Enerji yükü depolama
Φ_{gn}	: Güneş ısı kazançları
$\eta_{G,w}$	: KSS verimlilik
η_{st}	: Verimlilik depolama
η_v	: Isı değıştergici verimliliğı
T_{ref}	: Dış hava sıcaklığı = referans sıcaklığı
$\theta_{ısı}$	: Isıtma sıcaklığı
θ_i	: Kapalı ortam hava sıcaklığı
$\theta_{S1,max}$	: Maksimum tedarik sıcaklık kaynağı 1
$\theta_{S2,max}$	: Maksimum tedarik sıcaklık kaynağı 2
ρ	: Yoğunluk

KISALTMALAR

BG	: Baca gazı
CH	: Chiller
E	: Eşanjör
EKS	: Eşanjör kullanım suyu
FC	: Fan-coil
Hepa	: Yüksek Verimli Partikül Hava Filtresi (High Efficiency Particulate Air Filter)
KÇ	: Kazan çıkış
KG	: Kazan giriş
KH	: Kontrol hacim
KS	: Klima santrali
KSS	: Kullanım sıcak suyu
KY	: Kazan yüzeyi
TBM	: Tersiyer bütıl merkattan
THT	: Tetra hidro teofen
VRF	: Değişken debili soğutucu akışkan (Variable Refrigerant Flow)

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada enerji tüketimi, teknoloji ve nüfus artışına bağlı olarak artmaktadır. Buna karşı enerjinin temini ve ulaştırılmasındaki problemler, enerji tüketiminin çevresel etkileri ve fosil kaynakların tükenmekte oluşu, enerjinin verimli kullanılmasını gerektirmektedir. Ülkemizde toplam enerjinin % 3'ü tüketimi konut ve hizmet binalarında kullanılmaktadır. Bu durum, ulaştırma, endüstri, tarım gibi diğer sektörler ile karşılaştırıldığında önemli bir yer tutmaktadır. Konut ve hizmet binaları için enerji kaybının büyük bir kısmı ısı kayıplarından kaynaklanmaktadır ve ülke ekonomisini doğrudan etkilemektedir [1]. Özellikle, enerji ihtiyacını enerji ithal ederek karşılayan ülkelerde, bu açıdan bakıldığında düşük enerji tüketen sistemler büyük önem taşımaktadır. Günümüzde sınırlı doğal kaynaklardan elde edilen enerjinin giderek artan tüketim karşısında, daha da kıymetli hale geldiği göz önüne alındığında, sistemlerin hem daha ucuz hem de daha verimli tasarlanması gerekmektedir. Enerji sistemlerinin tersinmezlikleri incelenip kayıpların hesaplanması gerekmektedir. Termodinamiğin I. yasasına göre, göz ardı edilen bu tersinmezlikler ve miktarları Termodinamiğin II. yasası ile belirlenir. Tersinmezliklerden doğan kullanılabilir enerji (ekserji) kaybını azaltmaya yönelik değişiklikler sistem maliyetini arttırsa da enerji giderlerini azaltır [2].

Ekserji analizi, bir sistemin enerji analizinden farklıdır. Ekserji analizinin sonuçları, genellikle, bir sistemdeki prosesin daha fazla iş yapabilme potansiyelini ortaya koyar. Bu yüzden, ekserji analizi, bu çalışmada ele alınan sistemlerin analizinde önemli bir yöntemdir. Çünkü, ekserji analizi, mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemleri tasarlamının mümkün olup olmayacağını açığa kavuşturacaktır.

Termodinamik bakış açısından ekserji; bir referans çevreyle denge haline gelirken, bir sistem, madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanır. Ekserji, referans çevreye göre tamamen kararlı dengede olmamanın sonucu olarak, değişime neden olan akış ya da sistemin potansiyelinin bir ölçüsüdür. Ekserji daha çok, gerçek proseslerdeki tersinmezlikler nedeniyle, tüketilir ya da yok edilir. Bir proses boyunca ekserji tüketimi, prosesle ilişkili tersinmezlikler nedeniyle ortaya çıkan entropi ile orantılıdır [3]. Bir başka ifadeyle ekserji, bir sistemin sahip olduğu kullanılabilir iş potansiyelidir.

Bir sistemin herhangi bir termodinamik yasaya aykırı olmaksızın sağlayabileceği maksimum işi ifade eder. Enerjinin sadece bir bölümü işe çevrilebilir. Toplam enerjinin kullanılabilen kısmı ekserjidir [4].

Binalarda enerji verimliliği ile ilgili ve düzeltilmemesi halinde gelecekteki sürdürülebilir gelişmeyi ciddi biçimde engelleyebilecek iki önemli yanlış anlayış bulunmaktadır. Birincisi, bina tasarımında bütünsel bir anlayış eksikliğidir. Ülkemizdeki geleneksel yaklaşım, sistemi bir bütün olarak ele almak yerine (bütünü oluşturan alt sistemler arasındaki ilişkiler ve bağımlılıklar dikkate alınmaksızın) alt sistemler (mimari, mekanik tesisat, elektrik) üzerinde odaklanmaktadır. Bu süreçte entropinin etkileri dikkate alınmadan sadece enerji ihtiyacının hesaplanması ile bir takım sonuçlara varılmaktadır. Örneğin, bina tasarımı ısıtmada sadece enerji tasarrufu sağlamak gibi bir önyargıya dayanmaktadır. Bu husus geçmişte doğru kabul edilebilirdi; çünkü en azından yılın bir bölümünde havaların soğuk olduğu dönemlerde insanların iklimsel olarak yenmesi gereken güçlük, makul bir sıcaklıktaki iç mahallerin oluşturulmasıydı. Ancak bugün artık modern binaların çok daha incelikli ve ayrıntılı düşünmeyi gerektirmesi gerçeğine rağmen geleneksel durum bugün de bina tasarımında ısıtma enerjisi ağırlıklı düşünmeye neden olabilmektedir. Yinelemek gerekirse modern binalar ısıtılmayı gerektirmelerinin yanı sıra, havalandırmayı, yapay aydınlatmayı ve giderek artan biçimde soğutmayı da gerektirmektedir. Bu durumda modern bir ofis binasındaki ısıtma gereksinimi, binanın toplam enerji talebi içerisinde sadece belirli bir yüzdeyi kapsamaktadır. Bütüncül yaklaşım eksikliğine diğer bir örnek de işletim sırasında enerji tasarrufu için kullanılan önlemlerin üretiminde gerekli gömülü ısı depolamayı dikkate almaksızın enerji talebine vurgu yapılmasıdır. İkincisi, “enerji verimliliği” teriminin “enerji talebi” ve “enerji tüketimi” ile karıştırılması veya bu terimlerin yerine kullanılabilmesidir. Yani düşük enerji tüketimi, çoğu zaman ve yanlış olarak, enerji verimliliğinin yüksekliği ile eşdeğerde tutulmaktadır. Bunun sonucu olarak, uygulamada enerji talebinin minimize edilmesi için çaba harcanırken, gerçek enerji verimliliğinin yüksek kılınmasına daha az çaba harcanmaktadır. Gerçekte enerji verimliliğinin maksimize edilmesi sadece enerji tüketiminin minimize edilmesinden daha büyük bir durumdur. Yani verim ve performansı ifade etmekte olup, çıktılar ile girdiler arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir [5].

Buradaki önemli hususlardan birisi de “tütilen” enerjinin sonucunda elde edilen yararın kalitesidir. Binaların ısı performansları bağlamında enerji verimliliği iç mahal çevresinin kalitesi ile enerji talebi arasındaki ilişki olarak anlaşılmalıdır.

1.1.2011 tarihinden itibaren yeni binalara “Enerji Kimlik Belgesi” verilmesini öngören “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” de dahil olmak üzere, binaların enerji verimliliğini düzenleyici araçlar ne yazık ki enerji-ekserji verimi ile değil, sadece enerji talebinin azaltılması ile ilgilidir.

Enerji verimliliği, iç çevrenin kalitesi ile bu çevreyi korumak için gerekli enerji miktarı arasındaki ilişki olarak değerlendirilmelidir. Çünkü yapılan araştırmalar, düşük enerji tüketiminin yüksek enerji verimi ile eşdeğerde olmadığını göstermiştir [6-8].

Günümüzde, binaların ısıtma ve soğutma yükleri, TS 825’de ısıtma olarak ele alındığı gibi, enerji dengeliği dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Enerji balansı, bilindiği gibi, Termodinamiğin birinci yasasına dayanmaktadır. Ele alınan bina ısıtma/soğutma sistemlerindeki enerji akışlarını daha iyi anlayabilmek için, enerjiye ilaveten ekserji konsepti de kullanılmalıdır. Enerji tüketilemez; ancak ekserji belli bir büyüklüğe kadar tüketildiğinden ve bunun minimize edilmesi gerektiğinden, ekserji, binanın enerji talebinin optimize edilmesi için en önemli araç olmaktadır. Balta ve arkadaşları 351 m³ hacimli ve 117 m² net taban alanı olan bir binanın 20°C ve 0°C, sırasıyla iç ve dış hava sıcaklıkları ile ilgili bir araştırma çalışması yapmışlardır. Isıtma uygulamalarını dört seçenek ile incelenmişlerdir. Bunlar, (I) bir ısı pompası, (II) yoğuşmalı kombi, (III) geleneksel kazan ve (IV) yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları tarafından yürütülen bir güneş kolektörüdür. Bu uygulamaların enerji ve ekserji analizi performanslarını değerlendirmek için enerji ve ekserji verimliliği ve sürdürülebilirlik endeksi ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu dört olgu için sürdürülebilirlik indeks değerleri sırasıyla 1.039, 1.034, 1.030 ve 1.144 olarak hesaplanmıştır [9].

Schmidt [10], enerji kullanımının süreçlerinin tüm önemli yönleriyle tam bir anlayış kazanıyor olması için, yetersiz enerji tasarrufu ve enerji kavramını tek başına birincil enerjiye dayalı olarak, analizler ve örneklerle göstermiştir. Bina tasarımı optimize edilmiş bir ekserjiye ulaşmak için, bina servis sistemi üzerindeki yük mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Önerilen kıyaslama yöntemi bu bina sistem konfigürasyonları bir mühendislik yaklaşımı verir.

Çalışkan ve Hepbaşlı [11] bir buz pateni pisti için enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Kapalı tip olması ve Türkiye’de bulunan 648 m² net alanda, bir buz pateni pisti inşası değerlendirilmiştir. Buz pateni pisti alanının kapasitesine bağlı olarak, soğutma sisteminde soğutucu iki tip gaz R-134A ve R-744 (CO₂) kullanılmıştır. Sistem ekserji verimliliği üzerinde değişik referans sıcaklıkların etkisi araştırılmış ve ekserji analizi,

Lowex yaklaşıma dayandırılmıştır. Ekserji oranı 227.45 kW iken toplam ekserji, 253.66 kW olarak hesaplanmıştır. Minimum ve maksimum ekserji verim değerleri sırasıyla 10°C ve -10°C referans sıcaklıklar için % 1.72 ve % 19.05 bulunmuştur.

Balta vd [12] bir jeotermal ısıtılmalı binanın ekserji performans değerlendirmesi üzerinde çalışmışlardır. İç ve dış hava sıcaklıkları sırasıyla 20°C ve 0°C iken analizde kullanılan bina, 1147.03 m³ hacimli ve 95,59 m² net taban alanına sahiptir. Sistem basıncı 6.8 bar, sıcaklık 122 °C ve kütleli debisi 54.73 kg/s olan sistem üç bölgeden beslenmiştir. Bunlar arasında, bölge besleme giriş ve dönüş basıncı sırasıyla 4.6 - 3 bar ve 80 - 60°C sıcaklık değerlerine sahiptir. Enerji ve ekserji akışı ölçülmüş ve genel sistem içinde ekserji tahribatları incelenmiştir. Sisteme toplam ekserji girdi oranı 3.85 kW birincil enerji dönüşümü 9.92 kW olarak bulunmuştur.

Türküzü vd [13], çumra şeker fabrikasının enerji verimliliğinin ekserji analiziyle değerlendirilmesini yapmışlardır. Bu çalışmada, Çumra Şeker Fabrikası şeker üretim süreci sürekli akışlı açık sistem olarak kabul edilerek ve 2006/2007 yılının işletme verileri kullanılarak termodinamiğin ikinci kanununa göre analiz edilmiştir. Sürece ait enerji ve ekserji sonuçları kullanılarak termodinamiğin I. Kanun ve II. Kanun verimleri hesaplanmış ve % 70.77 olarak bulunmuştur. Giren ve çıkan ürünlerin ekserji değerleri kullanılarak Grassman diyagramı çizilmiştir. Çalışmanın neticesinde sistemdeki önemli kayıplar sayısal olarak ortaya konmuş ve enerji tasarrufu yapılabilecek yerler tespit edilmiştir.

Pak ve Suzuki [14], çalışmalarında bölge ısıtılması ve soğutulmasında kullanılan gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinin ekserjetik değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışmada iki farklı gaz türbini ele alınmıştır. Bunlardan birincisi ikili akışkan çevrimi, ikincisi ise kombine çevrimidir. Çalışmada modelleme yapılarak; yüksek ısı sağlanması istenildiğinde ikili akışkan çevriminin ekserjetik veriminin yüksel olduğu sonuçlarına varılmıştır. Bunun yanında ikili akışkan ekserji verimi, maksimum ısı sağlandığında kombine çevrimden daha yüksek, minimum ısı sağlandığında ise kombine çevrimin ekserji verimi ikili akışkan çevrimine göre daha yüksek değerdedir. Çalışmada ayrıca ısı ihtiyacının bilinmesi durumunda bölge ısıtılmasında ne tip bir kojenerasyon sisteminin kullanılabileceğinin kriterleri ortaya konulmuştur.

Kwak vd [15] yaptıkları çalışmada 500 MW (Megawatt) gücünde birleşik çevrimli bir santralin ekserjik ve termodinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Sisteme ait her bir eleman ve genel olarak sistemin ekserji ve ekserjetik maliyet analizi yapılmıştır. Eksergo ekonomik model, sistemin yapısındaki elemanların maliyeti ve üretim kalitesinin

bağıntısını ortaya koymaktadır. Çalışmada ayrıca bilgisayar programı geliştirerek sisteme ait üretim maliyetleri ve bunun yanında termodinamik performansı incelenmiştir.

Çengel vd [16], çalışmalarında karıştırma işleminin tersinmez bir işlem olduğunu belirterek proses içinde ekserji kayıplarının ortaya konması gerektiğini bildirmişlerdir. Yapılan çalışmada bu tarz sistemlerin geniş bir alanda kullanıldığı fakat kullanılabilirlik ve ekserji olarak çok fazla avantajlı olmadığı görülmüştür. Bazı karışım prosesleri incelenerek sistemlerin büyümesinin ekserji kayıpları bakımından nasıl sonuçlar doğurabileceği gözlemlenmiştir. Artık enerji potansiyelinin önüne geçebilmek için sistemlerin ayrı olarak çalıştırılması gerektiği tespit edilmiştir. Ayrıca birleştirilecek sistemlerin benzer sıcaklık, basınç ve yapı özelliklerine sahip olması gerektiği belirtilmiştir.

Ekin ve Çerçi [17], tipik bir 250 lt 'lik soğutucuda, bileşen düzeyindeki kayıpları ölçmek ve her bir elemanın potansiyel verimliliğini belirlemek için, kararlı halde alınan deneysel veriler altında termodinamiğin birinci ve ikinci yasası uygulamışlardır. Buzdolabı sıcaklık, basınç, debi ve güç tüketimini ölçmek için soğutma çevriminin önemli noktalarında veri toplayıcılarla donatılmış ve standart test odasında çalıştırılmıştır. Elde edilen verilere dayandırılarak soğutucunun, entalpi ve entropi gibi bazı önemli özellikleri belirlenmiştir. Analiz göstermiştir ki birinci yasa verimliliği normal sınırlar içinde olmasına rağmen (gerçekte, kompresörün teknik özelliklerinde verilen 1.3 değerine oldukça yakındır.) öteki soğutucularla karşılaştırıldığında %21.07 olan ikinci yasa verimi düşüktür. Ekserji yok oluşlarının en önemli kaynağı soğutucu ve ortam arasındaki sonlu sıcaklık farklarından ötürü gerçekleşen ısı transferleridir.

Rosen ve Dinçer [18] çalışmalarında kömür yakıtlı, sıvı yakıtlı ve nükleer, elektrik üretim sistemlerinin birim maliyetleri ve termodinamik kayıpları arasındaki ilişkiyi ele almışlardır. Termodinamik kayıp oranlarının birim maliyet oranıyla olan ilişkisini, hem sistemin tek tek elemanları hem de santralin genel ekserji kaybını inceleyerek ortaya koymuşlardır. Yapılan bu incelemeler hem sistemin elemanlarının hem de santralin iyileştirilmesinde yol gösterici olmaktadır. Sonuçlar ise hem genel anlamda hem de elektrik güç sistemlerinde termodinamik ve ekonomik analizler arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu analizler sistem iyileştirmelerinde büyük rol oynamaktadır.

Dincer ve Al-Muslim [19] rankine çevrimli buhar-güç santralinin termodinamik analizini yapmış olup, birinci ve ikinci kanun analizlerini incelemiştir. Çalışmada enerji ve ekserji verimlilikleri değişik sistem parametreleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu parametreler; kazan sıcaklığı, kazan basıncı, kütleli debi ve çıkış değerleri olarak ele

alınmıştır. Kazan sıcaklık ve basınç değerleri 400-500°C ve 10-15 MPa değerleri arasında seçilmiştir. Bu değerler seçilirken gerçek çalışmada şartları göz önünde bulundurmıştır. Hesaplanan enerji ve ekserji verimlilikleri gerçek veriler ve diğer literatür çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır ve uygunluğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçları olarak sistem optimizasyonunda ekserji analizinin iyi bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Fiaschi ve Manfrida [20] birleşik yarı kapalı gaz türbininin ekserji analizini yapmışlardır sistemin en çok ekserji kaybının nerelerde olduğunu tespiti için sistem elemanlarının tek tek analizi yapılmıştır. Analizler ayrıca sistemin farklı çalışmada koşulları için de tekrarlanmıştır. Çalışmada, yanma, ısı geri kazanım jeneratörü ile su karıştırma ve su geri kazanım sistemlerinin ekserji kaybı bakımından en yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bu sistemler genel santral ekserji kayıplarında yaklaşık %80 gibi büyük bir paya sahiptir. Sistemin ikinci kanun verimin %49 ile %53 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Sistemde ayrıca yoğunlaştırıcı ve ısı değiştirici gibi bazı kritik elemanların, çalışma parametrelerine bağlı olarak sistemin genel performansını etkilediği görülmüştür.

Hepbaşlı [21], ekserji analizi, sürdürülebilir kalkınmanın elde edilmesi için güçlü bir araçtır ve son yıllarda, ısı sistemlerin tasarımı, simülasyonu ve performansının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemiz de, enerji yönetim sistemlerinin kurulduğu ve uygulandığı işletme sayısının oldukça az olduğu bir süreçte, burada ele alınan ekserji yönetimi yaklaşımı, lüks olarak görülebilir. Ancak, gelişmekte olan ülkelerde, ekserjetik değerlendirmeler üzerine yürütülen çalışmalar önemli ölçüde artmaktadır. Çalışmada, "ekserji yöneticisi" ve "ekserji yönetimi" ele alınırken, ekserji yönetimi sistemlerini kurmanın yararları anlatılmıştır.

Bu çalışmada, ülkemizin üçüncü ısı bölgesinde Elazığ ili sınırları içerisinde bulunan Hayat Damla Hastanesi'nin enerji ve ekserji analizi yapılmış ve mevcut duruma göre karşılaştırılması sunulmuştur. Literatür çalışmalarına bakıldığında düşük ekserji metodu kullanılarak özellikle sağlık binaları için herhangi bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışmanın binaların ısı tasarımına katkıları olacağı düşünülmektedir.

1.2. Isı Yalıtımı

Isı yalıtımı doğru uygulandığında, iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıınım (radyasyon) yoluyla gerçekleşen istenmeyen ısı kayıplarını engelleyen malzeme ya da malzemeler kombinasyonudur. Isı yalıtım malzemeleri, çevreden binalara veya

binalardan çevreye olan ısı transferini yüksek ısıl direnç özellikleri sayesinde azaltırlar [22]. Isı yalıtım malzemeleri, içerdikleri sayısız mikroskobik kapalı hava hücresinin (bünyelerindeki havanın hareket etmesine izin vermeyerek) taşınım ile olan ısı transferini engellemesi sonucu, ısı akısına direnç gösterirler. Isıl direnci gösteren, yalıtım malzemesi değil yalıtım malzemesinin bünyesinde bulunan hava hücreleridir [22]. Küçük hücre boyutuna sahip (kapalı hücre yapısına sahip) ısı yalıtım malzemeleri aynı zamanda, radyasyon etkisini de azaltır. Bunun yanında ısı yalıtım malzemesindeki hücre boyutunun küçülerek yoğunluğun artması genellikle iletim ile olan ısı transferini artırır. Tipik olarak, ölü hava hücreli ısı yalıtım malzemeleri durgun havanın gösterdiği ısıl direnci aşamazlar. Ancak polistiren ve poliüretan gibi plastik köpüklü ısı yalıtım malzemeleri, yalıtım hücrelerinde hava yerine florokarbon gazları içerdikleri için durgun havaya göre daha yüksek ısıl dirençler gösterirler [22]. Isı iletkenlik katsayısı, k değeri, bir malzemenin birbirine paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark 1 K olduğunda, birim zamanda birim alan ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan geçen ısı miktarıdır ve $W/m\cdot K$ şeklinde ifade edilir.

Bir ısı yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değerinin bilinmesi, o malzemenin farklı ısı yalıtım malzemeleriyle karşılaştırılmasına olanak sağlar. Isıl geçirgenlik direnci, R değeri, iletim, taşınım ve radyasyon yoluyla gerçekleşen ısı akısına olan direncin bir ölçüsüdür ve malzemenin ısı iletkenlik değerinin, kalınlığının ve yoğunluğunun bir fonksiyonudur ve m^2K/W şeklinde ifade edilir.

1.2.1. Isı Yalıtımının Faydaları

Binalarda ısı yalıtımının faydalarından bazıları aşağıdaki gibidir [23];

- Uygun yalıtım malzemesinin seçilmesi ve doğru bir şekilde uygulanması sonucunda, yangın sırasında, alevlerin hızla yayılması engellenir.
- Yüksek sıcaklık değişiklikleri, binanın yapısına zarar verebilecek istenmeyen termal hareketlere sebep olabilir. Binayı düşük sıcaklık dalgalanmalarında tutmak, yapı bütünlüğünün korunmasına yardımcı olur. Bu durum, bina yapı ömrünü uzatan doğru ısı yalıtımının uygulanmasıyla sağlanabilir,
- Isı yalıtımının uygulanması sadece işletme enerjisi maliyetlerini azaltmaz; aynı zamanda atmosfere salınan kirleticilerin de azalmasını sağlar,

- Isı yalıtımı sayesinde ısı kayıpları azaltılarak enerji korunmuş olunur, böylece doğal kaynaklar korunmuş olur,
- Isı yalıtımı mevsimler arası geçişte evlerimizin ısı konfor periyodunu sağlar,
- Isı yalıtımı, komşu hacimlerden ya da dışarıdan gelebilecek olan rahatsız edici gürültüden ortamı korur ve binada akustik konfor sağlar,
- Enerji tüketimi bir işletme masrafıdır. Küçük yatırımlı ısı yalıtım uygulamalarıyla büyük oranlarda enerji tasarrufu elde edilebilir (binanın yapı maliyetinin sadece yaklaşık %5'i kadar bir yatırımla).
- Isı yalıtımı sadece işletme maliyetinin azalmasını sağlamaz aynı zamanda sistem boyutları küçüleceğinden HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri de düşer.

1.3. Termodinamiğin Birinci ve İkinci Kanunu

Termodinamiğin birinci yasasına göre enerji yoktan var edilemez, var olan enerjide yok edilemez. Sadece bir türden diğer türe dönüşebilir. Yani toplam enerji sabittir [24].

Termodinamiğin ikinci kanunu enerjinin miktarının yanında kalitesini de ön plana çıkarır ve bir enerji kaynağının maksimum iş yapabilme potansiyeli üzerinde durur. Termodinamiğin ikinci kanunun ortaya çıkardığı en önemli kavramlar tersinmezlik ve entropidir. Bir hal değişimi sırasında enerjinin niteliğinin azalması, entropi üretimi ve iş yapma olanağının değerlendirilememesi bu yasanın inceleme alanı içindedir [24].

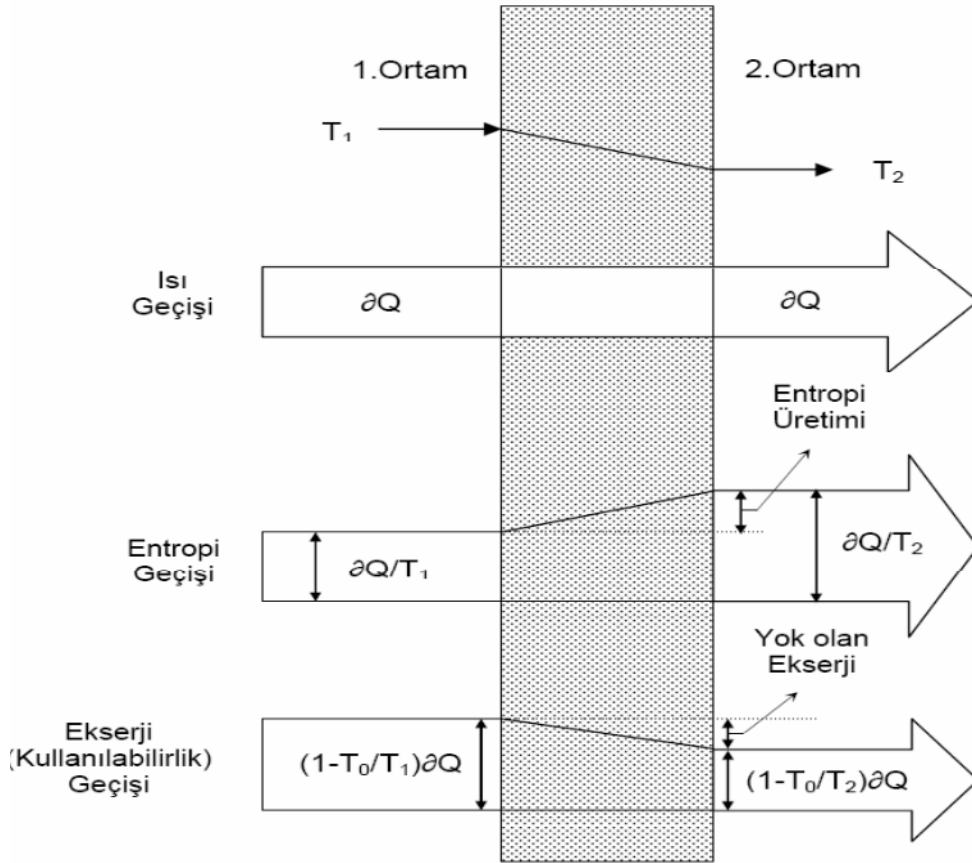
1.3.1. Tersinmezlikler

Bazı enerji çeşitleri kayıpsız olarak ısıya dönüştürülebilirken, ısı enerjisinin mekanik enerjiye kayıpsız olarak dönüştürülmesi olanaksızdır. Kayıpsız olarak enerji dönüşümü tersinir süreç olarak adlandırılmıştır. 19. Yüzyılda Lord Kelvin, Carnot ve Clausius, yaptıkları çalışmalarda, ısı enerjisiyle çalışan makineler de enerji alış-verişinin termodinamik esasları ortaya koymuşlardır. Bu esaslar, enerjinin değişik türleri arasındaki dönüşümler sırasında bazı düzensizlikler olduğunu göstermiştir. Enerji dönüşümleri sırasında ortaya çıkan düzensizlikler, termodinamiğin ikinci yasasının temelini oluşturmuştur. Bu yasaya göre enerji dönüşümü sırasında oluşan düzensizliklere tersinmezlik adı verilmiştir.

Tersinmezliklere neden olan birçok etken vardır, bu etkenler;

- Kimyasal reaksiyonlar,
- Sürtünme,
- Isı transferi
- Direnç içerisindeki elektrik akımı,
- Gazların ve sıvıların basınç farkıyla genişlemesi,
- Farklı kimyasal potansiyellere sahip maddelerin karışması,

Bu etkilerden herhangi birinin olması durumunda süreç tersinmez olur [25]. Birinci ortamdan (sıcaklığın yüksek olduğu ortam) ikinci ortama (sıcaklığın düşük olduğu ortam) ısı geçişi geçişi ile birlikte entropi ve ekserji geçişi olur. Ancak Şekil 1.1’de de gösterildiği gibi ısı geçişi sırasında entropi artmakta ekserji ise düşmektedir.



Şekil 1.1. Sonlu sıcaklık farkında; sıcaklık, ısı, entropi ve ekserji geçişi [25].

1.4. Ekserji Kavramı

Çevre sıcaklığında çalışan enerji sistemleri için, “kullanılabilir enerji” olarak da bilinen ekserjiyi, enerjinin faydalı kısmı olarak düşünebiliriz. Yani enerjinin faydalı kısmı, enerjinin başka enerji formuna dönüştürülebilen kısmıdır. Bir madde ya da bir enerji akışına bağlı ekserji, baca gazı, soğutma suyu ve ısı kaybı şeklinde çevreye atılır. Hem entropi yıkımı hem de ekserji kaybı, termodinamiğin ikinci kanun analizi de denilen ekserji analizinden hesaplanır. Kompleks termodinamik sistemlerin optimizasyonunda, termodinamiğin ikinci kanunun çok güçlü bir araç olduğunu kanıtlamıştır.

İkinci kanunun ışığında mühendislik aygıtlarının performanslarının belirlenmesi için, kullanılabilirlik, tersinir iş, tersinmezlik ve ikinci kanun veriminin tanımlanmaları ile işe başlanmıştır. Kullanılabilirlik, verilen bir durumdaki sistemden elde edilebilen maksimum faydalı iş miktarıdır. Tersinir iş ise, belirli iki durum arasında bir işlem geçiren sistemden elde edilebilen maksimum faydalı iştir. Ayrıca tersinmezlik, bir işlem sırasında kaybedilen iş potansiyelidir ve bu kayıp ekserji, tersinmezliklerin sonucu olarak oluşur. Başka bir deyişle, kaynaktan var olan enerjinin ne kadarının faydalı işe dönüştürülebileceği bilinmesi gerekir [26].

1.4.1. Kullanılan (Ekserji) ve Kullanılmayan (Anerji) Enerji

Kullandığımız enerjinin tümü önce çevreye oradan da uzaya iletilir ve insanlar tarafından tekrar kullanılamaz şekle dönüşür. Dolayısıyla enerjinin tüketilmesinden sık sık söz edilir. Gerçekte tüketilen enerji değil, enerjinin insanlar için faydalı iş potansiyelidir. Diğer bir deyişle enerjinin miktarı sabit kalır, fakat bu enerjiden verilmiş bir ortamda elde edilebilecek maksimum işin miktarı her dönüşümde ve sistemden sisteme aktarışta azalır. Sonuçta sıfır olur. Sistemin çevre ile dengede bulunduğu (basıncın P_0 çevre basıncı, sıcaklığının T_0 çevre sıcaklığı, kinetik enerjisinin minimum olduğu ve sistemin çevre konsantrasyonunda bulunduğu) hiç iş elde edilmeyecek hale; ölü hal denir. Sistemin verilen bir halden ölü hale geçinceye kadar bütün işlemlerin tersinir bir şekilde gerçekleştirildiği ve çevre ile ısı alışverişinin olmadığı bir hal değişiminde sistemden alınan maksimum faydalı işe sistemin kullanılabilir enerjisi denir.

Bir başka ifadeyle, enerji türlerine tamamen dönüşebilen enerjiye ekserji denir [25-26].

$$\text{ENERJİ} = \text{EKSERJİ} + \text{ANERJİ}$$

- Ekserji, enerjiye veya ekserji, anerjiye dönüşebilir. Ancak durum değişimlerine katılan sistemlerin ekserji ve anerjileri toplamı bütün süreçlerde sabit kalır.
- Bütün tersinir durum değişimlerinde ekserji sabit kalır.
- Bütün tersinmez durum değişimlerinde ekserji kısmen veya tamamen anerjiye dönüşür.
- Anerji asla ekserjiye dönüşmez. Bu tariflerden anerjinin devamlı olarak arttığı, ekserjinin devamlı azaldığı görülür.

1.4.2. İkinci Yasa ve Ekserji Analizi

Termodinamiğin ikinci yasası, enerjinin kalitesi olduğunu ve gerçek hal değişimlerinin enerji kalitesinin azalması yönünde olacağını ifade eder. Yani bir ısı kaynağından ısı çekip buna eşit miktarda iş yapan ve başka hiçbir sonucu olmayan bir döngü elde etmek imkânsızdır ya da verim asla bir den büyük olamaz.

- Enerjinin kalitesini veya iş yapma potansiyelini sayısal olarak ifade etme çabaları ekserji adı verilen bir özelliğin tanımlanmasını sağlamıştır.
- Ekserji, enerjinin işe çevrilebilme potansiyeli olarak tanımlanır ve bir kaynaktan elde edilebilecek maksimum işi ifade eder.
- Bir hal değişimi sırasında kaybedilen iş potansiyeli tersinmezlik veya ekserji kaybı olarak tanımlanır.
- Bir hal değişimi sırasında ekserji kayıpları ne kadar az ise üretilen iş o kadar fazladır veya tüketilen iş o kadar azdır.
- Bir sistemin performansı ekserji kayıplarının en aza indirgenmesi yoluyla maksimize edilebilir.
- Ekserji analizi, ikinci yasaya dayanan bir termodinamik analiz olup enerji sistemlerini ve hal değişimlerini gerçekçi ve anlamlı biçimde değerlendirmeyi ve karşılaştırmayı sağlar.
- Ekserji analizi sonuçları sistem performansının iyileştirilmesinde ve daha iyi tasarımların yapılmasında kullanılır.

- Ekserji analizi ile bulunan ekserji veya ikinci yasa verimleri gerçek sistem performansını maksimum performansla karşılaştırırken, ekserji analizi yardımıyla termodinamik kayıpların yerleri, miktarları ve nedenleri bulunabilir [26-27].

1.4.3. İkinci Yasa ve Ekserjinin Kullanıldığı Alanlar

- İşlemlerin yönü tayin edilebilir.
- İkinci yasa enerjinin miktarı kadar kalitesi olduğunu da ifade eder. Birinci yasa enerjinin miktarıyla ilgilidir ve enerjinin bir halden diğerine dönüşümüyle ilgilenirken enerjinin kalitesiyle ilgilenmez.
- İkinci yasa ile enerjinin kalitesi sayısal olarak ifade edilirken işlemler sırasında enerjinin kalitesindeki azalmayı bulmamızı sağlar.
- İkinci yasa ile yaygın olarak kullanılan mühendislik sistemlerinin teorik üst limit performansı bulunur.
- Ekserji verimi ile gerçek performansın ideal performansa ne kadar yakınlığı ve termodinamik kayıpların miktar, neden ve yerleri bulunur.
- Ekserji analizi sistemlerin tasarım, optimizasyon ve geliştirilmesinde kullanılır [26-27].

1.4.4. Ekserjinin Önemli Boyutları

Ekserji kavramının en önemli boyutlarını maddeler halinde ifade edecek olursak

- Ekserji, sistem ve çevrenin bir anda oluşturduğu kombine çevrimden elde edilebilen maksimum teorik iştir. Buradaki sistem, verilen bir durumdan çevre ile denge durumu olan ölü duruma geçer. Ölü durumda kombine sistem enerjiye sahiptir ancak ekserjiye sahip değildir.
- Sistemin tüm durumları için ekserji, sıfıra eşit ya da sıfırdan büyüktür.
- Değeri sistem durumu ile belirli olduğundan ekserji, ekstentif (yaygın) özelliktir ve burada bahsi geçen çevre daha önceden belirlenmiş olmalıdır. Ekserji, birim kütle ya da birim mol başına göre yazıldığında intensif (yoğun) özellik olarak temsil edilebilir.

- Ekserji, sistem durumunun çevresel durumundan uzaklaşma ölçüsüdür. Verilen bir durumdaki T sıcaklığı ile çevrenin T_o sıcaklığı arasındaki fark büyüdükçe ekserji değeri de buna bağlı olarak büyür.
- Çevreye göre göreceli olarak belirlendiğinden, sistemin kinetik ve potansiyel enerji büyüklerinin tamamı ekserji büyüklüğüne katılır.
- Ekserji, kimyasal ve termomekaniksel ekserjilerin toplamı şeklinde ifade edilir. Termomekaniksel ekserji, fiziksel, kinetik ve potansiyel ekserji şeklinde sınıflandırılır.
 - Ekserji, sistemler arasında transfer edilebilir ve sistemler içindeki tersinmezlikler yüzünden tahrip edilebilir. Bununla beraber ekserji, bir ekserji dengesi ile açıklanabilir [28-29].

1.5. Hijyenik Klima Sistemi

Daha öncede belirtildiği gibi bu çalışmada bir hastane binasının enerji ve ekserji analizi yapılmış ve mevcut duruma göre karşılaştırılması sunulmuştur. Dolayısıyla hastanelerde kullanılan iklimlendirme sistemlerinin ve sistem bileşenlerinin incelenmesi gerekmektedir.

1.5.1. Hastalıklardan Korunma Ve Tedavide İklimlendirme

Hastane iklimlendirmesi sadece konforu iyileştirmekten daha önemli bir rol oynar. Birçok durumda hastanın iyileşmesinde iklimlendirme faktör olurken, bazı durumlarda tedavi elemanıdır. Örneğin kalp hastaları, normal ısı kaybını sağlayacak bir dolaşıma sahip olmayabilirler. Kalp hastalıkları bölümüne veya özellikle dolaşım güclüğü çeken kalp hastası odalarına iklimlendirme uygulamak tedavinin bir gereğidir. Aynı şekilde sıcak ve kuru bir çevre de eklem romatizması hastalıklarında iklimlendirme oldukça başarılı olmuştur (32 °C ve % 35 bağıl nem) [30].

1.5.2. Hastane Kliması ve Konfor Kliması Arasındaki Farklar

Hastane klimalarında sıcaklık, nem, taze hava, parçacık ve mikroorganizma sayısı, hava hızı, hava dağılımı ve basınçlandırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu şartların tümünü birden sağlamak oldukça zor olup, dışarıdan alınan ve ortama verilen havanın filtrelenmiş ve mümkün olduğu kadar canlı ve cansız partiküllerden arındırılmış olması gerekmektedir. Konfor klimalarında ise kontrol edilmesi istenen parametrelerden sıcaklık, nem ve taze hava yeterlidir [31].

1.5.3. Hastane İklimlendirme Sistemlerinde Tasarım Parametreleri

1.5.3.1. Sıcaklık

Ortam sıcaklığının en büyük etkisi hastaların ve personelin konfor hissi üzerinde olmaktadır. Özellikle hijyenik ortamlarda koruyucu kıyafet giymiş ve belirli bir fiziksel faaliyet içerisinde bulunan hastane personelinin konsantrasyonu ve bunun sonucunda yapılmakta olan faaliyetin başarısı ortam sıcaklığına bağlıdır.

Hastanelerde ortam sıcaklığının belirlenmesinde konfor şartlarından daha büyük öneme sahip olan diğer bir unsur ise ortamda yapılmakta olan faaliyetlerdir. Örneğin ameliyathanelerin sıcaklıklarını belirlerken personelin konforundan ziyade yapılan ameliyatın çeşidi rol oynamaktadır.

Ortam sıcaklığı belirlenirken mikroorganizmaların üremesini etkileyecek ve hastanın bağışıklık sistemine olumsuz bir etkisi olmayacak şekilde şartların oluşturulması göz önünde bulundurulmalıdır [32-33].

1.5.3.2. Bağıl Nem Oranı

Ortamın bağıl nem oranı da konfor hissini büyük ölçüde etkilemekte olup ortam sıcaklığının düşük ve bağıl nemin yüksek olduğu durumlarda konfor hissi oldukça azalmaktadır. Bu durumda ortam sıcaklığı düşmekte ve oda içinde düşük sıcaklıklı ve yüksek nem oranı olan bir ortam meydana gelmektedir [33-34].

1.5.3.3. Parçacık ve Mikroorganizma Sayısı

Hastanelerde hijyenik ortamlar kapalı mahaller oldukları için havanın parçacıklarından arındırılmadan ortama verilmesi durumunda, ortamda parçacık sayısı sürekli artış gösterecektir ve buna bağlı olarak mikroorganizma miktarında da bir artış meydana gelecektir.

Filtreleme ile parçacık ve mikroorganizma sayısını kontrol altında tutmayı zorunlu hale getiren, gerek içeride olan gerekse taze hava ile ortama giren mikroorganizma taşıyan parçacıkların ortamdaki miktarlarının azaltılması için gereklidir. Bu sayede solunum yolları veya ameliyat bölgelerinden vücuda giren yaşayabilir mikroorganizmaların birikimini en aza indirmek amaçlanmaktadır [33-34].

1.5.3.4. Hava Hızı ve Hava Dağılımı

Üfleme havası hızı konfora etki etmesinin yanında, özellikle ameliyat bölgesi üzerinde kurumaya sebep verdiğiinden önemlidir. Ayrıca hava hızı türbülansa sebebiyet vermeyecek ve daha önce çökelmiş parçacık ve mikroorganizmaların yeniden yükselmesine neden olmayacak şekilde seçilmelidir.

Hava dağılımı hastane binası içerisinde sağlıklı bir ortam oluşturması açısından önemlidir. Hava dağılımını etkileyen en önemli faktör hava üfleme ve hava emiş menfezlerinin yerleri ve bunların türleridir. İstenilen temizlik sınıfı, içerideki cihazların yerleşim durumu, binanın inşa durumu ile klima santrallerinin yerleşimi ve en önemlisi bu işe ayrılabilir kaynak miktarı, hava dağılım sistem seçimini etkiler.

Genel olarak hava dağılımı laminar ve türbülanslı olmak üzere ikiye ayrılır. Laminer akışta hız çizgileri birbirine paralel ve hız yaklaşık olarak her yerde aynıdır. Türbülanslı akışa göre çok daha uygun bir yöntemdir. Türbülanslı akışta havadaki tanecikler yüzeye çok fazla çarpmakta ve buralarda birirmektedir. Bu yüzden türbülanslı akış olan ortamlarda çok daha fazla mikroorganizma birikir. Bu nedenle özellikle ameliyathane masaları üzerinde laminar akış sağlanması istenmektedir [34-35].

1.5.3.5. Türbülanslı Odalarda Hava Dağılımı

Genel olarak türbülanslı temiz odalarda, temiz hava tavandaki bir menfez yardımı sisteminden odaya girer ve döşemeye yakın duvar üzerindeki dönüş menfezlerinden odayı terk eder. Türbülanslı akışta, havadaki tanecikler etrafa yayılır ve bu durum hijyen açısından sakıncalıdır. Ayrıca düşük hızlarda taneciklerin çökerek oda içinde birikmesi söz konusu olacağı gibi yüksek hızlarda da birbirlerine çarparak büyümeleri söz konusudur [34-35].

1.5.3.6. Laminer Hava Akışlı Temiz Odalar

Düşey akışlı laminer sistemlerde, aşağı doğru olan akış hasta ile ameliyat ekibi arasında bir perde oluşturur. Böylece ameliyat odasının diğer bölgelerinden ameliyat ekibinin olduğu bölgeye doğru veya ameliyat ekibi ile hasta arasındaki kütle transferi engellenmektedir.

Laminer akış ünitesi; bağlantı kanalı, hepa filtre ve yuvası, plenum kutusu velaminizatörden oluşmaktadır. Kanaldan gelen hava hepa filtreden geçer daha sonra düzgün bir akış sağlanarak ortama verilir. Laminer akış ünitesi havanın son çıkış kısmı olduğundan sağlığa uygun yapı ve malzemeden olmalıdır.

ASHRAE, amerikan ısıtma, soğutma ve klima mühendisleri (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers), standartlarında laminer akışlı sistemlerde hava hızı 0.25-0.45 m/s arasında olması önerilir. Ancak yapılan çalışmalar sonucunda uzun süren ameliyatlarda ameliyat ekibinin rahatsız olmaması ve hava kalitesi açısından bu hızın 0.2-0.24 m/s civarlarında olması uygun görülmüştür [34-35].

1.5.3.7. Basınçlandırma

Hijyenik ortamların temiz kalabilmesi için çevresindeki daha az sağlıklı olan ya da sağlığa uygun olmayan mahallerden kirleticilerin hava yoluyla taşınmaması gerekmektedir. Pratikte uygulanan, ortamlar arası hava akışının en temiz mahalden en kirliye doğru yapılması şeklindedir. Buna pozitif basınç denilmekte ve ortamdan çekilen havanın ortama üflenmesi havadan daha az tutulmasıyla sağlanır.

Genelde ameliyathane ve yoğun bakım gibi birinci sınıf ortamlara pozitif basınç uygulanırken, bulaşıcı hastalıkların kontrol altında tutulduğu ve havanın dışarı yayılmasının istenmediği bölümlerde ise negatif basınç uygulanır.

1.5.3.8. Taze Hava ve Toplam Hava Değişim Sayıları

Ortamlarda iç hava kalitesinin korunabilmesi için hava değişim sayıları önem arz etmektedir. Ortama verilen taze hava ile ortamdaki iç hava kalitesinin oksijen yönünden korunmasının yanı sıra, kimyasal gaz konsantrasyonu ve parçacık miktarı azaltılmaktadır.

Ortamda yapılmakta olan aktivitelerin gerekliliğine ve ortamdaki kirleticilere bağlı olarak ortama sağlanan hava % 100 taze veya uygun şekilde filtrelenen sirkülasyon havası ile karıştırılmış taze hava olabilir [34-35].

1.5.3.9. Havanın Toplanış Şekli

Ameliyat odalarında havanın toplanışı iki şekilde yapılır.

1- Karşılık iki duvardan tabana yakın bir yerden

2- Karşılıklı duvardan 2/3'ü tabana yakın yerden, 1/3'ü tavana yakın yerden toplanır. Mümkünse karşılıklı duvardan dört noktadan 2/3'ü tabana yakın yerden, dört noktanın 1/3'ü tavana yakın yerden toplanması, ameliyat odasında optimum bir laminar akış oluşmasını sağlar [34-35].



Şekil 1.2. Ameliyathane İklimlendirilmesi

1.5.3.10. Hastanelerde Ameliyathane İklimlendirmesi

Yapılan çalışmalar, ameliyat sonrası hastaların enfeksiyona yakalanma riskinin ameliyathane ortamı ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Ameliyathanelerde parçacık ve mikroorganizma sayısı arttıkça, ameliyat sonrası enfeksiyona yakalanma riski de artış gösterir. Prensip olarak ameliyathanelerde parçacık ve mikroorganizma oluşumunu veya transferini engellemek mümkün değildir. Ameliyat ekibinin her hareketi ile binlerce parçacık ve mikroorganizma ortama yayılmakta veya ameliyathane odasına giren her kişi, cihaz ve alet ile partiküller ortamın içine transfer edilmektedir. Bu nedenle ameliyathanelerde parçacık ve mikroorganizma sayısının sınırlandırılması veya istenilen seviyelerde tutulması ancak ortama sürekli temiz havanın verilmesi ve ortamdan parçacık konsantrasyonu yüksek olan havanın alınması ile mümkün olmaktadır.

Ameliyathanelerde klima ve havalandırma sistemlerinin amacı yalnızca ortam konforunu sağlamak değil aynı zamanda ortamdaki parçacık ve mikroorganizma sayısını da istenilen seviyelerde tutmaktır.

Ameliyathane havalandırma sisteminin amaçlarını;

- Partikül ve mikroorganizma sayılarının mümkün olduğu kadar azaltılması
- Ameliyathane istenilen nem oranının sağlanması
- Ameliyathane ısı yüklerinin yenilmesi ve ortamın istenilen sıcaklıkta tutulması
- Ameliyathanede bulunan narkoz ve istenmeyen gazların konsantrasyonunun mümkün olduğunca düşürülebilmesi olarak sıralanabilir.

1.5.3.11. Ameliyathane Klima Santrallerinin Özellikleri

Ameliyathane klima ve havalandırma sistemlerinin amacı yalnızca ortam konforunu sağlamak değil, ortamdaki parçacık ve mikroorganizma sayısını da istenilen seviyelerde tutabilmektir.

Hijyenik klima santrallerinin en önemli özelliği temizlenebilir olmasıdır. Bu nedenle klima santrallerinin bütün elemanlarının teknik servis ekibince ulaşılabilir olması gerekmektedir. Özellikle serpantinler, filtreler ve vantilatörler kızıllı olup, dışarı çıkarılabilir şekilde olmalıdır.

Serpantinler üzerinde hava hızı mümkünse 2.5m/s'yi geçmemelidir. Bu hem serpantinlerin mümkün olduğu kadar ince tutulup kolay temizlenebilmesini hem devantilatörün az elektrik harcayıp işletme masraflarının düşük olmasını sağlar. Bunu yanında serpantin yüzeyindeki hızın düşük olması, mikroorganizmaların en fazla ürediği ortam olan damla tutucunun konulmasına gerek bırakmaz. Serpantin üzerinde mikrop tutmayan bir kaplamanın olması, serpantin üzerinde mikroorganizmaların oluşmasını en az seviyeye indirir.

Hijyenik klima elemanlarının korozyona dayanıklı olması gerekir. Pratikte, galvaniz saclar korozyona çok fazla dayanıklı olmadıklarından paslanmaz saclar kullanılmaktadır. Hijyenik klima santrallerinde kesinlikle iki kademe filtre kullanılmalıdır.

Hava kaçak oranı mümkün olduğunca az olmalıdır. Sistemin durması durumunda, partiküllerin santral içine girmesini engellemek için santral girişlerine motorlu damper konulmalıdır. Santral sifonlarından santral içerisine hava girmesi de önlenmelidir.

Santralin iç yüzeyleri düz olmalı, herhangi bir girinti ya da çıkıntı olmamalıdır. Girinti ve çıkıntılar parçacık birikimine neden olmaktadır. Panel birleşmelerinde toz ve kir birikmemesi için hijyenik conta kullanılmalıdır.

Her ne kadar sulu nemlendiricilerin kullanılmasını şartlı olarak izin veriliyor olsa da, klima santral içinde mikrobiyolojik oluşumlara neden yol açmamak için sulu nemlendiriciler yerine buharlı nemlendiriciler tercih edilmelidir.

Fan, soğutma serpantini, filtre ve nemlendirici hücreleri aydınlatma ve gözet lame camlı olmalıdır. Ancak bütün hücrelerin aydınlatma ve gözetleme camlı olmasında fayda vardır. Santral açılmadan santral iç elemanlarının kontrol edilmesini sağlar.

Santral çıkışında ses seviyesini düşürmek amacıyla susturucu konulması tavsiye edilmektedir. Şüphesiz ikinci kademe filtrenin susturucudan sonra santral çıkışında olması gerekmektedir [31].

1.5.3.12. Hava Kanalları

Hava kanalları mümkün olduğunca kısa olmalı ve galvaniz sac veya buna benzer bir malzemeden imal edilmelidir. Esnek kanallar sadece cihaz bağlantı ağızlarında tercih edilmeli ve 2 metreden fazla olmamalıdır. Birbirleri arasında hava akışı olması istenmeyen mahallerden geçen kanallarda hava sızdırmaz damperler kullanılmalıdır. Kanal hatları üzerinde temizlik ve dezenfeksiyon için yeterince müdahale kapağı olmalıdır. Birinci sınıf özelliğine sahip odalara hizmet veren kanalların mümkün olduğunca kısa yapılmasına dikkat edilmelidir. Bunu temin etmek için havalandırma santrallerinin mümkün olduğunca oda veya oda gruplarına yakın bir noktaya konulmalıdır.

1.5.3.13. Sızdırmaz Damperler

Klima santrali çalışmadığı zamanlarda mahal içerisinde yaratılan hijyenik ortamın bozulmaması için motorlu sızdırmaz damperler kullanılmalıdır. Bu damperler enerji

kesilmesi durumlarında ve klima santralleri çalışmadığı zamanlarda kendi kendine kapanabilmeli ve tam sızdırmaz özellikte olmalıdır.



Şekil 1.3. Motorlu Damper [36]

Motorlu sızdırmaz damperler,

- Son kademe filtrelerin klima santrali çalışırken değiştirilebilmesi için filtreden hemen önceki bir konumda
- Birden fazla katı besleyen klima santralinin kat branşmanları arasında
- Farklı oda sınıflarını besleyen klima santralinin bu odaları besleyen kanalların ayırım yerlerine
- Kullanıcılar tarafından istenmesi durumunda aynı sınıf özelliğine sahip odaların kanal ayırım yerlerinde belirtilen durumlarda kullanılmalıdır.

1.5.3.14. Hava Akış Kontrol Elemanları

Ameliyathanelerde ve yoğun bakımlarda parçacık ve mikroorganizma geçişinin engellenmesi gerektiğinden ve bunun için de mahalin pozitif basınç altında tutulabilmesi için yan hacimlerden gelen hava akışı engellenmeli ve bu pozitif basınç sürekli olarak korunmalıdır. Basıncı korumak içinse CAV ve VAV kutusu denilen elemanlar kullanılmaktadır [27].



Şekil 1.4.a. Cav Kutusu [37]



Şekil 1.4.b. Vav Kutusu [38]

1.5.3.15. Kanal Tipi Elektrikli Isıtıcılar

Ameliyat sırasında, gerek ameliyatın bir gereği olarak gerekse doktorların tercihi olarak ortam sıcaklığının hızlı bir şekilde değişmesi istenebilmektedir. Bu durumlarda ameliyat odasını düşük sıcaklıkta hava beslenmekte ve üfleme havası sıcaklığının hızlı bir şekilde değişmesi elektrikli ısıtıcı sayesinde yapılmaktadır. Elektrikli ısıtıcı genellikle oransal veya çok kademeli olarak çalışmalı ve doktorun istediği sıcaklığı sağlamalıdır. Aynı klima santraline bağlı birden fazla mahalde ortam sıcaklıklarının birbirinden çok farklı olduğu durumlarda ise sıcaklığın ayarlanması için kanal tipi elektrikli ısıtıcı

kullanılabilmektedir. Bu sayede tek bir klima santraline bağı birden çok mahalde farklı sıcaklıklar elde etmek mümkün olmaktadır [30].



Şekil 1.5. Kanal Tipi Elektrikli Isıtıcı [39]

1.5.3.16. Nemlendirici Ünite

Nemlendiriciler 2. kademe filtreden önceki bir noktaya konulmalıdır. Nemlendiricinin kullanılacağı kısımda nemlenme mesafesi kadar bir yerin bulunmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca son filtreden önce, mahal girişine de konularak mahal içinde istenilen nem oranları sağlanabilir. Sulu ortamlar mikroorganizmaların üremesine daha müsait olduğundan, buharlı nemlendiriciler tercih edilmelidir.

1.5.3.17. Isı Geri Kazanım Cihazları

Kullanılan taze havanın mahalle verilmeden önce istenilen mahal sıcaklığına kadar ısıtılması veya soğutulması gerekmektedir. Bu amaç ile santral ısıtıcı veya soğutucu bataryaları, mahal yüklerinin yanı sıra taze hava yüklerini de karşılar ve özellikle %100 taze havalı klima santrallerinde toplam enerji harcamaları inanılmaz boyutlara ulaşabilir. Isı geri kazanım üniteleri bu aşamada devreye girmektedir.

Isı geri kazanımında, mahalden egzoz edilen havanın kullanımı ile kış şartlarında taze havanın ısıtıcı bataryaya ulaşmadan önce bir miktar ısıtılması veya yaz şartlarında taze havanın soğutucu bataryaya ulaşmadan önce bir miktar soğutulması şeklindedir. Isı geri kazanımı sistemlerinde iç hava ve dış hava şartları arasındaki farkların daha büyük olduğu bölgelerde ve zamanlarda kazanç daha büyük olmaktadır.

Taze hava yüklerinde, anlık kazançlar % 75'lere, sezonluk kazançlar ise % 50-60' lara ulaşabilir. Hatta yeni bazı uygulamalarda daha yüksek kazançlara da ulaşılabilir. Ancak bahsedilen rakamlar özellikle ısıtma için geçerlidir ve yaz şartlarında, soğutma durumunda bu değerler bir miktar düşüktür. Aynı kazanç miktarları karışım havalı sistemler için de geçerlidir.

Bu kazançlara ek olarak, ısı merkezlerinin ve soğutma gruplarının aynı oranda küçük olarak kurulabilmesi ve yatırım maliyetleri içerisinde olan kazanlardan da bahsetmek gerekir. Daha küçük kazan/soğutma grubu, daha küçük pompalar ve daha küçük dağıtım sistemleri v.b. anlamına gelir [40].



Şekil 1.6. Isı Geri Kazanım Cihazı [41]

1.5.3.18. Menfezler

Menfezler temizlik ve dezenfeksiyon için kolay ulaşılabilir ve sökülebilir olmalıdır. Debi ayarı kolaylıkla değiştirilebilir yapıda olmalıdır. Ameliyathaneler gibi odalarda emiş menfezlerine aletsiz kolayca çıkarılabilen lif tutucular takılmalıdır.

1.5.3.19. Hepa Filtre

Temiz ve steril alanlar için kurulan iklimlendirme sistemlerinde filtreler sistemin en önemli ekipmanlarını oluşturmaktadır ve normal havalandırma sistemlerinde kullanılan filtrelerden çok daha kaliteli filtreler seçilmesi gerekmektedir. Bu yüzden yüksek hijyen gereken yerlerde mahale hava üflenene yerlere hepa filtre konulması gerekmektedir.

Hepa filtre, “High Efficiency Particulate Air Filter” in (yüksek verimli partikül hava filtresi) kısaltılmışıdır. Hepa filtreler genelde sistemin son filtreleme işini yapmakta ve mahal içerisinde bulunması gerekmektedir. Hava ortama verilmeden önce hepa filtreden geçmelidir. Verimleri % 99.97 ye kadar çıkabilmektedir.



Şekil 1.7. Hepa Filtre [42]

Hepa filtreler çok hassas bir yapıya sahip olduklarından montaj sırasında zarar görmemeleri için dikkat edilmelidir. Hepa kutusunda bulunan filtre yuvasına iyice oturtulmalı ve kaçakların oluşmasına izin verilmemelidir. Hepa filtrelerin doğru tasarlanmış bir sistemde senede bir değiştirildiği göz önüne alınırsa, bu süre içerisinde özellikle çerçevelerin, üzerinde mikroorganizma küf ve mantar üremesine olanak vermeyecek malzemelerden seçilmesi gereklidir [32-33].

Hepa filtrenin çalışabilmesi için hepa filtre kutusuna gerek vardır. Hepa filtre kutusu kanal bağlantısı, plenum, sızdırmaz contalar ve sıkıştırma mekanizması ile difüzörden oluşmaktadır.

Hepa filtre mahaldeki son eleman olduğundan, kutusunun da hijyenik bir yapıya sahip olması gerekir. Difüzör, dört yönlü veya girdaplı olabilir. Dört yönlü difüzörler havayı yan

tarafllara doğru üflerken, girdaplı difüzör havayı döndürerek aşağı doğru iter. Hepa filtre kutusunun kullanıldığı yerlerde akış tñrbñlanslıdır. Bu nedenle ortamlarda parçacık ve mikroorganizmaların homojen bir biçimde dağıldığı düşünñlmektedir [32-33].



şekil 1.8. Hepa Filtre Kutusu [42]

1.5.3.20. Laminer Akış Üniteleri

Ameliyat odası içindeki parçacık ve mikroorganizmalar kñtle geçişi prensibi ile bir yerden başka bir yere geçmektedir. Parçacık ve mikroorganizmalar konsantrasyonu yüksek olan ortamdan dñřñk olan ortama doğru geçişi yapmaktadırlar. Prensip olarak hastanın bulunduğu ve ameliyatının yapıldığı bölgenin parçacık ve mikroorganizmalardan arındırılmış olması istenmektedir.

Parçacıkların laminer akışlarda bir noktadan başka bir noktaya geçişi, tñrbñlanslı akışa nazaran daha azdır. Özellikle laminer akışa dik yönde kñtle geçişi ihmal edilebilir. Laminer akışın bu özelliği kullanılarak ameliyat odalarında hastanın bulunduğu bölge üzerinde parçacık ve mikroorganizmadan arındırılmış laminer akış verilmektedir. Laminer akış aşağıya doğru olup hasta ve ameliyat ekibi arasında hava perdesi oluşturur.

Böylece ameliyat odasının diğer bölgelerinden ameliyat masasının bulunduğu bölgeye doğru olan veya ameliyat ekibi ile hasta arasındaki kñtle transferi engellenmektedir. Yeni standartlarda ise ameliyat sırasında kullanılan aletlerin etrafında dahi temiz havanın olması istenmektedir.



Şekil 1.9. Laminer Akış Ünitesi [43].

Laminer akış ünitesi; bağlantı kanalı, hepa filtre ve yuvası, plenum kutusu ve laminizatörden oluşmaktadır. Kanaldan gelen hava hepa filtrelerden geçirilmekte, daha sonra düzgün akış sağlanarak ortama verilmektedir. Laminer akış ünitesi havanın son çıkış noktası olduğundan hijyenik yapı ve malzemeye sahip olmalıdır. Laminer çıkış ünitesinden çıkan hava aşağıya doğru, hasta, ameliyat ekibi ve aletlerin bulunduğu bölgeye doğru akmalı, yere kadar inmeli ve yer seviyesinde bulunan lif tutucular vasıtasıyla tahliye edilmelidir [32-33].

1.5.4. Hastane İklimlendirme Sistemlerinde Enerji Tasarrufu

Sağlık bakım tesisleri, yoğun enerjiye bağımlı yatırımlardır. Günümüzde yaşam kurtarmak ya da yüksek kalitede medikal hizmet vermek iyi bir hastane için sadece yeterli olmayıp enerjinin etkin bir biçimde kullanılması iyi bir hastane için en önemli gerekliliklerden birisidir.

Hastanelerin diğer yapılardan farkı, yıl boyunca 7/24 çalışmaları, enerji kesintilerine karşı yedek sistemlere gereksinim duymaları, kokuların giderilmesi ve mikroorganizmaların havadaki miktarının seyreltilmesi için büyük miktarlarda taze hava kullanmaları, enfeksiyon ve katı atık sorunlarıyla yüz yüze olmalarıdır.

Yapılan araştırmalarda, HVAC sistemler hastanelerin enerji maliyetinin neredeyse %50'sini oluşturmaktadır. Enerji tasarrufu değişik şekillerde sağlanabilir. Büyük ısı depolama tankları, egzoz havasında atılan ısının geri kazanım yoluyla ısıtma ve soğutmada kullanılan besleme havasına geri verilmesi vb. şekillerde sağlanabilir. Ayrıca fanların, enerji tasarrufu yönünden oldukça dikkatli değerlendirilmesi gerekir. Statik basınçlar ve toplam hava gerekleri, işletme maliyetini düşürecek şekilde tasarlanmalıdır. Temiz hava miktarında azaltma yapılamıyorsa statik basınçtaki indirimler büyük tasarruf sağlar. Küçük basınç düşümlü hepa filtreler, kanallı filtreler yerine plenumlar, doğru fan giriş çıkışları statik basıncı azaltabilir. Çift hızlı fanlar veya istendiğinde bir bölümü çalışan çok fanlı sistemler tercih edilerek çalışma yapılmayan belli saatlerde belli yerlerde hava miktarı düşürülebilir [44].

1.5.5. Projelendirme Sırasında Dikkate Alınması Gereken Hususlar

Projelendirme aşamasında iklimlendirme tesislerinde gerçek iklim verileri kullanılmalıdır. Isı kazancı ve kaybı yükleri doğru hesap edilmeli, bu kazançların soğutma ve ısıtma dönüşümleri doğru tespit edilmeli ve gereksiz yere büyük cihaz kapasiteli cihaz seçimi önlenmelidir. Kanal tasarımı optimum kanal tasarım yöntemleri ve hesapları kullanılarak hem işletme hem de yatırım maliyetleri uygun seviyelerde olan kanal sistemleri elde edilebilir.

Egzoz havası ile çalışan ön ısıtma ve ön soğutma yapabilen ısı geri kazanım cihazlarının kullanımı çok yüksek miktarda enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Ayrıca tesisin işletilmesinde değişik yükler için sistemi ayarlayacak, maksimum kapasitede çalışmasını önleyecek otomatik kontrol sistemleriyle donatılması sonucu da önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [45].

Sistem devreye alındıktan sonra filtre bakımlarının atlanmaması, fan motorları akım değerlerinin sürekli takip edilmemesi, muhtemel batarya kirlenmelerinin takip edilmemesi ve batarya temizliklerinin yapılmaması, otomatik kontrol sisteminin çalışmasının kontrol edilmemesi ve bakımlarının düzenli yapılmaması gibi hususlar iyi kurulmuş bir klima sisteminin bile çok yüksek oranlarda enerji tüketmesine neden olur. Özellikle sistem kullanıma girdikten sonra yıpranmaya başlayan ekipmanların bakım ve değişimlerinin düzgün takibi yapılmaz ise sistem başlangıçta harcadığı enerji miktarlarının çok üstüne çıkabilir. Dolayısı ile bir klima sistemi tamamlandıktan ve işletmeye alındıktan sonra, bu sistemin işletilmesi için klima sisteminin sürekli takip edilmesi gerekmektedir [46].

1.5.6. Ülkemizde ve Dünyada Kullanılan Standartlar

Dünyada hastane hijyenik alan havalandırma tekniğini düzenleyen başlıca standartlar;

- DIN 1946-4 (Alman Standardı) 1999
- DIN 1946-4 (Alman Standardı) Nisan 2005 (Taslak)
- BS 5295 (İngiliz Standardı)
- VDI 2167 (2007)
- VDI 2083
- SWKI - Guideline 99-3
- ASHRAE 2003 Handbook HVAC Applications Operating Room Yönergeleri ve tamamlayıcı olarak,
- DIN EN 1886
- American SMACNA

Doğrudan ameliyathaneleri esas almasa da temizlik sınıflarının belirlenmesinde ve sağlanmasın da yardımcı olan,

- ISO 14644 - 1,2,3,...7 (Avrupa Birliği Standardı)
- Federal Standart 209 D ve E (Amerikan standardı)
- Avrupa Birliği EUROVENT standartları ile GMP (iyi üretim uygulamaları prosedürü), SOP (standart operasyon prosedürleri) vb. dir.

Ülkemizde ameliyathane hijyenik havalandırma sistemlerinde uygulanmak üzere TSE tarafından DIN 1946-4 Alman standardının 1989 yılı versiyonu Türkçeye çevrilerek yayınlanmıştır. Ancak Almanya’da 1999 yılında DIN1946-4 standardının daha yeni versiyonu yayınlanmış olup, son olarak da DIN 1946-4 Nisan 2005 taslağı görüş bildirimine sunulmuştur.

Ülkemizde bu standartların iyi algılanmamasından dolayı uygulamada yetersizlikler ve tutarsızlıklar sergilenmektedir. Bunların yanında tasarım ve kurulum aşamasından itibaren standartlarla en küçük bir ilişkisi bulunmayan havalandırma sistemlerine sahip pek çok ameliyathane ve yoğun bakım ünitesi, gözle denetim ve kontrolden geçerek Sağlık Bakanlığı’ndan ruhsat almakta ve işletilmektedir. Çoğu denetim de havalandırmanın hepa filtreli olması onay için aranılan yeterli ölçüt olarak görölmektedir [47].

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Binaların Seçim Kriterleri

İnceleme konusu bina seçilirken, enerji verimliliği konusunda yapılan iyileştirme çalışmalarının sağlıklı bir şekilde başlatılabilmesi, etkin bir şekilde sürdürülebilmesi, yapılacak olan karşılaştırmada doğru sonuçların elde edilebilmesi ve çalışmaların bölgemizde bulunan diğer binalar için örnek teşkil etmesi için, doğru binaların seçilmesi önemlidir. Bu amaca yönelik olarak, inceleme binalarının seçiminde aşağıdaki kriterler belirlenmiştir,

- 1) Karşılaştırması yapılan binalar birçok yönden benzer olmalıdır.
- 2) Yüksek enerji sarfıyatı olmalıdır.
- 3) Bina sahibi veya sorumlu kuruluş, gerçekleştirilmesi düşünülen iyileştirme çalışmalarını uygulamak üzere finansal kaynaklara sahip olmalıdır.
- 4) Proje sahası ülkemizdeki bina türlerini temsil edebilir olmalıdır, bu şekilde uygulanacak tedbirler tekrar edilebilir olacaktır.

Yukarıda belirtilen özellikleri sağlayan binaların belirlenebilmesi için okullar, hastaneler, resmi binalar, yapı kooperatifleri, üniversite lojmanları ve özel konutlar gibi birçok bina türü arasından tercih yapılmıştır. Bunun yanında, bazı durumlarda, konut sahipleri kendileri başvurarak bir pilot proje uygulaması talebinde bulunmuşlardır.

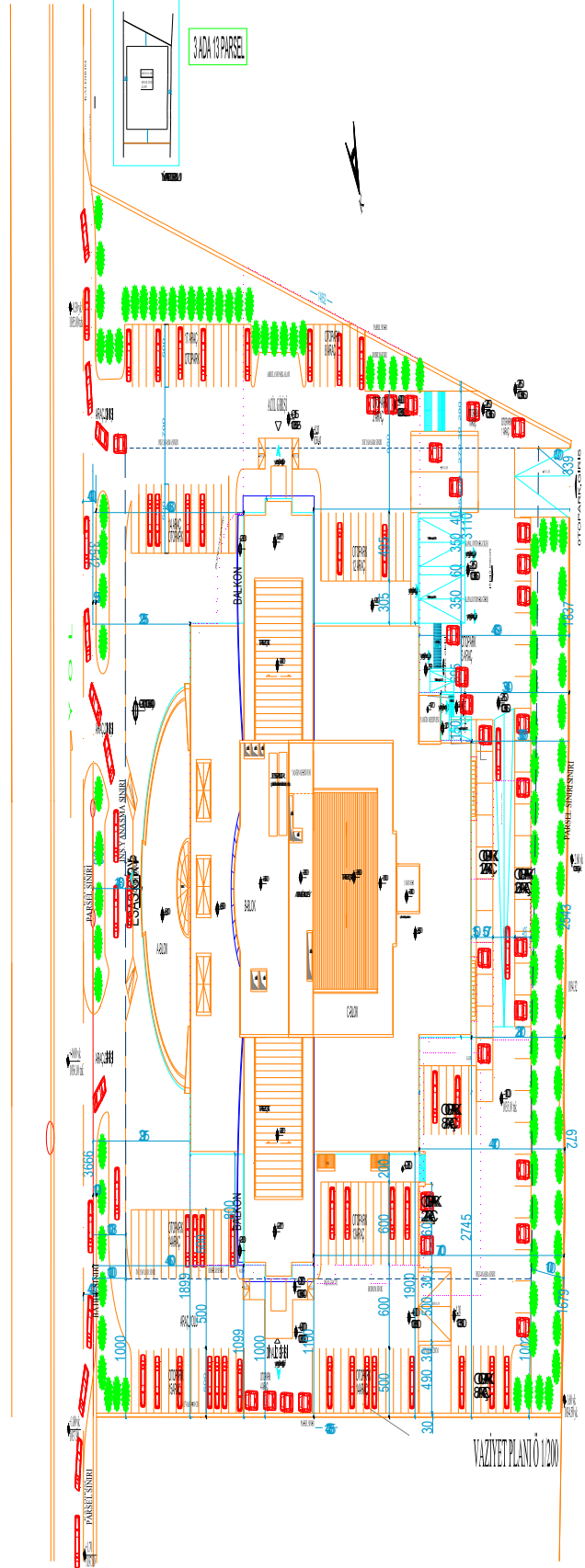
Yapılan incelemeler sonucunda, Elazığ Hayat Damla Hastanesinin yukarıda belirtilen özellikleri sağladığı görülmüş ve bu bina örnek olarak seçilmiştir.

2.2. Binanın Tanımı

2.2.1 Binanın Genel Özellikleri

İncelenen hastane binası Elazığ ilinin merkezinde bulunup vaziyet planına göre yön olarak güneybatı yönünde ve ayırık nizam olarak inşa edilmiş ve 2010 yılında inşaatı tamamlanmıştır. Bina yaklaşık toplam 23000 m² lik alandan meydana gelmekte ve alan olarak en büyük kat 3520 m² ile zemin kattır. Yaklaşık 5500 m² lik toprak temaslı oturma alanına ve 181 araçlık oto parka sahip olup, bodurum ve çatı katı dahil 12 kattan oluşmuştur. Bina 63 bakım, 192 servis olmak üzere toplam 255 yatak kapasitelidir. Bina karkası betonarme olup dış duvarlar yalıtımlı bims tuğla ile örülmüş ve dış cephesi traverten doğal taş ve ısı camla kaplanmıştır.

Bina da yapı malzemesi olarak, bodurumlar da perde beton ve membran kaplama, üst katlarda ise tuğla, eps mantolama, izolasyon malzemesi olarak polistren köpük ile takviye edilmiştir, dış cephede taş giydirme yapılmıştır, bina içi zemin döşemelerde mermer ve pvc kaplama, teraslarda membran ve taş kaplama döşenmiştir. Oda kapıları ahşap, pencerelerde ısı yalıtımlı alüminyum doğrama kullanılmıştır ve pencerelerin ısı geçirgenlik değeri 2W/m²K dir.



Şekil 2.1 Elazığ Hayat Damla Hastanesi Vaziyet Planı

Tablo 2.1. Bina kat alanları

Katlar	Alan
2. Bodrum Kat	1927 m ²
1. Bodrum Kat	3437 m ²
Zemin Kat	3520 m ²
1. Normal Kat	3490 m ²
2. Normal Kat	1622 m ²
3. Normal Kat	1660 m ²
4. Normal Kat	1660 m ²
5. Normal Kat	1660 m ²
6. Normal Kat	1660 m ²
7. Normal Kat	1274 m ²
Çatı Katı	696 m ²
TOPLAM	23320 m²

Tablo 2.2. Bina servis katları

Servis Kat.	Yatak Sayısı (Adet)
2. Normal Kat	17
3. Normal Kat	26
4. Normal Kat	26
5. Normal Kat	26
6. Normal Kat	24
TOPLAM	119

Tablo 2.3. Bina servis katları

Hastane Ameliyathane ve Yoğun Bakım Birimleri	Yatak Sayısı (Adet)
Ameliyathane	8
Ameliyathane (KVC)	1
Tüp Beğ. A.	2
Dahiliye Yoğ. Bak.	8
Cerrahi Yoğ. Bak.	9
Kvc Yoğ. Bak.	6
Yeni Doğ. Yoğ. Bak.	13
Kroner Yoğ. Bak	16
TOPLAM	63

Tablo 2.4. Binaya ait bazı örnek veriler

Hacim (m ³)	80500
Döşeme alanı (m ²)	4920
Dış sıcaklık (C°)	-12
İç sıcaklık (C°)	21

Tablo 2.5. Binada Bulunan İç Ünite Sayısı ve Özellikleri

BİNA MAHALİ KATLAR	İÇ ÜNİTE SAYISI	TOPLAM SOĞUTMA KAPASİTESİ (kW)	TOPLAM ISITMA KAPASİTESİ (kW)
1. ve 2. Bodurum	52	162.6	183,6
Zemin Kat	77	307.4	346
1.Normal Kat	96	380.1	427,7
2. Normal Kat	41	168.9	189,8
3. Normal Kat	41	168.9	189.8
4. Normal Kat	41	168.9	189.8
5. Normal Kat	41	168.9	189.8
6. Normal Kat	41	168.9	189.8
7. Normal Kat	24	139.2	156.1
Çatı Katı	12	41.7	46.5
TOPLAM	466	1875.5	2108.9

Tablo 2.6. Binada Bulunan Dış Ünite Sayısı ve Özellikleri

BİNA MAHALİ KATLAR	DIŞ ÜNİTE SAYISI	TOPLAM SOĞUTMA KAPASİTESİ (kW)	TOPLAM ISITMA KAPASİTESİ (kW)
1. ve 2. Bodurum	4	112	126
Zemin Kat	7	213	239
1. Normal Kat	10	280	315
2. Normal Kat	4	112	126
3. Normal Kat	4	112	126
4. Normal Kat	4	112	126
5. Normal Kat	4	112	126
6. Normal Kat	4	112	126
7. Normal Kat	3	101	113
Çatı Katı	1	28	31.5
TOPLAM	45	1294	1454.5
TOPLAM	Binanın Genel Isıtma ve Soğutma Kapasitesi		6732.9

2.2.2 Bina Isıtma Sistemi

Binada ısıtma sistemi olarak VRF Klima Sistemi Variable Refrigerant Flow (VRF) kelimelerinin baş harflerinden oluşmuş olan değişken debili soğutucu akışkan, klima sistemi ile ısıtılmakta ve yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Bina toplam 45 dış ünite ve 446 iç ünite ile hava şartlandırılması yapılmaktadır.

VRF bir dış ünite ile gaz akış dağıtıcıları yardımıyla birden çok iç ünitenin birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebildiği direkt genleşmeli klima sistemleridir. Gerektiği kadar soğutucu akışkan doğru faz ve doğru zamanda ihtiyaç duyulan iç üniteye sevk edilerek ısıtma ve soğutmada kullanılması sağlanır. Soğutucu akımı inverter kontrollü bir kompresör veya kompresörlerle varyasyonlandırılarak, havası şartlandırılmış mekanlara göre soğutucu akışkanın uyum göstermesi sağlanır ve iç ünite sayısı 48'e kadar çıkarılabilir.

VRF klima sistemleri; gelişmiş kontrol ve akış denetim üniteleri ile donatılmıştır. Gerektiği kadar soğutucu akışkan doğru faz ve doğru zamanda ihtiyaç duyulan yere sevk edilerek ısıtma ve soğutmada kullanılması sağlanır. VRF Klima sistemleri; alışılmış DX split klima sistemlerinden bir soğutucu hattında isteğe bağlı olarak 8-40 HP kapasite aralığında maksimum 5 dış ve 40 iç ünitenin bağlanabilmesi ve gelişmiş kontrol imkanları açısından temel farklılık gösterir.

VRF Klima Sistemi, daha fazla konforu inverter teknolojisi ve değişken gaz debisi sayesinde enerji tasarrufu ile birlikte sunar. Çevreye maksimum özen ve saygı gösteren, enerji tasarrufuna odaklanmış, gelişmiş uygulama esnekliği ve esneklikten gelen serbestlikle ve modüler yapısıyla çok katlı bir binadan, bir tek villaya kadar yeni yapılan veya mevcut her türlü yapıda tam bağımsız kontrol imkanı vermektedir.

2.3. Ekserji Analizi

2.3.1. Bir Akışkanın Ekserji Analizi

Akış işi, temel olarak akış yönünde bir akış tarafından yapılan sınır işidir ve böylece akış işinin ekserjisi sınır işinin ekserjisine eşdeğerdir. Bu da P_0 atmosfer basıncındaki havaya karşı yapılan fazladan işin bir v hacminin yerini dolduran sınır işidir. Akış işinin Pv olduğu ve atmosfere karşı yapılan işin P_0v olduğu dikkate alınırsa, akış enerjisinin ekserjisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Ex_{akış} = Pv - P_0v = (P - P_0)v \quad (2.1)$$

Bu nedenle akış enerjisi ile ilgili olan ekserji, akış işi bağıntısındaki P basınının $P - P_0$ ile yer değiştirmesi ile elde edilir. Öyle ise bir akışkan akımının ekserjisi, basitçe 2.1 numaralı akış ekserjisi ilişkisini, kütle akışı olmayan akışkan için yazılan aşağıdaki 2.2 denkleminde yerine koyarsak,

$$\begin{aligned} \emptyset &= (U - U_0) + P_0 (v - v_0) - T_0 (S - S_0) + \frac{v^2}{2} + gz \\ &= (e - e_0) + P_0 (v - v_0) - T_0 (S - S_0) \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$Ex_{akan akışkan} = Ex_{akmayan akışkan} + Ex_{akış} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} &= (U - U_0) + P_0 (v - v_0) - T_0 (S - S_0) + \frac{v^2}{2} P_0 (v - v_0) P_0 (v - v_0) \\ &\quad + gz P_0 (v - v_0) \\ &= (U + Pv) - (U_0 + P_0 v_0) - T_0 (S - S_0) + \frac{v^2}{2} + gz \\ &= (h - h_0) - T_0 (S - S_0) + \frac{v^2}{2} T_0 (S - S_0) + \frac{v^2}{2} + gz \end{aligned}$$

Son ifade akış veya akım ekserjisi olarak adlandırılır ve ψ ile gösterilir.

Akış işi,

$$\psi = (h - h_0) - T_0 (S - S_0) + \frac{v^2}{2} + gz \quad (2.4)$$

Öyle ise, 1 halinden 2 haline hal değişimi geçiren bir akışkan akımının ekserji değişimi aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$\Delta\psi = \psi_1 - \psi_2 = (h_2 - h_1) + T_0 (S_2 - S_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g (Z_2 - Z_1) \quad (2.5)$$

Göz ardı edilebilir kinetik ve potansiyel enerjiye sahip sıvı akışları için, kinetik ve potansiyel enerji tanımları eşitlikten çıkarılır.

Kapalı bir sistemin veya akışkan akışının ekserji değişimi, sistemin belirli bir çevrede 1 halinden 2 haline geçerken yapılabilecek yararlı işin en fazla miktarını (veya negatif ise sağlanması gereken yararlı işin en az miktarını) ve aynı zamanda tersinir işi W_{tr} temsil eder. Ekserji değişimi uygulanan hal değişiminden kullanılan sistemin türünden ve çevrenin enerji etkileşimlerinin doğasından bağımsızdır. Aynı zamanda kapalı bir sistemin ekserjisinin negatif olamayacağını, ama akmakta olan bir akışkanın ekserjisinin çevre basıncı P_0 altındaki basınçlarda negatif olabileceği bilinmelidir.

2.3.2. Ekserji Geçişi

Enerji gibi ekserji de bir sisteme veya bir sistemden üç şekilde geçirilebilir; ısı, iş ve kütle akışı. Sistemin sınırında, ekserji sınırı geçerken, ekserji geçişi olduğu kabul edilir ve bir hal değişimi sırasında, sistem sırasında kazanılan veya kaybedilen ekserjiyi temsil eder. Sabit bir kütle veya kapalı sistem ile ilişkili olarak, yalnızca iki ekserji etkileşimi söz konusudur, bunlar ısı geçişi ve iş şeklindedir.

T_0 sıcaklığındaki bir çevre göz önüne alındığında, T sıcaklığındaki bir ısıl enerji kaynağından elde edilebilecek en fazla iş Carnot makinesinden elde edilebilecek iştir.

Carnot makinesinin ısı verimi ise $\eta = 1 - (T_0 - T)$ şeklinde ifade edilir. Yani T sıcaklığındaki bir ısı kaynağının enerjisinin işe dönüştürülen kısmını göstermektedir.

Isı, enerjinin düzenli olmayan bir şeklidir ve bu yüzden ısının yalnızca bir kısmı işe dönüştürülebilir ve dönüştürülen bu kısım atık enerjinin düzenli bir şeklidir (ikinci yasa). Isıdan, çevre sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta, kullanılmış ısıyı çevreye yayan bir ısı makinesine ısı geçirerek daima iş üretilebilir. Bu nedenle ısı geçişini daima bir ekserji geçişi eşlik eder. Mutlak sıcaklık T değerinde, belirli bir yerdeki Q ısı geçişine, daima aşağıda verilen eşitlikte belirtilen miktarda bir ekserji geçişi ($Ex_{ısı}$) eşlik eder.

$$Ex_{ısı} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q \quad (2.6)$$

Buradaki T sıcaklığı, T_0 sıcaklığından ister büyük olsun, ister küçük olsun, Q ısı geçişine eşlik eden bir ekserji geçişini verir. $T > T_0$ olduğunda, bir sisteme olan ısı geçişi o sistemin ekserjisini artırır, sistemden dışarıya doğru olan ısı geçişi ise ekserjiyi azaltır. $T < T_0$ olduğunda ise, bunun tersi bir durum geçerlidir. Bu durumda ısı geçişi Q, soğuk ortama yayılan ısıdır (kullanılmış ısı) ve T_0 çevre sıcaklığındaki çevre tarafından sağlanan ısı işle karıştırılmamalıdır. Geçiş noktasında $T=T_0$ olduğunda, ısı yoluyla ekserji geçişi de sıfır olur.

Ekserji, yararlı iş potansiyelidir ve iş ile gerçekleşen ekserji geçişi aşağıda verildiği gibi tanımlanabilir.

$$Ex_{iş} = W - W_{çevre}$$

veya

$$Ex_{iş} = W \quad (2.7)$$

Burada $W_{çevre} = P_0(V_2 - V_1)$, P_0 , atmosfer basıncı ve V_1 ve V_2 ise sistemin ilk ve son hacimleridir. Böylece mil işi ve elektrik işi gibi, iş ile gerçekleşen ekserji geçişi, işin kendisine eşittir. Piston-silindir düzeneğinde olduğu gibi sınır işi içeren sistemlerde, genişleme sırasında pistonun izlediği yol üzerinde bulunan atmosfer koşullarındaki havanın itilmesi ile yapılan iş, başka bir sisteme aktarılmaz. Bu yüzden çevre işinin çıkarılması gerekmektedir. Benzer biçimde, sıkıştırma işi sırasında, işin bir bölümü

atmosfer koşullarındaki hava tarafından yapılır, böylece sisteme sıkıştırma sırasında dış kaynaktan sağlanması gereken faydalı iş daha az olur.

Kütle, enerji ve entropi yanında ekserji de içerir ve bir sistemin ekserji ve entropi içeriği kütle ile orantılıdır. Kütle akışı, sistemin içine veya dışına olan ekserji, entropi ve enerji taşınımının bir mekanizmasıdır. m miktarındaki bir kütle sisteme girdiğinde veya sistemden ayrıldığında, $\psi = (h - h_0) - T_0(S - S_0) + V^2/2 + gz$ için $m\psi$ miktarındaki ekserji ona eşlik edecektir.

Kütlenin ekserjisi aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$Ex_{k\ddot{u}tle} = m\psi \quad (2.8)$$

Bundan dolayı, sisteme m miktarındaki kütle girdiği zaman sistemin ekserjisi $m\psi$ artar ve sistemden aynı miktardaki kütle benzer durumda ayrılırsa, aynı miktarda azalır. Kütle yoluyla ekserji geçişi $X_{k\ddot{u}tle}$, sınırları kütle akışı içermeyen (kapalı sistemler) için sıfırdır. Ayrık sistemler için toplam ekserji geçişi sıfırdır çünkü bu sistemler ısı, iş ve kütle geçişi içermez.

2.3.4. Kontrol Hacimleri İçin Enerji Dengesi

Ekserjinin ısı, iş ve kütle geçişi ile bir sisteme veya bir sistemden geçebileceğini daha önce belirtmiştik. Öyle ise, herhangi bir hal değişimine uğrayan bir sistemin ekserji dengesi aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$Ex_g - Ex_{\dot{c}} - Ex_{yok\ olan} = E\Delta x_{sistem} \quad (kj) \quad (2.9)$$

Yukarıda verilen denklemde, $Ex_g - Ex_{\dot{c}}$, ısı, iş ve kütle ile net ekserji geçişi, $Ex_{kayıp}$, kayıp ekserji ve $E\Delta x_{sistem}$ ise ekserjide ki değişimi ifade etmektedir.

Denklem (2.9) birim zaman için aşağıdaki şekilde yazılabilir,

$$E\dot{X}_g - E\dot{X}_\phi - E\dot{X}_{\text{yok olan}} = E dx_{\text{sistem}} / dt \text{ (kW)} \quad (2.10)$$

Isı geçişinin pozitif yönünü sisteme doğru ve iş geçişinin pozitif yönünü sistemden dışarı alarak, bir kontrol hacmi için genel ekserji dengesini ifade eden (2.9) ve (2.10) numaralı denklemler aşağıdaki gibi de açıklanabilir.

$$Ex_{1s1} - Ex_{i\phi} + Ex_{\text{kütle,giren}} - Ex_{\text{kütle,çıkan}} - Ex_{\text{kütle, kayıp}} = (Ex_2 - Ex_1)_{KH} \quad (2.11)$$

veya

$$\begin{aligned} & \Sigma \left(1 - \frac{T_0}{T_k} \right) Q_k - [W - P_0 (V_2 - V_1)] + \Sigma_g m\psi - \Sigma_\phi m\psi - Ex_{\text{kayıp}} \\ & = (Ex_2 - Ex_1)_{KH} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Yukarıda verilen alt indisler, g = giriş, ϕ = çıkış, kontrol hacmi halleri ise 1 ilk hal ve 2 son haldir. Aynı şekilde birim zaman için aşağıda verilen eşitlik yazılabilir:

$$\begin{aligned} & \Sigma \left(1 - \frac{T_0}{T_k} \right) Q'_k - [\dot{W} - P_0 dV_{KH} / dt] + \Sigma_g \dot{m}\psi - \Sigma_\phi \dot{m}\psi - Ex_{\text{yok olan}} \\ & = dx_{KH} / dt \end{aligned} \quad (2.13)$$

Bu denklem, bir hal değişimi sırasında kontrol hacmi içerisindeki ekserji değişim akımı, kontrol hacmi boyunca ısı, iş ve kütle akışı yoluyla oluşan net ekserji değişim akımından, kontrol hacmi sınırları içerisinde ekserji yok oluşan akımının çıkarılmasına eşittir şeklinde ifade edilebilir. Kontrol hacminin ilk ve son halleri belirli bir duruma getirildiğinde, kontrol hacminin ekserji değişimi denklem (3.14) deki gibi olur.

$$Ex_2 - Ex_1 = m_2 \phi_2 - m_1 \phi_1 \quad (2.14)$$

2.3. 5. Sürekli Akışlı Sistemler İçin Ekserji Dengesi

Kontrol hacimlerinde akış sürekli olduğundan, hacimlerinde olduğu gibi kütlelerinde, enerjilerinde, entropilerinde ve ekserji içeriklerinde bir değişiklik olmaz. Bu nedenle bu tür sistemler için

$$dV_{KH} / dt = 0 \text{ ve } dx_{KH} / dt = 0 \quad (2.15)$$

yazılabilir ve bir sürekli akışlı sistemin tüm biçimlerinde (ısı, iş ve kütle geçişi) giren ekserji akımı, sistemi terk eden ekserji akımı ve yok olan ekserji miktarlarının toplamına eşit olmalıdır. Öyle ise birim zaman için ekserji dengesi sürekli akış işleminde aşağıda verilen eşitliğe indirgenir:

$$\Sigma (1 - \frac{T_0}{T_k}) Q_k - \dot{W} + \Sigma_g \dot{m}\psi - \Sigma_{\check{c}} \dot{m}\psi - E\dot{X}_{kayıp} = 0 \quad (2.16)$$

Tek akımlı (bir giriş, bir çıkış) sürekli akış düzeneği için, yukarıda verilen bağıntı aşağıda verilen biçime indirgenebilir [44].

$$\Sigma (1 - \frac{T_0}{T_k}) Q'_k - \dot{W} + \dot{m} (\psi_1 - \psi_2) - E\dot{X}_{yok \text{ olan}} = 0 \quad (2.17)$$

2.3.6. Isıtma - Soğutma Sistemlerinde Ekserji Analizi

Termodinamiğin 1. yasası enerjinin korunumu ve sistemlerdeki enerji dengesi ile ilgilidir, 2. yasa ise enerjinin yönü ilgilidir.

Termodinamiğin ikinci yasası, enerjinin kalitesi olduğunu ve gerçek hal değişimlerinin enerji kalitesinin azalması yönünde olacağını ifade eder. Enerjinin kalitesini veya iş yapma potansiyelini sayısal olarak ifade etme çabaları ekserji adı verilen bir özelliğin tanımlanmasını sağlamıştır. Ekserji, enerjinin işe çevrilebilme potansiyeli olarak tanımlanır ve bir kaynaktan elde edilebilecek maksimum işi ifade eder. Bir hal değişimi sırasında kaybedilen iş potansiyeli tersinmezlik veya ekserji kaybı olarak tanımlanır. Bir

hal değişimini sırasında ekserji kayıpları ne kadar az ise üretilen iş o kadar fazladır veya tüketilen iş o kadar azdır.

Bir sistemin performansı ekserji kayıplarının en aza indirgenmesi yoluyla maksimize edilebilir. Ekserji analizi, ikinci yasaya dayanan bir termodinamik analiz olup, enerji sistemlerini ve hal değişimlerini gerçekçi ve anlamlı biçimde değerlendirmeyi ve karşılaştırmayı mümkün kılar. Ekserji analizi ile bulunan ekserji veya ikinci yasa verimleri gerçek sistem performansını maksimum performansla karşılaştırırken, ekserji analizi yardımıyla termodinamik kayıpların yerleri, miktarları ve nedenleri bulunabilir. Ekserji analizi sonuçları sistem performansının iyileştirilmesinde ve daha iyi tasarımların yapılmasında kullanılır.

Kısacası ekserji bir sistemin verilen bir durumda sahip olduğu kullanılabilir iş potansiyelini ve herhangi bir termodinamik yasaya aykırı olmaksızın sağlayabileceği maksimum işi ifade eder [49].

Ekserji analizinin teorisi, büyük ölçüde kullanılabilir enerji analizi gibidir. Ekserji, kullanılabilir enerji ve kullanılabilirlik önemli ölçüde benzerdir. Ekserji yok oluşu, ekserji tüketimi, tersinmezlik ve kayıp iş de önemli ölçüde benzerdir. Bu konudaki terminolojinin tam olarak standartlaşmadığı görünmektedir.

Enerji genellikle iş ya da iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Oysa bunun yerine, enerji; hareket ya da hareket üretebilme kabiliyeti olarak tanımlanmalıdır. Bunu yanı sıra, ekserji; iş ya da iş yapabilme kabiliyeti olmaktadır. Enerji, bir proseste daima korunabilirken, ekserji ise daima tersinir proseslerde korunabilmekte, gerçek proseslerde ise tersinmezlik nedeniyle tüketilmektedir.

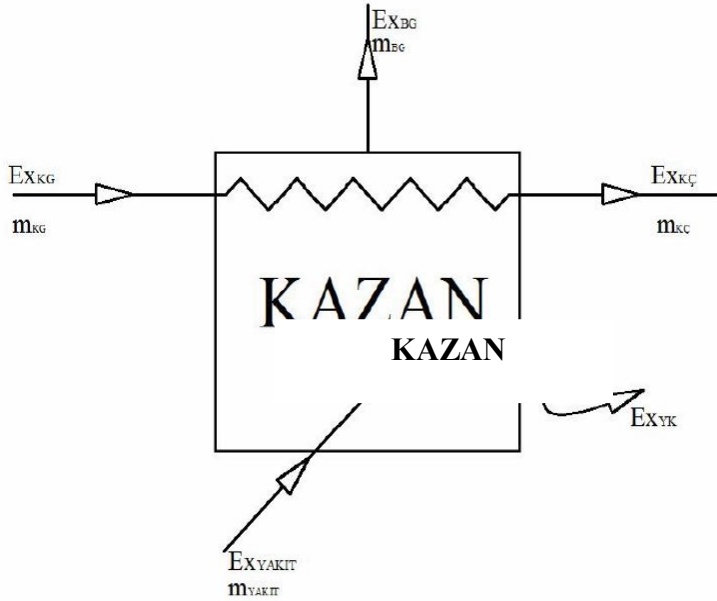
Ekserji analizi, bir sistemin enerji analizinden farklıdır. Ekserji analizin sonuçları, genellikle, bir sistemdeki proseslerin daha fazla anlamlı ve duyarlı gösterilmesini sağlamak için göz önüne alınmaktadır. Bu yüzden ekserji analizi, yapılan çalışmada ele alınan havalandırma, ısıtma ve soğutma sistemlerinin analizinde önemli bir araçtır. Çünkü bu analiz, mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemleri tasarlanmasının mümkün olup olmayacağını açığa kavuşturacaktır. Kullanılabilir enerji veya ekserji fonksiyonu, aynı koşullardaki bir sistemin karşılaştırılmasına olanak sağlar. Ayrıca ekserji analizi, bir sistemin enerji niteliğinin yol açtığı verim kayıplarının belirlenmesine yardım eder. Açıkça böyle bir analiz, bir sistemin nasıl daha iyiye doğru geliştirilebileceğini sağlamayabilir ve işlemin neresinin iyileştirilebileceğini gösterir [50].

Bir maddenin sıcaklığı (T) ve basıncındaki (P) özgül entalpisi (h) ve özgül entropisi (S) olduğunda özgül ekserjisi veya kullanılabilirliği eşitlik 2.18 ile ifade edilir.

$$Ex = (h - h_o) - T_o (S - S_o) \quad (2.18)$$

2.3.7. Isıtma Sisteminin Ekserji Analizi

Bilindiği gibi kazanlar, içerisinde yakılan yakıtın yanma enerjisini, sistemde iş gören akışkana aktarmak için kullanılan elemanlardır. Yanma sonucunda oluşan ısının tamamı akışkana aktarılamamaktadır. Isının bir kısmı kazanın yüzeyinden, bir kısmı ise baca gazı ile atmosfere atılmaktadır. Kullanılamayan ısının büyüklüğü kazanın verimi için çok önemli bir parametredir [51].



Şekil 2.2. Kazana ait parametreler

Kazan için oluşturulan şemada (şekil 2.2) kazanın giriş ve çıkış ekserji faktörleri gösterilmektedir.

Kazan için şekil 2.2’de oluşturulan ekserji faktörleri belirlendikten sonra aşağıdaki eşitliklerle kayıplar tespit edilir.

$$\Sigma Ex_{giren} = \Sigma Ex_{çıkan} + \Sigma Ex_{kayıp} \quad (2.19)$$

$$\Sigma Ex_{yakıt} + \Sigma Ex_{KG} = \Sigma Ex_{KÇ} + \Sigma Ex_{KÇ} + \Sigma Ex_{BG} + \Sigma Ex_{kayıp} \quad (2.20)$$

$$\Sigma Ex_{kayıp} = \Sigma Ex_{yakıt} + \Sigma Ex_{KG} - (\Sigma Ex_{KÇ} + \Sigma Ex_{KY} + \Sigma Ex_{BG}) \quad (2.21)$$

Yakıtın yanmasıyla oluşan ekserji, doğalgazın yanma denklemi oluşturulurken bütün yakıtın metandan (CH₄) oluştuğu kabul edilmiştir.

Yakıtın ekserji değeri birim kütle için aşağıdaki eşitlikle bulunur [52]. Burada φ kimyasal ekserji faktörü olarak alınmıştır [20,24].

$$E_{yakıt} = H_a \times \varphi \quad (2.22)$$

Yakıtın toplam ekserji değerini bulmak için ise birim kütle için bulunan ekserji değeri toplam kütle ile çarpılır [52].

$$\Sigma Ex_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} \times E_{yakıt} \quad (2.23)$$

Kazan yüzeylerinden ısı transferi ile oluşan kayıplar, kazan yüzeyinden, kazanın bulunduğu ortama ısı geçişi ile olur, bu geçiş kazan yüzeyinden gerçekleşen kayıp olarak adlandırılır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{yakıt} = Q_{kayıp} \left(1 - \frac{T_0}{T_{kds}} \right) \quad (2.24)$$

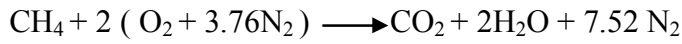
Buradaki $Q_{kayıp}$ değeri, yakıtın yanması ile oluşan ekserjinin, kazan bünyesindeki ekserji değerinden çıkarılması ile bulunur ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [52].

$$Q_{\text{kayıp}} = \dot{m}_{\text{yakıt}} \times H_a - [Q_{\text{kazan}} + (\dot{m}_{\text{N}_2} \Delta h_{\text{N}_2} + \dot{m}_{\text{CO}_2} \Delta h_{\text{CO}_2} + \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \Delta h_{\text{H}_2\text{O}})] \quad (2.25)$$

Baca gazlarının ekserji analizi ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma E_{\text{XBG}} = \Sigma \dot{M}_i \times E_{X_i} \quad (2.26)$$

Ancak baca gazlarının ekserji analizi yapabilmemiz için öncelikle yakıtın gerçek yanma denklemini bilmemiz gerekir. Yakıtın tamamen metan (CH₄) ten meydana geldiği kabulünden hareketle, yakıtın gerçek yanma denklemi CH₄ ün yanma denklemine eşittir.



Gerçek yanma denklemi bulunduğundan sonra yanma ürünlerinin toplam kütlesi hesaplanır. Yanma denkleminde de görüldüğü üzere yanma ürünleri CO₂, H₂O ve N₂ dir. Yanma ürünlerinin toplam kütlesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\dot{M}_{\text{Top}} = (1 \times M_{\text{CO}_2}) + (2 \times M_{\text{H}_2\text{O}}) + (7.52 \times M_{\text{N}_2}) \quad (2.27)$$

Yanma ürünlerinin toplam kütlesi bulunduğundan sonra her bir yanma ürününün toplam kütle içerisindeki yüzde değerleri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$y_i = \frac{\dot{M}_i}{\dot{M}_{\text{top}}} \quad (2.28)$$

Doğal gazın yanma verimi % 92 olduğu için yanma işlemi gerçekleştiğinde baca gazı kütlesi % 8 değerinde bir kayıpla çıkacaktır [53].

$$\dot{M}_{\text{Bg}} = (\dot{M}_{\text{Yakıt}} + \dot{M}_{\text{Hava}}) \times 0.92 \quad (2.29)$$

Bu formülde yakıtla birlikte tepkimeye giren hava kütlesi (M_{Hava}) ihmal edilebilir. Böylece baca gazının kütleli debisi bulunmuş olur. Baca gazının kütleli debisi

bulunduktan sonra yanma ürünlerinin bu kütle içerisindeki değerleri yüzdesel değerlerin yardımı ile hesaplanır.

$$\dot{M}_i = \dot{M}_{bg} \times y_i \quad (2.30)$$

Yanma ürünlerinin ekserjilerini hesaplayabilmek için gerekli değerler bulunduktan sonra her bir baca gazı için, termomekanik ve kimyasal ekserji değerleri bulunarak, baca gazındaki toplam ekserji kaybı hesaplanır. Baca gazı değeri kazan firmasının verileri baz alınarak tam yükte 185 °C olarak alınmıştır [54].

Tablo 2.7. Baca gazlarının termodinamik özellikleri

Baca Gazı	h (kJ/kmol)	S (kJ/kmol)	h ₀ (kJ/kmol)	S ₀ (kJ/kmol)
N ₂	1334.2	204.0406	8669	191.502
H ₂ O	15358.2	203.3444	9904	188.72
CO ₂	15829.4	230.854	9364	231.685

Tablo 4.4'te $y_{Çi}^e$ değeri baca gazlarının çevredeki bulunma yüzdesidir.

Tablo 2.8 Baca gazlarının $y_{Çi}^e$ değerleri

Referans Bileşen	Mol Kesri (%)
N ₂	75.67
H ₂ O	3.45
CO ₂	3.03

Formüller eşitlik 3.9’da yerine konulduğu zaman eşitlik 3.14 elde edilip baca gazları için toplam ekserji değeri hesaplanır.

$$\Sigma EX_{BG} = \dot{M}_{N_2} \times EX_{TopN_2} + \dot{M}_{NCO_2} \times EX_{TopCO_2} + \dot{M}_{H_2O} \times EX_{TopH_2O} \quad (2.31)$$

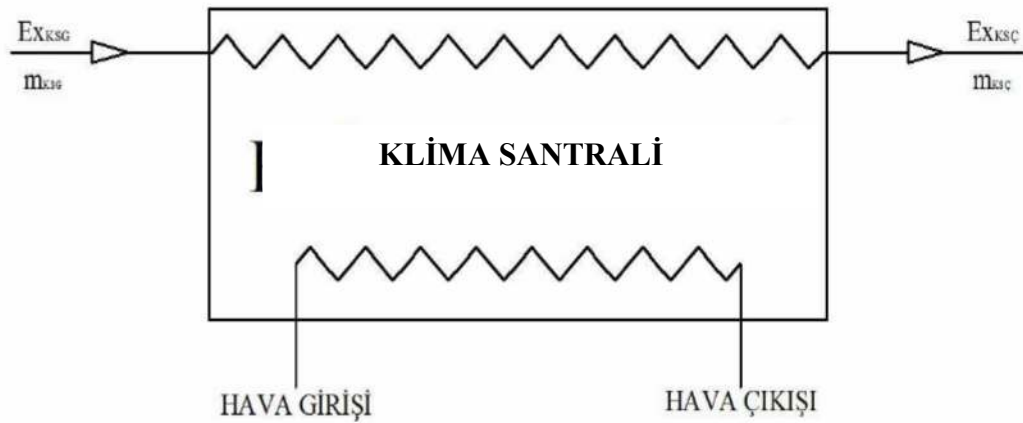
Sistemden kazana gelen yani kazan dönüş suyunun ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$\Sigma EX_{KG} = \dot{m}_{kazan} [(h_{KG} - h_0) - T_0 (S_{KG} - S_0)] \quad (2.32)$$

Kazandan sisteme giden yani kazan çıkış suyunun ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$\Sigma EX_{KÇ} = \dot{m}_{kazan} [(h_{KÇ} - h_0) - T_0 (S_{KÇ} - S_0)] \quad (2.33)$$

Klima santrali hattında meydana gelen ekserjik kayıplar, klima santrali için oluşturulan şemada kazanın giriş ve çıkış ekserjileri gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Klima santraline ait parametreler

Klima santrali giriş ekserji değeri, klima santralinin çıkışında ki suyun sıcaklığı 65 °C olup, ekserjisi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{KS} = \dot{m}_{KS} [(h_{KS} - h_0) - T_0 (S_{KS} - S_0)] \quad (2.34)$$

Klima santrali çıkışı ekserji değeri, klima santralinin çıkışında ki suyun sıcaklığı 65 °C olup, ekserjisi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{KSÇ} = \dot{m}_{KSÇ} [(h_{KSÇ} - h_0) - T_0 (S_{KSÇ} - S_0)] \quad (2.35)$$

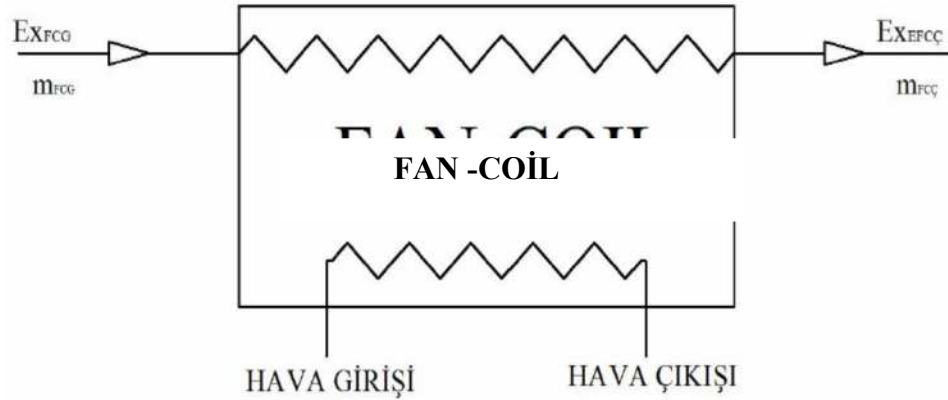
Klima santrali hattı için toplam ekserji kaybı, klima santrali hattına ait parametreler belli olduktan sonra ekserji kayıpları aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{giren} = \Sigma Ex_{çıkan} + \Sigma Ex_{kayıp} \quad (2.36)$$

$$Ex_{KSG} = Ex_{KSÇ} + Ex_{kayıp} \quad (2.37)$$

$$Ex_{kayıp} = Ex_{KSG} - Ex_{KSÇ} \quad (2.38)$$

Fan-coil hattında meydana gelen ekserjik kayıplar, fan coillere sıcak su 75 °C'de girmektedir. Sıcak suyun fan-coillere girdiği andaki ekserjisi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.



Şekil 2.4. Fan -Coil parametreleri

$$\Sigma Ex_{FCG} = \dot{m}_{FC} [(h_{FCG} - h_0) - T_0 (S_{FCG} - S_0)] \quad (2.38)$$

Fan- coil çıkışı ekserji değeri, fan - coillerden 55 °C de sıcak su çıkmakta olup, ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{FC\dot{C}} = \dot{m}_{FC} [(h_{FC\dot{C}} - h_0) - T_0 (S_{FC\dot{C}} - S_0)] \quad (2.39)$$

Fan-Coil hattı için toplam ekserji kaybı, fan coil hattına ait parametreler belli olduktan sonra kayıplar aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{giren} = \Sigma Ex_{çıkan} + \Sigma Ex_{kayıp} \quad (2.40)$$

$$Ex_{FCG} = Ex_{FC\dot{C}} + Ex_{kayıp} \quad (2.41)$$

$$Ex_{kayıp} = Ex_{FCG} - Ex_{FC\dot{C}} \quad (2.42)$$

Isı değıştirici meydana gelen ekserjik kayıplar, ısı değıştirici hastane binasında sıcak su üretimi için kullanılmaktadır. Kazandan 85 °C de gelen eşanjör ısıtma suyu (EIS), 65 °C de kazana geri dönerken, şebekeden gelen 5 °C deki kullanım sıcak suyu (KSS) 60 °C de kullanım alanlarına gitmektedir.



Şekil 2.5. Isı değıştirici (eşanjör) parametreler

Isı değıştirici ısıtma devresi girişı ekserji değeri, ısı değıştirici ısıtma devresi giriş suyu sıcaklığı 85 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{EG} = \dot{m}_E [(h_{EG} - h_0) - T_0 (S_{EG} - S_0)] \quad (2.43)$$

Isı değiştirici ısıtma devresi çıkışı ekserji değeri, ısı değiştirici devresi çıkış suyu sıcaklığı 65°C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{EÇ} = \dot{m}_{EI} [(h_{EÇ} - h_0) - T_0 (S_{EÇ} - S_0)] \quad (2.44)$$

Isı değiştirici kullanım sıcak su devresi giriş ekserji değeri, ısı değiştirici KSS giriş suyu sıcaklığı 5 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{KSG} = \dot{m}_{EKSG} [(h_{EKSG} - h_0) - T_0 (S_{EKSG} - S_0)] \quad (2.45)$$

Isı değiştirici kullanım sıcak su devresi çıkış ekserji değeri, ısı değiştirici KSS çıkış suyu sıcaklığı 60 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{KSÇ} = \dot{m}_{EKSÇ} [(h_{EKSÇ} - h_0) - T_0 (S_{EKSÇ} - S_0)] \quad (2.46)$$

Isı değiştirici için toplam ekserji kaybı, ısı değiştirici ait bütün parametreler belirlendikten sonra ekserji kayıpları aşağıdaki eşitliklerle bulunur.

$$\Sigma Ex_{giren} = \Sigma Ex_{çıkan} + \Sigma Ex_{kayıp} \quad (2.47)$$

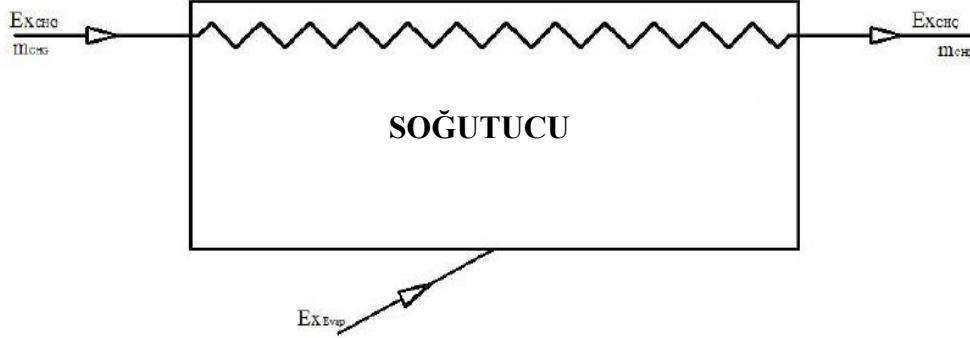
$$Ex_{EIG} = Ex_{EKSG} + Ex_{EIÇ} + Ex_{EKSÇ} + \Sigma Ex_{kayıp} \quad (2.48)$$

$$Ex_{Kayıp} = Ex_{EG} + Ex_{EKSG} - (Ex_{EÇ} + Ex_{EKSÇ}) \quad (2.49)$$

2.3.8. Soğutma Sistemi Ekserji Analizi

Enerji (birinci kanun) analizinde incelediğimiz gibi yaz soğutma sistemine ekserjik açıdan bakacak olursak, bütün cihazları tek tek incelememiz gerekecektir.

Soğutucuda meydana gelen ekserjik kayıplar, soğutucu girişindeki su sıcaklığı 11 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.



Şekil 2.6. Soğutucu (chiller) parametreleri

$$\Sigma Ex_{CHG} = \dot{m}_{CHG} [(h_{CHG} - h_0) - T_0 (S_{CHG} - S_0)] \quad (2.50)$$

Soğutucu çıkışındaki su sıcaklığı 6 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{CHC} = \dot{m}_{CHC} [(h_{CHC} - h_0) - T_0 (S_{CHC} - S_0)] \quad (2.51)$$

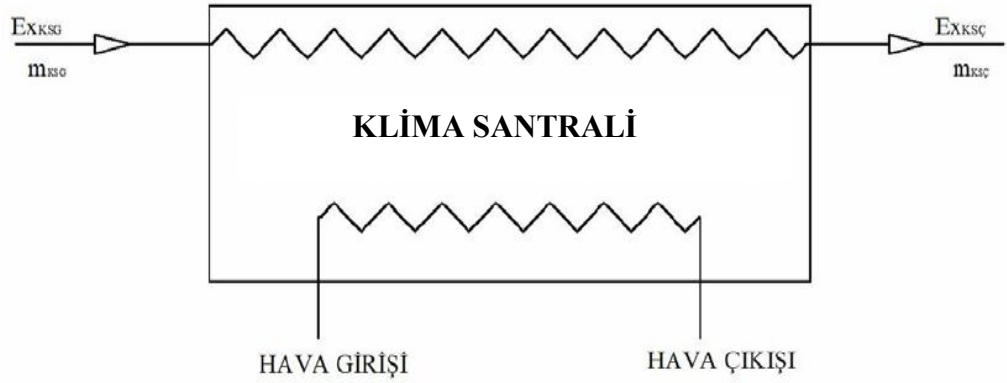
Soğutucu için toplam ekserji kaybı, soğutucu cihazına ait bütün parametreler belli olduktan sonra ekserji kaybı aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{CHG} = \Sigma Ex_{Evap} + \Sigma Ex_{CHC} + Ex_{Kayıp} \quad (2.52)$$

$$Ex_{Kayıp} = Ex_{CHG} - Ex_{CHC} \quad (2.53)$$

$$Ex_{giren} = Ex_{çıkan} + Ex_{Kayıp} \quad (2.54)$$

Klima santrali hattında meydana gelen ekserjik kayıplar, klima santrali girişindeki su sıcaklığı 6 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.



Şekil 2.7. Klima santrali parametreleri

$$\Sigma Ex_{KSG} = \dot{m}_{KS} [(h_{KSG} - h_0) - T_0 (S_{KSG} - S_0)] \quad (2.55)$$

Klima santrali çıkışı ekserji değeri, klima santrali çıkışındaki su sıcaklığı 11 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{KSÇ} = \dot{m}_{KS} [(h_{KSÇ} - h_0) - T_0 (S_{KSÇ} - S_0)] \quad (2.56)$$

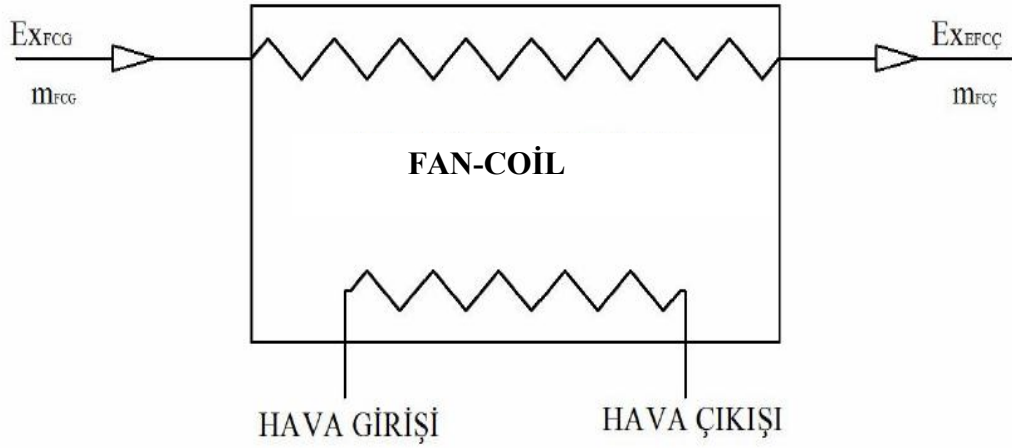
Klima Santrali için toplam ekserji kaybı, klima santraline ait bütün parametreler belli olduktan sonra ekserji kayıpları aşağıdaki eşitliklerle bulunur.

$$\Sigma Ex_{giren} = \Sigma Ex_{çıkan} + \Sigma Ex_{Kayıp} \quad (2.57)$$

$$Ex_{KSG} = Ex_{KSÇ} + Ex_{KSÇ} \quad (2.58)$$

$$Ex_{Kayıp} = Ex_{KSG} - Ex_{KSÇ} \quad (2.59)$$

Fan coil hattında meydana gelen ekserjik kayıplar, fan coil cihazlarının girişindeki su sıcaklığı 6 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.



Şekil 2.8. Fan-coil parametreleri

$$\Sigma Ex_{FCG} = \dot{m}_{FC} [(h_{FCG} - h_0) - T_0 (S_{FCG} - S_0)] \quad (2.60)$$

Fan-coil çıkışı ekserji değeri, fan coil cihazlarının çıkışındaki su sıcaklığı 11 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{FCC} = \dot{m}_{FC} [(h_{FCC} - h_0) - T_0 (S_{FCC} - S_0)] \quad (2.61)$$

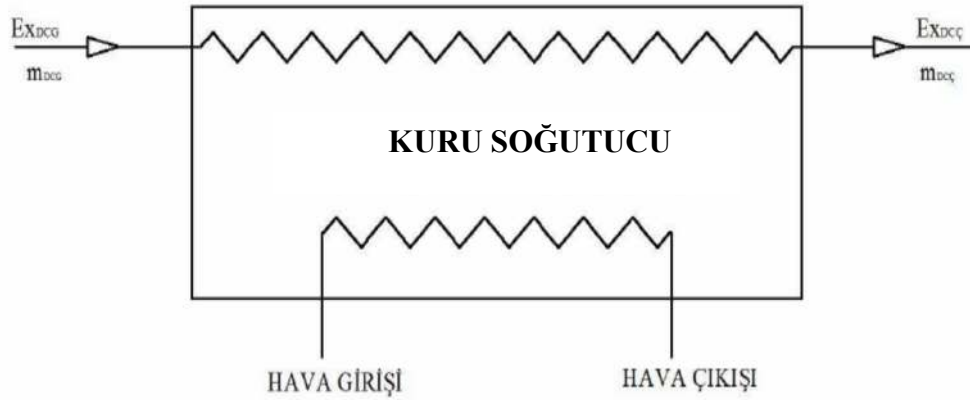
Fan-coil için toplam ekserji kaybı, fan coil cihazlarına ait parametreler belirlendikten sonra ekserji kayıpları aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{giren} = \Sigma Ex_{çıkan} + \Sigma Ex_{Kayıp} \quad (2.62)$$

$$Ex_{FCG} = Ex_{FCC} + Ex_{Kayıp} \quad (2.63)$$

$$Ex_{Kayıp} = Ex_{FCG} - Ex_{FCC} \quad (2.64)$$

Kış soğutması, enerji analizinde de bahsedildiği gibi özel bir soğutma yöntemidir. Bu soğutma sisteminde kuru soğutucu (dry-cooler) cihazı çalışmakta ısı değiştirici (chiller) cihazı devre dışı kalmaktadır. Burada da her bir cihazı tek tek inceleyecek olduğumuzda, kuru soğutucu cihazında meydana gelen ekserjik kayıplar, kuru soğutucu cihazlarının girişindeki su sıcaklığı 13 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.



Şekil 2.9. Kuru soğutucu (dry-cooler) parametreleri

$$\Sigma EX_{DCG} = \dot{m}_{DC} [(h_{DCG} - h_0) - T_0 (S_{DCG} - S_0)] \quad (2.65)$$

Kuru soğutucu çıkışı ekserji değeri, kuru soğutucu cihazlarının çıkışındaki su sıcaklığı 8 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma EX_{DCC} = \dot{m}_{DC} [(h_{DCC} - h_0) - T_0 (S_{DCC} - S_0)] \quad (2.66)$$

Kuru soğutucu için toplam ekserji kaybı, kuru soğutucu cihazlarına ait parametreler belli olduktan sonra ekserji kaybı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma EX_{giren} = \Sigma EX_{çıkan} + \Sigma EX_{Kayıp} \quad (2.67)$$

$$EX_{DCG} = EX_{DCC} + EX_{Kayıp} \quad (2.68)$$

$$EX_{Kayıp} = EX_{DCG} - EX_{DCC} \quad (2.69)$$

Soğutucu ısı değıştirici kış soğutması için kullanılmaktadır. Kuru soğutucu 8°C de gelen soğutucu (eşanjör) soğutma suyu, 13°C de kuru soğutucuya (dry-cooler) geri dönerken, klima santrali ve fan-coil hatlarından 15°C de gelen kış soğutması sistemi suyu 10°Cye kadar soğuyup sisteme geri dönmekte ve kış soğutması tamamlanmaktadır.



Şekil 2.10. Soğutucuya ait parametreler

Isı değıştirici soğutma devresi girişı ekserji değeri, ısı değıştirici soğutma devresi girişindeki su sıcaklığı 8 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{EG} = \dot{m}_E [(h_{EG} - h_0) - T_0 (S_{EG} - S_0)] \quad (2.70)$$

Isı değıştirici soğutma devresi çıkışı ekserji değeri, ısı değıştirici soğutma devresi çıkışındaki su sıcaklığı 13 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{EÇ} = \dot{m}_E [(h_{EÇ} - h_0) - T_0 (S_{EÇ} - S_0)] \quad (2.71)$$

Isı değıştirici kullanım yerleri giriş ekserji değeri, ısı değıştirici kullanım yerleri girişindeki su sıcaklığı 15 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{KYG} = \dot{m}_{KY} [(h_{KYG} - h_0) - T_0 (S_{KYG} - S_0)] \quad (2.72)$$

Isı değiştirici kullanım yerleri çıkış ekserji değeri, ısı değiştirici kullanım yerleri çıkışındaki su sıcaklığı 10 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{KYÇ} = \dot{m}_{KY} [(h_{KYÇ} - h_0) - T_0 (S_{KYÇ} - S_0)] \quad (2.73)$$

Isı değiştirici için toplam ekserji kaybı, soğutma ısı değiştirici ait bütün parametreler belli olduktan sonra ekserji kaybı aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{giren} = \Sigma Ex_{çıkan} + \Sigma Ex_{Kayıp} \quad (2.74)$$

$$Ex_{ESG} + Ex_{KYG} = Ex_{ESÇ} + Ex_{KYÇ} + Ex_{Kayıp} \quad (2.75)$$

$$Ex_{Kayıp} = Ex_{ESG} + Ex_{KYG} - (Ex_{ESÇ} + Ex_{KYÇ}) \quad (2.76)$$

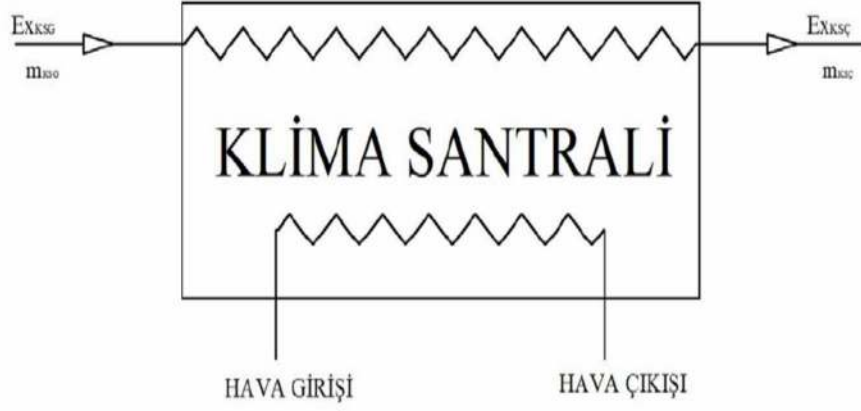
Klima santrali hattında meydana gelen ekserjik kayıplar, klima santrali girişindeki su sıcaklığı 10 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{KSG} = \dot{m}_{KY} [(h_{KSG} - h_0) - T_0 (S_{KSG} - S_0)] \quad (2.77)$$

Klima santrali çıkışı ekserji değeri, klima santrali çıkışındaki su sıcaklığı 15 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{KSÇ} = \dot{m}_{KY} [(h_{KSÇ} - h_0) - T_0 (S_{KSÇ} - S_0)] \quad (2.78)$$

KLİMA SANTRALİ



Şekil 2.11. Klima santraline ait parametreler

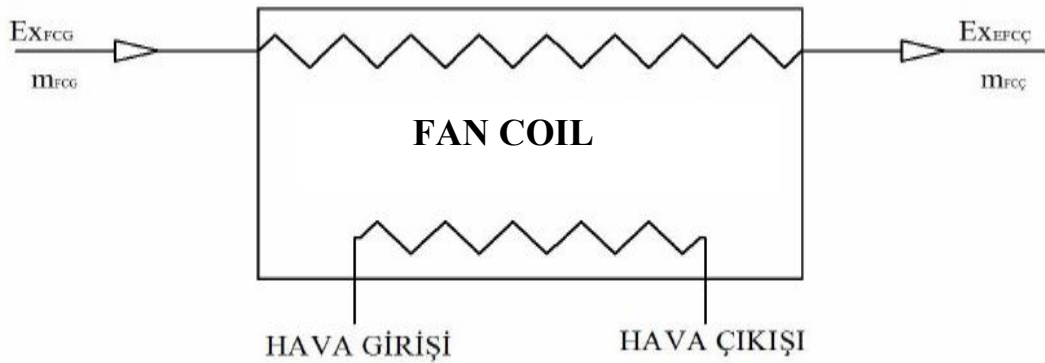
Klima santrali için toplam ekserji kaybı, klima santraline ait bütün parametreler belli olduktan sonra ekserji kaybı aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{giren} = \Sigma Ex_{çıkan} + \Sigma Ex_{Kayıp} \quad (2.79)$$

$$Ex_{KSG} = Ex_{KSÇ} + Ex_{Kayıp} \quad (2.80)$$

$$Ex_{Kayıp} = Ex_{KSG} - Ex_{KSÇ} \quad (2.81)$$

Fan coil hattında meydana gelen ekserjik kayıplar, fan coillerin girişindeki su sıcaklığı 10 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.



Şekil 2.12. Fan-coil cihazına ait parametreler

$$\Sigma Ex_{FCG} = \dot{m}_{FC} [(h_{FCG} - h_0) - T_0 (S_{FCG} - S_0)] \quad (2.82)$$

Fan-coil çıkışı ekserji değeri, fan coillerin çıkışındaki su sıcaklığı 15 °C olup ekserji değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{FCÇ} = \dot{m}_{FC} [(h_{FCÇ} - h_0) - T_0 (S_{FCÇ} - S_0)] \quad (2.83)$$

Fan-coil için toplam ekserji kaybı, fan coillere ait bütün parametreler belli olduktan sonra ekserji kaybı aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$$\Sigma Ex_{giren} = \Sigma Ex_{çıkan} + \Sigma Ex_{Kayıp} \quad (2.84)$$

$$Ex_{FCG} = Ex_{FCÇ} + Ex_{Kayıp} \quad (2.85)$$

$$Ex_{Kayıp} = Ex_{FCG} - Ex_{FCÇ} \quad (2.86)$$

Bütün sistemlerin ve sistem elemanlarının ekserji değerlerini bulmak için eşitlikler oluşturulduktan sonra verim değerlerini bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılır [55].

$$\eta = \frac{\sum Ex_{Xg}}{\sum Ex_{Xç}} \quad (2.87)$$

Verim değeri her bir cihaz için ve bütün ısıtma soğutma sistemleri için hesaplanmıştır.

Sistemin toplam enerji verimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\psi_{sis} = \frac{\dot{Ex}_{bina}}{\dot{Ex}_{top}} \quad (2.88)$$

Ekserji esneklik faktörü $F_{esneklik}$ aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$F_{esneklik} = \frac{\dot{Ex}_{HS}}{\dot{Ex}_{top}} \quad (2.89)$$

3. BULGULAR

3.1. Örnek Poliklinik İçin Ekserji Hesabı

Bu çalışmada, Elazığ' da kurulu bulunan özel bir hastanenin seçilen bazı kısımları için düşük ekserji metodu kullanılarak (Lowex) enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Buna göre öncelikli olarak, zemin katta bulunan Göz polikliniği seçilmiştir. Poliklinik toplam olarak 17 m² zemin alanına sahiptir. Yerleşim şekli itibari ile kuzey-doğu ve güney-doğu yönlerine bakmaktadır. Poliklinik tavandan ısıtılmalı olup, ısıtma doğalgaz kazanı ve VRF sistemi ile yapılmaktadır. Poliklinikte sürekli olarak bir doktor ve bir sekreter olmak üzere iki kişi bulunmaktadır. Bina duvarı tamamen yalıtımlı olup, zemin antibakteriyel PVC ile tavan ise ters tavan olup alçıpan ile kaplıdır. Aşağıda poliklinik ile ilgili proje değerler olarak, toplam hacim, 52 m³, net zemin alanı, 17 m², iç hava sıcaklığı: 21 °C ve dış hava sıcaklığı ise - 12 °C (referans sıcaklık) olarak alınmıştır.

3.1.1 Örnek Poliklinik Isı Kaybı Hesabı

Bilindiği üzere, herhangi bir binanın ısı ihtiyacını hesaplamak için ilk önce ısı kaybı hesaplanmalıdır. Bunun içinde duvarlar, pencereler, kapılar, zemin ve tavanlardan olan ısı kaybı hesapları yapılır. Tablo 3.1' de göz polikliniğin özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Göz polikliniği özellikleri

Bina Bölümü	Sembol	Alan (A _i) m ²	Isıl Geçirgenlik U _i W/(m ² K)	U _i * A _i W/K	Sıcaklık Düzeltilme Faktörü F	U _i x A _i x F W/K
Dış Cephe	DC1	1.00	0.50	0.50	1	0.50
	DC2				1	
Pencere	P 1	10.00	2.80	28.00	1	28.00
	P 2	5.50	2.80	15.40	1	15.40
Kapı	K 1	1.10	2.36	2.60	1	2.60
Çatı	Ç 1				1	
	Ç 2				1	
Üst Kat, Zemin	Ü 4	17.00			0.8	
	Ü5				0.8	
Çatı Odası	ÇT 1				0.8	
Isıtılmamış Oda ve Zeminler	W 1				0.8	
	W 2				0.5	
Isıtılmamış Kiler ve Toprak Temashlı Yüzeyler	G 1				0.6	
	G 2				0.6	
	G 3				0.6	
	G 4				0.6	
		ΣA _i =A=34.60				Isı iletim kaybı Σ U _i x A _i x F _{xi} = 46.50

İletim ısı kaybı, burada Q_{top} toplam ısı iletim kaybı olup, toplam pencere, kapı ve dış cephe alanlarından olan ısı kayıplarının hesaba katılmasıyla bulunmuştur. Burada T₁ ve T_{ref} sırası ile ortam sıcaklığı (21 °C) ile dış sıcaklığı (-12 °C) ifade etmekte olup, F = 1 (sıcaklık düzeltme faktörü) olarak alınmıştır. Toplam ısı iletim kaybı ise 1534.37 W/K olarak bulunmuştur.

$$Q_{pen} = A_p \times F \times (T_1 - T_{ref}) \quad (3.1)$$

$$Q_{pen} = 1432.2 \text{ W}$$

$$Q_{dış} = A_d \times F \times (T_1 - T_{ref}) \quad (3.2)$$

$$Q_{dış} = 16.5 \text{ W}$$

$$Q_{top} = \Sigma (U_i \times A_i \times F) \times (T_1 - T_{ref}) \quad (3.3)$$

$$\Phi_{top} = 1534.37 \text{ W/K}$$

Özgöl (specific) ısı kaybı, ısı iletim kaybından farklı olarak polikliniğin birim alan başına düşen ısı kaybını göstermektedir. Buna göre;

$$Q_{top}' = \Sigma (U_i \times A_i \times F_{xi}) / A \quad (3.4)$$

$$Q_{top}' = 1.34 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Havalandırma ısı kaybı, burada doğal havlandırmadan olan ısı kaybı hesaplanmıştır. ve kış aylarında cebri havalandırma olmadığından ısı değiştirgeci verimi sıfır alınmıştır. Havalandırma katsayısı, $n_d = 0.4$ seçilmiştir. Havalandırma ısı kaybı, burada V poliklinik hacmi, c havanın özgül ısı ve ρ da yoğunluğunu ifade etmektedir.

$$Q_{hav} = (c \times \rho \times V \times n_d \times (1-\eta_v)) \times (T_1 - T_{ref}) \quad (3.5)$$

$$Q_{hav} = 229.94 \text{ W}$$

3.1.2 Örnek Poliklinik için Isı Kazançları

Güneşten olan ısı kazanımı hesaplanırken pencerelerin yönleri dikkate alınmıştır. Tablo 3.2'de görüldüğü gibi pencere alanı ve ısıl geçirgenliğe bağlı olarak, pencereden olan güneş ısı kazançları hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken pencere çerçeve kesri, $F_{fr} = 0.46$ olarak, I_g yön zammı 100 W/m^2 alınmıştır.

Tablo 3.2 Pencere zam değerleri

Yönler	I_{gn} [W/m ²]	Pencere Alanı A_p [m ²]	Toplam Geçirgenlik g	$I_{gn} \times (1-F_{fr}) \times A_p \times g$ W
Güney-Doğu, Düney-Batı	100	10.00	0.51	275.56
		-	-	-
Kuzey-Doğu, Kuzey-Batı	100	-	-	-
		-	-	-
Başka Yönlere	100	-	-	-
		-	-	-
Eğimli Çatı Penceresi < 30°	5	-	-	-
Güneş Isı Kazançları	$Q_{gn} = \Sigma (I_{gn} \times (1-F_{fr}) \times A_p \times g)$			$Q_{gn} = 275.56$

$$Q_{gn} = \Sigma (I_{gn} \times (1-F_{fr}) \times A_p \times g) \quad (3.6)$$

$$Q_{gn} = 275.56 \text{ W}$$

Poliklinikteki sakinlerin sayısı, $n_o = 2$ olarak seçilmiş ve sakinlerden dolayı iç kazanımlar,

$$Q''_i = 80 \text{ W/m}^2 \text{ (Kişi başına özgül ısı oranı)}$$

$$Q_{in} = n_o \times \Phi''_i \quad (3.7)$$

$$Q_{in} = 160 \text{ W}$$

şeklinde elde edilmiştir. Spesifik iç ekipmanlardan olan ısı kazançları, toplam yüzey alanı ve ortalama ekipman kazanç değeri (bilgisayarlar vb. ısı yayan materyaller) alınarak bulunmuştur.

$$A_{nt} = 17 \text{ m}^2$$

$$Q''_{iç} = 2.05 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{iç} = Q''_{iç} \times A_{nt} \quad (3.8)$$

$$Q_{iç} = 34.85 \text{ W}$$

Diğer kullanımlardan olan ısı kazancı, aydınlatma gücü toplam yüzey alanına göre hesap edilmiştir. Spesifik aydınlatma gücü, $p_L = 2 \text{ W}$ olarak alınmıştır. Aydınlatma gücü,

$$P_L = p_L \times A_{nt} \quad (3.9)$$

$$P_L = 34 \text{ W}$$

Spesifik havalandırma gücü, $p_v = 112 \text{ [Wh/m}^3 \text{]}$ olarak alınmıştır. Havalandırma elektrik gücü, oda hacmi 52 m^3 olarak alınmış ve göz polikliniği için havalandırma gücü hesaplanmıştır.

$$P_v = p_v \times v \times n_d \quad (3.10)$$

$$P_v = 2329.6 \text{ W}$$

Poliklinik ısı talebi, bütün ısı iletimi ve havalandırma kayıpları gibi, iç kazançlar ve güneş kazançları termodinamiğin birinci kanunu uygulanarak enerji dengesine dahil edilmiştir. Isı talebi (Q_H), yukarıda bulduğumuz ısı kayıplarının toplamı ile ısı

kazançlarının farkı ısı talebi miktarını verir ve bu termodinamikte enerji dengesi enerji olarak adlandırılır.

$$Q_H = (Q_t + Q_{hav}) - (Q_g + Q_{iç} + Q_{in} + P_L) \quad (3.11)$$

$$Q_H = 1259.9 \text{ W}$$

Özgül ısı talebi, ısı talebi miktarının poliklinik yüzey alanına bölünerek m² başına düşen ısı talebi olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Q''_{\delta} = Q_H / A_{nt} \quad (3.12)$$

$$Q''_{\delta} = 74.11 \text{ W/m}^2$$

3.2. Örnek Poliklinik Ekserji Analizi Hesaplama Sonuçları

Ekserji analizi için dış hava sıcaklığı referans sıcaklık olarak alınır ve böylece binanın enerji kayıpları, enerji talebi belirlenir (Tablo 3.3). Oda havası kalite faktörü (F_{oda} - Carnot Faktörü) proje verilerinde belirtilen referans sıcaklıklarımız, dış ortam için -12 °C ve iç oda sıcaklığı için 21 °C olarak alınmıştır.

Göz polikliniğinin ekserji (Ex_{oda}) miktarını belirlemek için, mahalin ihtiyaç duyduğu ısı miktarı ve oda hava kalite faktörü değerlerinden faydalanılarak hesap edilir. Yani oda sıcaklığını 21 °C' de tutmak için verilmesi gereken enerji miktarıdır, ki bu da polikliniğin enerji talebini belirler. Poliklinik ısıtma sıcaklığı (T_{ist}), ısıtıcının yüzey sıcaklığı yani, hava ısıtıcısının, havayı şartlandırmak suretiyle ne kadar ısı elde edildiği hesaplanmıştır.

Hava ısıtıcısının kalite faktörü ($F_{ısıtıcı}$), polikliniğin istenilen 21 °C ortam sıcaklığı ile, ısıtıcının ısıtma sıcaklığı olan θ_{ist} değerinin oranlaması ile ısıtıcı kalite faktörü elde edilir. Isıtıcı ekserji yükü (Ex_{ist}), ısı talebi ile ısıtıcı kalite faktörü değerlerinin yardımı ile hesaplanır, bu da ısıtıcının ekserji yükünü verir. Bir başka deyişle, ısıtıcı tarafından sağlanan enerjinin ne kadarının kullanılabilir olduğu hakkında fikir verir.

Ortama verilen ısıнын kaybı, bu kısımdaki ve sonraki emisyon terimleri baca emisyonu olmayıp, ısıнын mahal içerisine dağıtımı olarak tanımlanmıştır. Isıl emisyon verimi $\eta_{em} = 0.95$ olarak alınmıştır. Ortama verilen ısıнын ekserji kaybı (ΔEx_{em}), (Tablo 3.3), burada tavandan olan ısıtma sistemleri için $T_{ref} = -12^{\circ}\text{C}$ dış ortam sıcaklığıdır, T emisyon

sisteminin sıcaklığı olup T_1 giriş sıcaklığı 50°C , T_2 ise çıkış sıcaklığı 40°C olarak alınmıştır.

Ortama verilen ısının ekserji yükü (Ex_{em}), ısıtılmış havanın oda içerisine dağıtımındaki ekserji miktarını ifade eder. Ortama verilen ısının enerji yükü (Q_{ed}), burada toplam enerji miktarı yani, kullanılabilir enerji (ekserji) dağıtımdan dolayı olan enerji kaybı ile toplamı polikliniğe verilen enerji miktarını gösterir. Dağıtım sisteminin ısı kaybı (Q_{ikd}), sistemden polikliniğe verilen ısının kayıp olan miktarıdır ve η_d dağıtım sisteminin verimi olup 0.98 alınmıştır. Dağıtım sisteminin ekserji kaybı (ΔEx_d), sistemden polikliniğe verilen ısının kayıp olan ekserji miktarıdır. Kullanım sıcak suyu enerji yükü (Q_{kss}), sıcak su üretim için verilen enerji miktarı hesaplanmıştır ve burada ΔT kullanım suyunun giriş-çıkış sıcaklık farkıdır. Üretim ısı kaybı (Q_{isi}), burada üretilen ısı kaybı hesabı yapılmıştır, $F_{\text{çev}}$ birincil fosil yakıt faktörü 1.1 olarak alınmıştır (standart doğalgaz kazanları için).

Tablo 3.3 Hesaplamalar

$F_{oda} = 1 - T_2 / T_1$	$F_{oda} = 0.11$
$Ex_{oda} = Q_H \times F_{oda}$	$Ex_{oda} = 141.35 \text{ W}$
$T_{isi} = \Delta \log \theta + T_1$ (logaritmik ortalama sıcaklık farkı)	$T_{isi} = 44.65^\circ\text{C}$
$F_{isitici} = 1 - (T_2 / T_{isi})$	$F_{isitici} = 0.18$
$Ex_{isi} = Q_H \times F_{isitici}$	$Ex_{isi} = 224.58 \text{ W}$
$Q_{em} = Q_H \times (1 / \eta_{em} - 1)$	$Q_{em} = 66.31 \text{ W}$
$\Delta Ex_{em} = \{ (Q_H + Q_{em}) / (T_1 - T_2) \}$ $\times \{ (T_1 - T_2) - T_{ref} \times \ln (T_1 / T_2) \} - Ex_{isi}$	$\Delta Ex_{em} = 12.93 \text{ W}$
$Ex_{em} = Ex_{isi} + \Delta Ex_{em}$	$Ex_{em} = 237.53 \text{ W}$
$Q_{ed} = Q_H + Q_{em}$	$Q_{ed} = 1326.21 \text{ W}$
$Q_{ikd} = (Q_H + Q_{ed}) \times (1 / \eta_d - 1)$	$Q_{ikd} = 27.07 \text{ W}$
$\Delta Ex_d = \{ Q_{ikd} / \Delta T_d \} \times \{ (\Delta T_d - T_{ref} \times \ln (T_d / T_d - \Delta T_d)) \}$	$\Delta Ex_d = 4.09 \text{ W}$
$Ex_d = Ex_{em} + \Delta Ex_d$	$Ex_d = 241.61 \text{ W}$
$Q_d = Q_{dm} + Q_{ikd}$	$Q_d = 1353.28 \text{ W}$
$Ex_{dp} = Ex_d + \Delta Ex_{dp}$	$Ex_{dp} = 241.62 \text{ W}$

$Q_{dp} = (Q_{dm} + Q_{ikd}) \times (1 - F_{sol})$	$Q_{dp} = 1353.28 \text{ W}$
$Q_{KSS} = v \times c_p \times \rho \times \Delta T_{KSS} \times n_o$	$Q_{KSS} = 214.38 \text{ W}$
$Ex_{KSS} = Q_{KSS} / (T_{1KSS} - T_{2KSS}) \times \{(T_{1KSS} - T_{2KSS}) - T_{ref} \times \ln(T_{1KSS} / T_{2KSS})\}$	$Ex_{KSS} = 29.06 \text{ W}$
$Q_{\bar{u}} = Q_d \times F_l$	$Q_{\bar{u}} = 1353.28 \text{ W}$
$Q_{Is1} = Q_{\bar{u}} \times (1/\eta_{\bar{u}} - 1) + (Q_{\bar{u}} / \eta_{\bar{u}}) \times F_{\zeta ev}$	$Q_{Is1} = 338.32 \text{ W}$
$E_{\bar{u},fos} = Q_{\bar{u}} / Q_{\bar{u}} \times F_{p,fos} / (F_{p,fos} + F_{p,y})$	$E_{\bar{u},fos} = 1691.60 \text{ W}$
$Ex_{\bar{u},fos} = Q_{\bar{u}} / \eta_{\bar{u}} \times F_{p,fos} / (F_{p,fos} + F_{p,y}) \times F_{q,fos}$	$Ex_{\bar{u},fos} = 1590.10 \text{ W}$
$E_{W,fos} = Q_{KSS} / \eta_{G,W} \times F_{p,fos,W} / (F_{p,fos,W} + F_{p,y,W}) \times F_W$	$E_{W,fos} = 267.97 \text{ W}$
$Ex_{fos} = E_{fos} \times F_{q,fos}$	$Ex_{fos} = 254.57 \text{ W}$
$P_{L,fos} = P_L \times F_{p,el,fos} / (F_{p,el,fos} + F_{p,el,y})$	$P_{L,fos} = 30.60 \text{ W}$
$Ex_{L,fos} = P_{L,fos} \times F_{q,el,fos}$	$Ex_{L,fos} = 30.06 \text{ W}$
$P_{H,fos} = P_V \times F_{p,el,fos} / (F_{p,el,fos} + F_{p,el,y})$	$P_{H,fos} = 2096.64 \text{ W}$
$P_{H,fos} = P_V \times F_{p,el,fos} / (F_{p,el,fos} + F_{p,el,y})$	$P_{H,fos} = 232.96 \text{ W}$
$Ex_{H,fos} = P_{V,fos} \times F_{q,el,fos}$	$Ex_{H,fos} = 2329.60 \text{ W}$
$Ex_{H,fos} = P_{V,fos} \times F_{q,el,fos}$	$Ex_{H,fos} = 232.96 \text{ W}$
$P_{a,fos} = (\Sigma P_{a,i}) \times F_{p,el,fos} / (F_{p,el,fos} + F_{p,el,y})$	$P_{a,fos} = 28.30 \text{ W}$
$P_{a,fos} = (\Sigma P_{aux,i}) \times F_{p,el,fos} / (F_{p,el,fos} + F_{p,el,y})$	$P_{a,fos} = 3.14 \text{ W}$
$P_i = P_{L,fos} + P_{L,y} + P_{V,fos} + (P_{a,fos} + P_{a,y})$	$P_i = 2162.09 \text{ W}$
$Ex_p = Ex_{L,fos} + Ex_{L,y} + Ex_{V,fos} + Ex_{V,y} + (P_{a,fos} + P_{a,y})$	$Ex_p = 2395.05$
$E_{p,fos} = E_{y,fos} \times (F_{p,fos} + F_{p,y})$	$E_{p,fos} = 1860.75 \text{ W}$
$Ex_{p,fos} = Ex_{\bar{u},fos} \times (F_{p,fos} + F_{p,y})$	$Ex_{p,fos} = 1749.11 \text{ W}$
$Q_{Is} = (E_{p,fos} + E_{p,y}) - (E_{\bar{u},fos} + E_{\bar{u},y})$	$Q_{Is,b} = 1691.6 \text{ W}$
$E_{p,W} = E_{W,fos,S1} \times (F_{p,fos,W,S1} + F_{p,y,W,S1}) + (\Phi_{KSS} / \eta_{G,W,S1}) \times F_{env,HP,S1} + (E_{W,y,S1} - (\Phi_{KSS} / \eta_{G,W,S1} \times F_{env,HP,S1}) \times (F_{p,fos,W,S1} + F_{p,y,W,S1}) + E_{W,fos,S2} \times (F_{p,fos,W,S2} + F_{p,y,W,S2}) + E_{W,y,S2} \times (F_{p,fos,W,S2} + F_{p,y,W,S2})$	$E_{prim,W} = 305.48 \text{ W}$

$P_p = P_L \times F_{p,el,fos} + P_L \times F_{p,el,y} + P_V \times F_{p,el,fos} + P_V \times F_{p,el,y} + \Sigma P_{a,i} \times F_{p,el,fos} + \Sigma P_{a,i} \times F_{p,el,y}$	$P_p = 7185.14W$
$E_x = E_{x_{L,fos}} \times F_{p,el,fos} + E_{x_{L,y}} \times F_{p,el,y} + E_{x_{V,fos}} \times F_{p,el,fos} + E_{x_{V,y}} \times F_{p,el,y} + P_{a,fos} \times F_{p,el,fos} + P_{a,y} \times F_{p,el,y}$	$E_{x_p} = 5927.15 W$
$E_{top} = (E_{p,fos} + E_{p,fos} + E_{p,y} + E_{p,y}) + P_p + E_{p,w}$	$E_{top} = 9367.45W$
$E_{x_{top}} = (E_{x_{p,fos}} + E_{x_{p,fos}} + E_{x_{p,y}} + E_{x_{p,y}}) + E_{x_p} + E_{x_{p,w}}$	$E_{x_{top}} = 9239.73W$

3.2.1. Örnek Poliklinik için Karakteristik Ekserji Değerleri

Genel ekserji verimliliği, poliklinik için hesaplamalardan elde edilen ekserji miktarının toplam ekserji miktarına bölünmesiyle Denklem (3.13)' deki gibi elde edilir.

$$\psi_{o,p} = E_{x_{oda}} / E_{x_{top}} \quad (3.13)$$

$$\psi_{o,p} = 0.015$$

Ekserji harcama rakamları,

$$E_{\tilde{u}} = (E_{x_{\tilde{u},fos,S1}} + E_{x_{\tilde{u},y,S1}} + P_{a,\tilde{u},S1}) / Q_s \quad (3.14)$$

$$E_{\tilde{u}} = 1.192$$

$$E_{em} = (E_{x_{em}} + P_{a,em}) / \Phi_H \quad (3.15)$$

$$E_{em} = 0.189$$

$$E_{talep} = F_{q,oda} = 1 - T_{ref} / T_1 \quad (3.16)$$

$$E_{talep} = 0.112$$

şeklinde hesaplanır.

3.2.2. Örnek Poliklinik için Karakteristik Enerji Değerleri

Polikliniğin genel enerji verimliliği, ısı talebinin toplam enerji miktarına bölünmesiyle elde edilmiştir.

$$\eta_o = 1259.9 / 9367.45$$

$$\eta_o = Q_H / E_{top} \quad (3.17)$$

$$\eta_o = 0.134$$

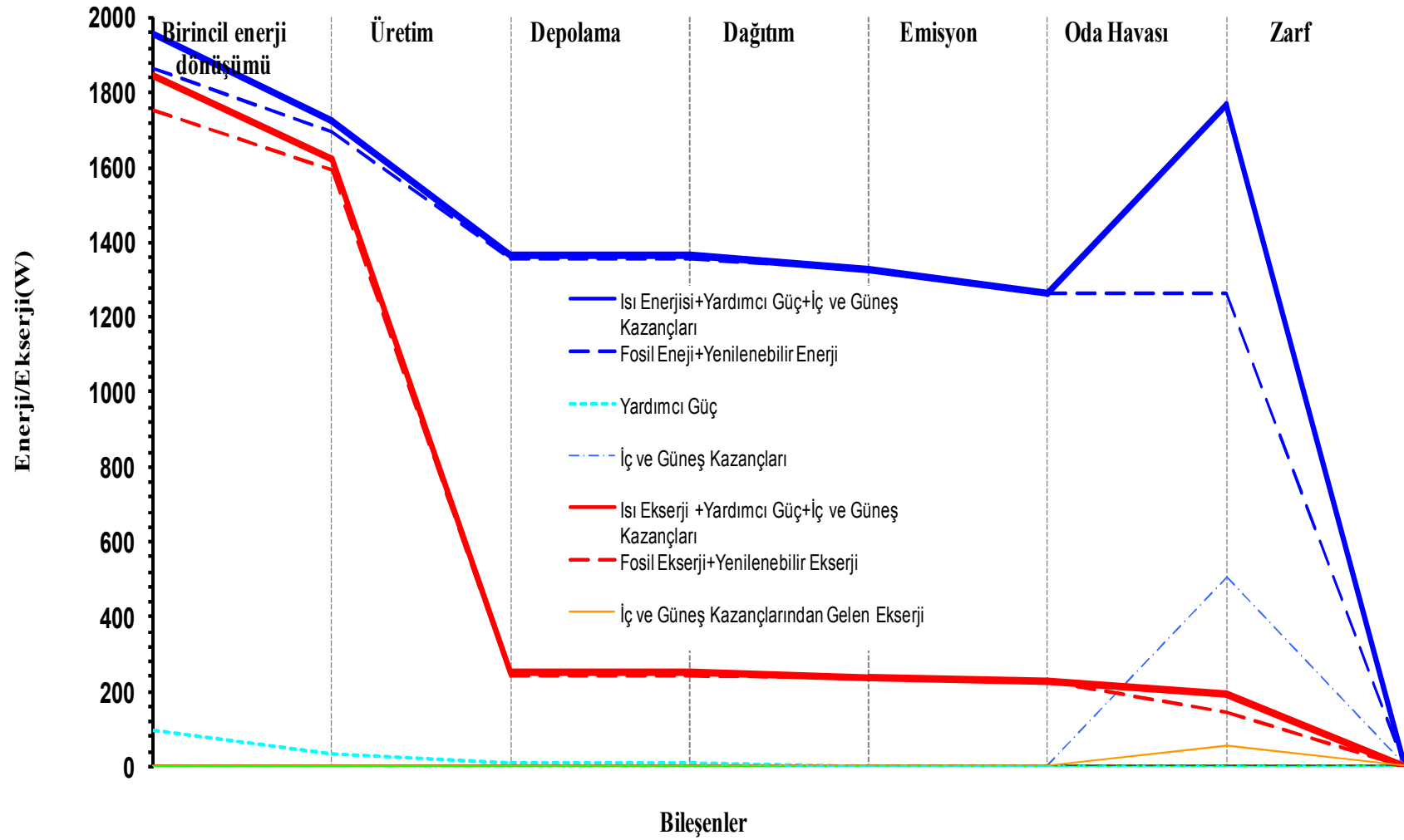
Şekil 3.1 ve şekil 3.2’ de verilen grafikler enerji kaybının olduğu kısımları gösterdiği gibi ek verim artışı elde edebileceğimiz noktaları da görmemize olanak sağlamaktadır. Kullanılabilir enerji akışı ve kaynaktan en son noktaya olan ısıtma işlemi yolu ile ekserji akışı gösterilmiştir. Burada önem taşıyan yenilenebilir enerji, yeşil ve turuncu çizgi ile gösterilmiştir. Ayrıca, grafiklerde kullanılabilir enerji akışı ve kaynaktan en son noktaya ısıtma ile ekserji akışı ifade edilmiştir. Ekserji ölü duruma ulaşana kadar her bir bölümde tüketilmiştir. Sistemin en büyük enerji girişi doğalgaz kazanının vermiş olduğu enerji ile oluşmuştur. Sistemin en düşük enerji girişi ise yenilebilir enerji kaynağından meydana gelmektedir. Ayrıca, oda havası sisteminde enerji ve ekserji miktarının artış gösterdiği görülür, bunun nedeni ise oda içerisindeki iç kazançlardır. Turuncu ve ince mavi kesikli çizgi poliklinik ortamının güneş kazanımlarını göstermekte ve buda ekserjiyi olumlu yönde etkilemektedir. Aynı zamanda şekil 3.2, kullanım sıcak suyunun toplam enerji ve ekserji üzerindeki etkisini göstermektedir.

Şekil 3.3’ de, sistemin tüm ekserji ve enerji kayıpları ayrı ayrı gösterilmiştir, negatif değer olan kısımlar ise enerji kazanımı (iç kazanımlardan ve güneşten olan kazanımlar) ifade etmektedir. Burada ki kazanç güneş ışınlarından dolayı oluşan kazançlardır. En büyük enerji kaybı ilk enerji dönüşümde yani kazanın ısı üretimi sırasında olmuş, en düşük enerji kaybı ise dağıtım sırasında oluşmuştur. Bu grafikte dikkat çeken kısım en büyük enerji kaybının olduğu kısımda ekserji kaybının en büyük olmadığı görülmektedir. En büyük ekserji kaybı ısıtma sisteminde oluşmuştur, bunun nedeni yanma işlemi sırasında ekserjinin büyük bir kısmı tüketilir. Ekserjinin geri kalanı bina kabuğunda tüketildikten sonra sıfır değerini alır. Sistemde depolama olamadığından sıfır olarak alınmıştır.

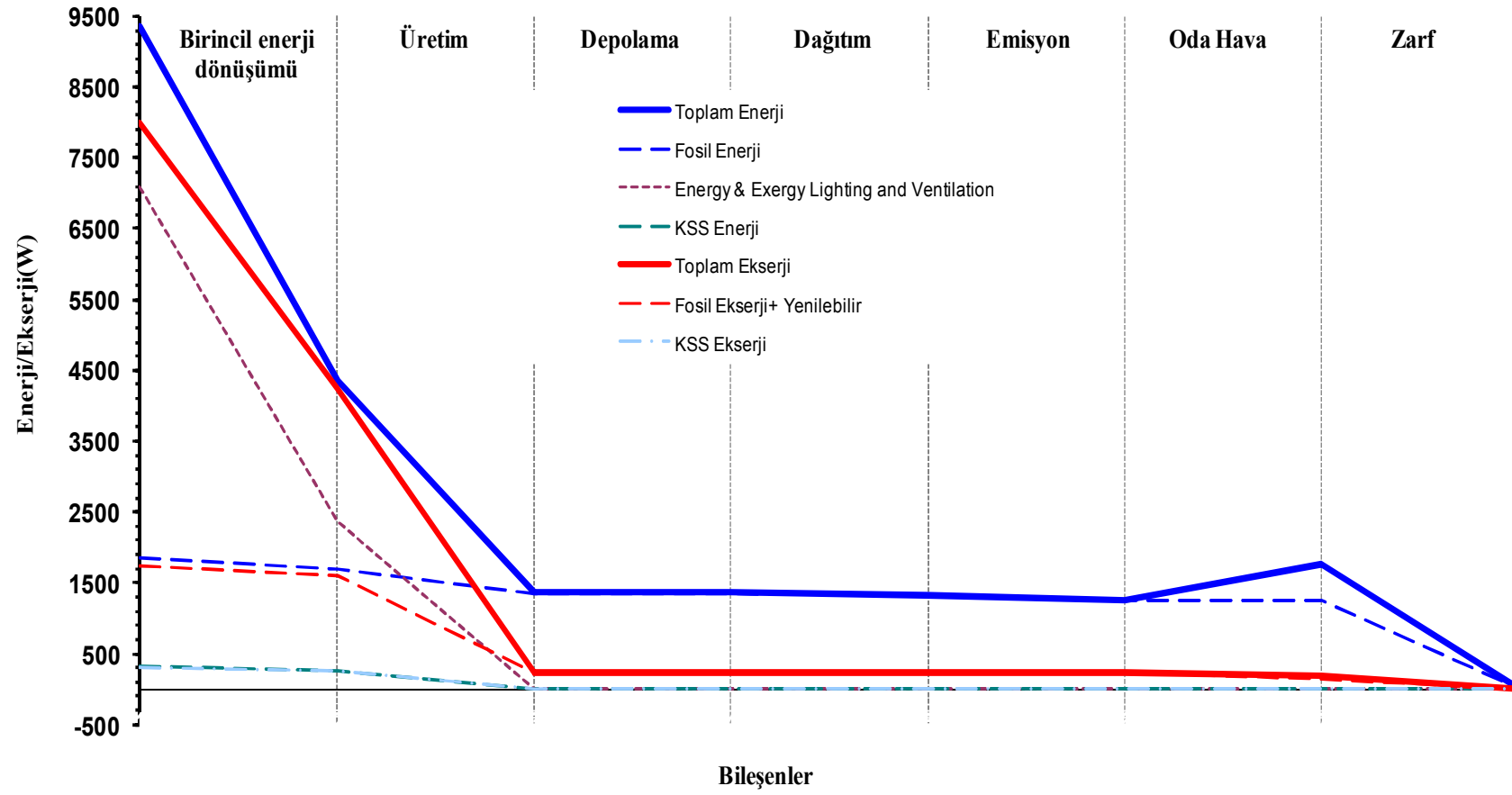
Şekil 3.4’de ekserji kazançlarına karşılık enerji kayıpları gösterilmektedir. Bu genel anlamda ekserji talebini ifade eder. Bilindiği üzere, Termodinamiğin birinci yasasına göre

enerji kazançları ile enerji kayıplarının birbirine eşit olması gerekir. Enerji kazançları, fosil yakıtın kazanda yanması sonucu açığa çıkan enerji miktarı, güneşten (pencereler) kazanılan enerji, iç enerji (insanlardan ve aydınlatamadan) ve birincil enerji dönüşümünden oluşan enerji kazançlarının bir araya gelmesi ile oluşur. Ancak bu enerji kazançlarına karşılık sistemde enerji kayıpları da meydana gelmektedir. Bu kayıplar, havalandırmadan oluşan enerji kayıpları, sistemden oluşan ısı kaybı, duvarlardan olan ısı kaybı, birincil enerji dönüşümü sırasında olan kayıplar, kullanım sıcak suyundan olan kayıplar (kss) ve aydınlatma enerjisinden olan kayıplardan oluşmaktadır. Kayıpların büyük bir bölümü fosil yakıtın yanması sırasında ve yanma sırasında kazan yüzeyinden olan ısı kayıplarından oluşmaktadır. Diğer kayıplar ise daha çok fiziksel şartlardan kaynaklanmaktadır. Şekilde 3.4'te de görüldüğü gibi alt ve üst katlar arasında sıcaklık farkı olmadığından dolayı, zeminden ve tavandan enerji kaybı olmamaktadır. Enerji kazançları ise en fazla fosil yakıtın enerji dönüşümü sırasında meydana gelmektedir. Ayrıca iç enerji kazançları ve güneş (pencerelerden) kazançları sistemin enerji kazançları olarak alınmaktadır.

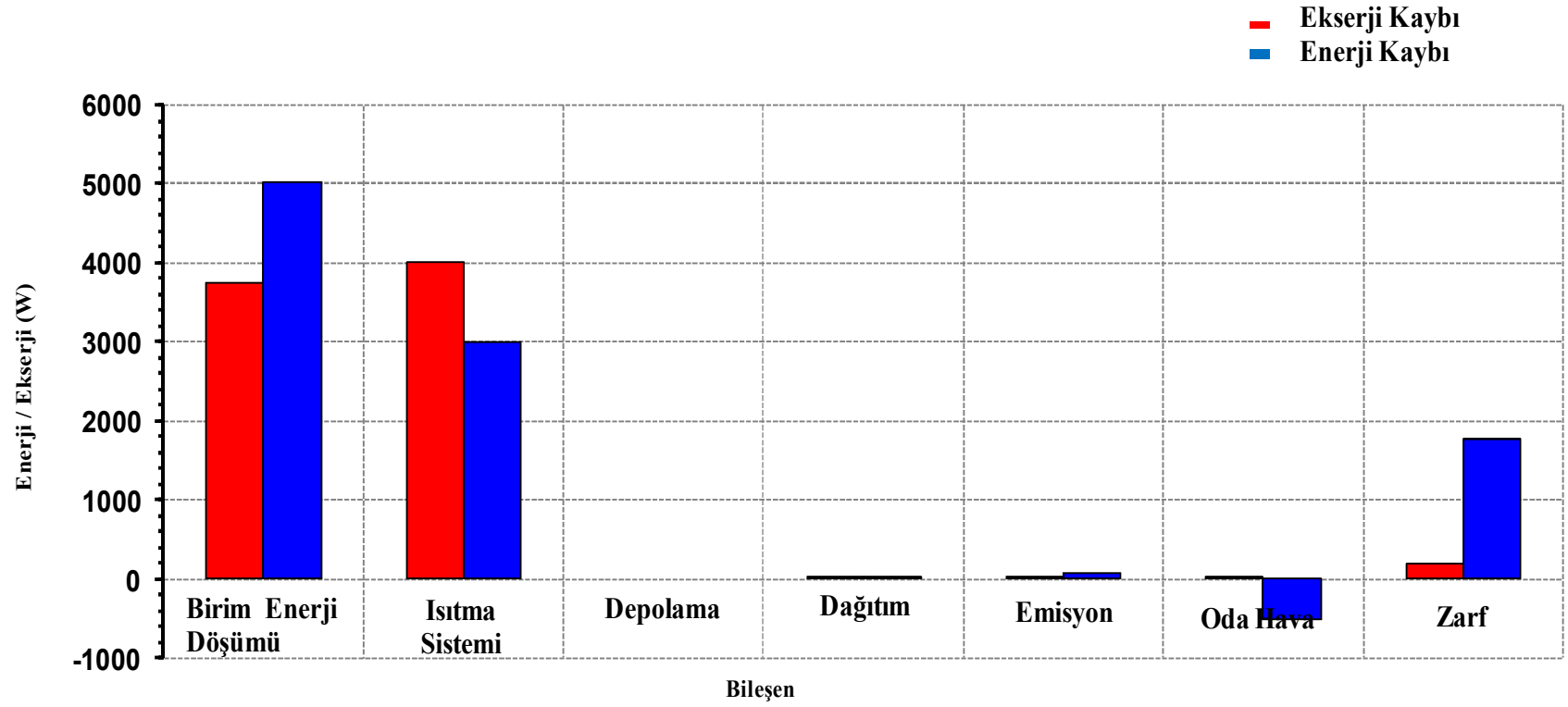
Şekil 3.5'de üretilen ekserji miktarı ile ekserji talep miktarı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi talep edilen ekserji miktarı ile tedarik edilen ekserji miktarı birbirine yakındır. Ancak teorikte aradaki farkın sıfır olması istenir, aradaki fark ne kadar küçükse, sistemdeki enerji kaybı da o kadar az anlamına gelir. Tedarik edilen ekserji miktarının büyük bir kısmı fosil yakıttan sağlanmıştır. Az miktardaki ekserji ise iç kazanımlardan ve güneş etkisinden dolayı kazanılan ekserjidir. Ekserji talebine ilk olarak ısı üretimi sırasında ihtiyaç duyulmuştur ve bu ekserjinin büyük bir kısmı polikliniğin ısıtılması için gerekli olan ısı enerjisinin üretilmesi için harcanmıştır (birincil enerji dönüşümü, üretim). Sistemde depolama olmadığı için ve dağıtım, emisyon ekserji ihtiyacı üretim safhasında karşılandığından ekserji ihtiyacı sıfır olarak belirlenmiştir.



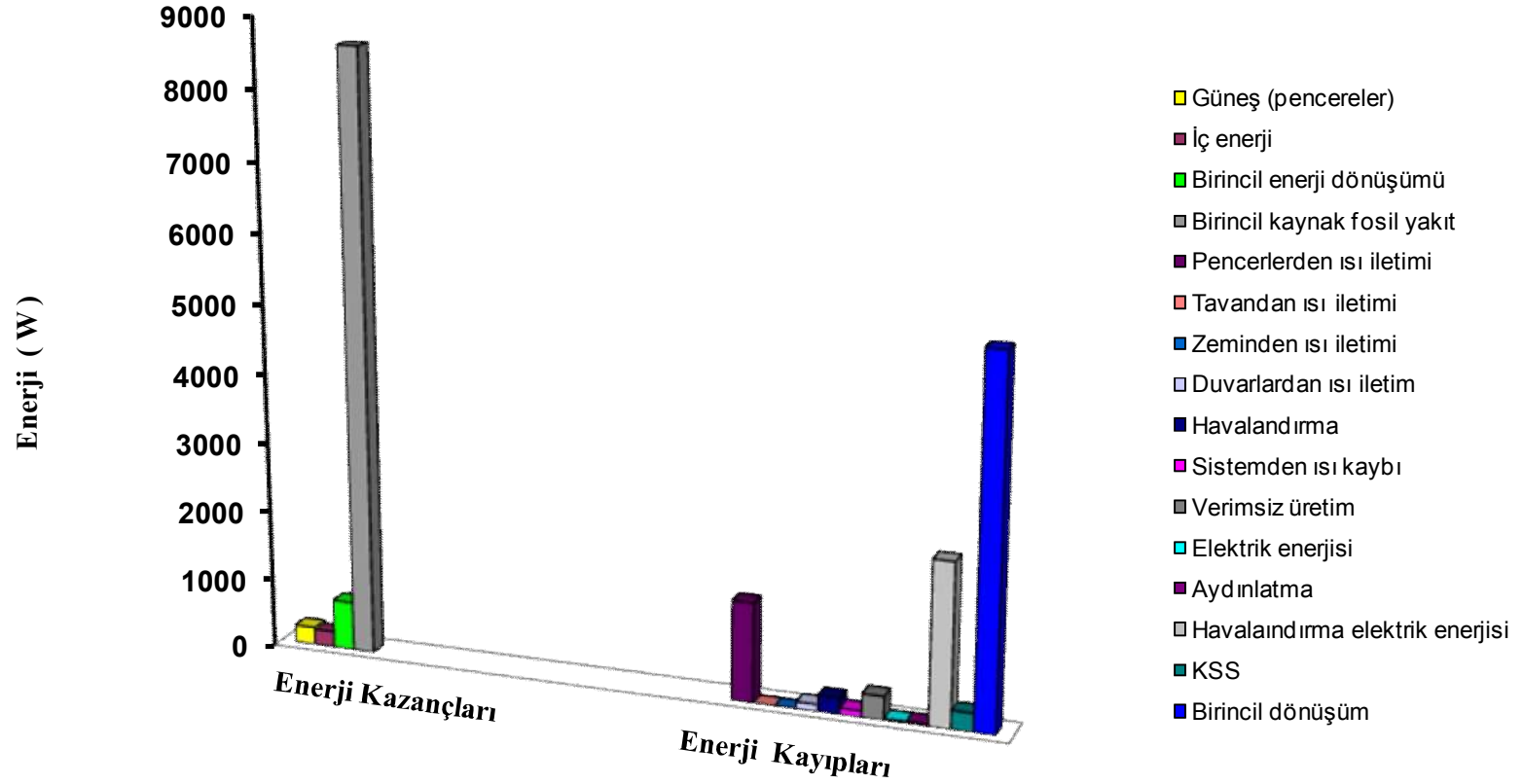
Şekil 3.1. Örnek poliklinik ısıtma sisteminin ekserji ve enerji değişimi



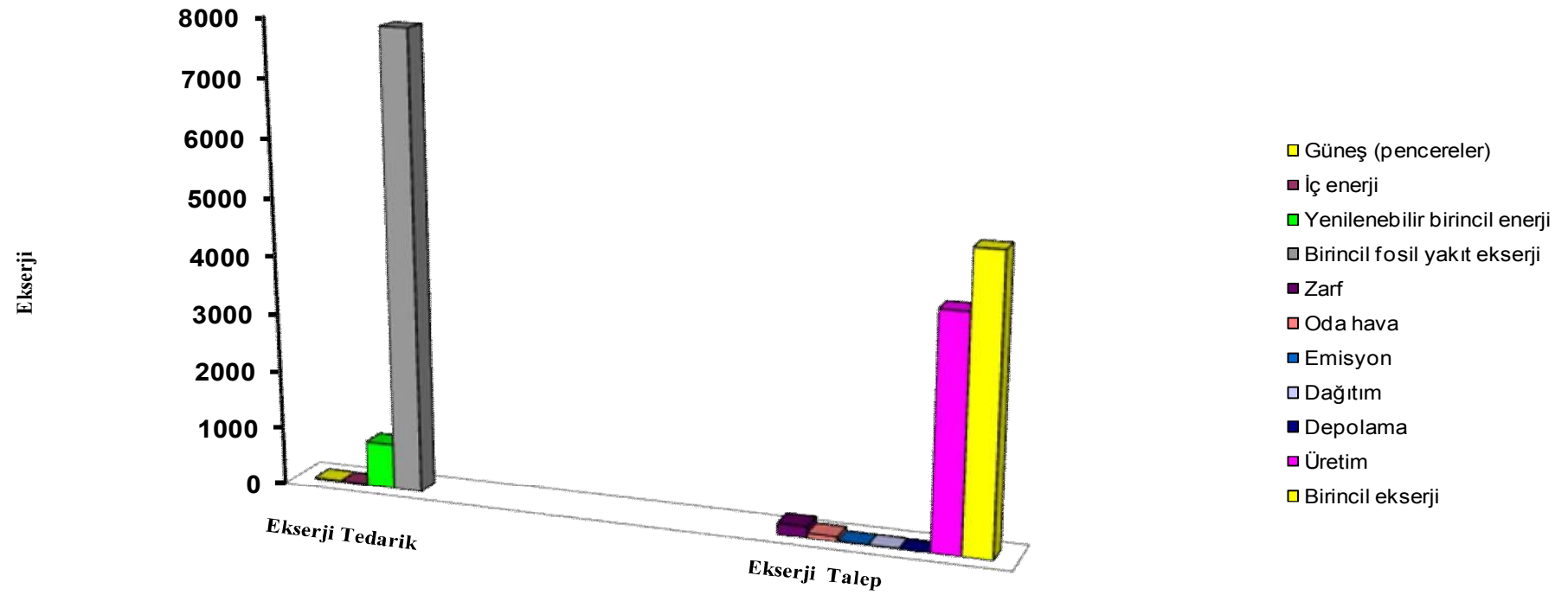
Şekil 3.2. Örnek poliklinik ekserji ve enerji değişimi



Şekil 3.3. Örnek poliklinik ekserji kayıp / tüketim bileşenleri



Şekil 3.4. Örnek poliklinik enerji kazanç ve kayıplar



Şekil 3.5. Örnek poliklinik için ekserji arz ve talep değişimi.

3.2.3. Örnek Poliklinik İçin Performans Katsayısının Hesaplanması

Cop değeri (verim katsayısı), elde edilen ısı enerjisinin tüketilen ısı enerjisine oranı olarak ifade edilir.

Oda sıcaklığı; 21 °C/1 bar
Cp oda havası; 1.005 kJ/kgK
Rho oda havası; 1.2 kg/m³

Isı pompası hesabı,

(3.18)

T (düşük) : 40 °C

T (yüksek) : 50 °C

COP= 3.11

3.2.4. Düzeltme Faktörleri için Değerler

Düzeltme faktörleri, binanın fiziksel özelliklerine ve dış ortam şartlarına göre belirlenmiştir. Bina iyi yalıtımlı olup, ortalama iç ortam sıcaklığı 20°C olarak belirlendiğinden dizayn sıcaklığı düşük (<35°C) olarak seçilmiştir ve sıcaklık düşüşü (sıcaklık farkı), düşük dizayn sıcaklığına göre 5 K alınmıştır.

Tablo 3.4. Yalıtım Faktörleri

Yalıtım	f Yalıtım
Sıfır yalıtım	0.7
Kötü yalıtım	0.9
İyi yalıtım	1
Dağıtım	1

Tablo 3.5. Sıcaklık Faktörleri

Dizayn sıcaklığı	f Tasarım sıcaklığı	Sıcaklık
Düşük (< 35° C)	1	35
Ortak (< 50° C)	0.95	45
Yüksek (diğer)	0.9	80
Dağıtım	1	

Tablo 3.6. Sıcaklık Düşüşü Faktörleri

Sıcaklık düşüşü	f Sıcaklık düşüşü	Sıcaklık düşüşü (K)
Düşük (< 5K)	0.98	5
Orta (< 10 K)	0.99	10
Yüksek (diğer)	1	20
Dağıtım	1	1

Sistemde standart doğalgaz kazanı kullanıldığından fosil yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Doğalgazdan dolayı enerji girişi 1860.7 W (Tablo 3.8) hesaplanmış ve doğalgazın kazan içerisinde yanması sonucu açığa çıkan enerji miktarı 1691.6 W olarak bulunmuştur. Kazanda ısı enerjisine dönüşüm sırasında kazan yüzeyinde olan ısı kayıplarından dolayı elde edilen enerji miktarı ise 1353.2 W olarak hesaplanmıştır. Depolama süreci kazandan elde edilen enerjinin sisteme iletilmeden önceki kısmını ifade etmektedir. Dağıtım, açığa çıkan ısı enerjisinin sistemde kanallar yardımı ile istenilen bölgeye taşınması ile olur. Bu taşınma sırasında meydana gelen kayıplar sonucu enerji miktarı da 1326.2 W olarak bulunmuştur. Çalışmada, emisyon, ısının ortam içerisine yani incelediğimiz göz polikliniğine ısının tavandan VRF cihazı yardımı ile üfleme şeklinde iletilmesini ifade etmektedir. Bununla birlikte, bina zarfı, bina kabuğunu ifade etmekte ve polikliniğin ısıtma ihtiyacı denklem (3.11) yardımıyla 1259.9 W olarak bulunmuştur. Oda ekserji yükü ve enerji talebi denklem (3.14) kullanılarak hesaplanmış ve 141.35 W bulunmuştur.

Poliklinik havası, tavandan üfleme şeklinde ısıtma olup, ısıtıcının yüzey sıcaklığı, yani ısıtıcının havayı şartlandırarak kaç derecelik ısı elde edileceği (3.15) denklemi ile hesaplanmış ve sonuç olarak 44.65 °C bulunmuştur. Bunun için sistemin giriş dönüş sıcaklığı ile ortamın sıcaklığı referans alınmıştır.

Emisyon sistemi, poliklinikte tavandan üfleme olarak yapılan ısıtma şeklidir. Emisyon sistemi dağıtım sisteminin devamı olup, polikliniğin enerji ihtiyacını karşılar. Emisyon sistemi için hesaplanan ısı kaybı miktarı 66.31 W olarak denklem (3.18) yardımı ile hesaplanmıştır. Emisyon sisteminin ekserji talebi ise denklem (3.19) ve (3.20) ile 237.52 W olarak hesaplanmıştır.

Dağıtım sistemi, açığa çıkan ısı enerjisinin sistemde kanallar yardımı ile istenilen bölgeye taşınması ile olur. Ancak bu taşıma işlemi sırasında basınç kaybı ve ısı kaybı olacaktır. Kayıp ısı miktarı (3.22) denklemi ile 27.07 W olarak bulunmuş, ekserji miktarı ise (3.24) denkleminde 241.61 W olarak hesap edilmiştir.

Depolama sistemi, sistemde özel bir depolama sistemi olmayıp kazanda elde edilen ısı enerjisinin dağıtım sistemine verilmeden önceki anlık kısmı ifade etmektedir.

Üretim sistemi, bu kısımda doğalgaz kazanında üretilen enerji diğer sistemlerin (dağıtım, emisyon, oda, zarf) taleplerini karşılar. Pompa ve fanlar üretim sisteminin

yardımcı elemanları olduğundan bunların kullanımından oluşan enerji ve ekserji miktarları yardımcı güç olarak adlandırılmıştır.

Birincil enerji, doğada bulunan ve kullanılabilir olan fosil yakıtlar birincil enerji kaynağı olarak kabul edilir. Fosil yakıtların da kullanılabilir enerjiye dönüştürülmesi için ek enerjiye ihtiyaç duyulur. Birincil enerji dönüşüm sistemi bir bütün olarak düşünülür ise kazan brülörünün çektiği elektrik gücü, özel havalandırma ve aydınlatma enerji gücü, birincil enerji dönüşüm sistemine dahil edilir. İşletme enerji yükü, işletme ekserji yükü ve enerji girişi, ekserji girişi bu parametreler dikkate alınarak sırası ile denklem (4.34 - 4.35 - 4.36 - 4.37) yardımı ile hesaplanmıştır.

Toplam sistem ekserji kayıpları ve toplam sistem enerji kayıpları ayrı ayrı hesap edilerek, Tablo 3.8’ de gösterilmiştir. Bütün bu elde ettiğimiz veriler aşağıda tablolar haline getirilerek karşılaştırılmıştır. Ayrıntılı bir şekilde incelediğimiz göz polikliniğinin dışında aynı bina için toplantı salonu, cerrahi yoğun bakım ve çocuk polikliniği yine Elazığ (3. Isı bölgesi) iklim koşullarına göre ayrıca incelenmiştir. İncelenen bölümlerin hacimleri ve alanları birbirinden farklı olup, yalıtım ve ısıtma özellikleri diğer bölümler ile tamamen aynıdır. Analizi yapılan bölümlerin hacim, alan, pencere alanları ve yerleşim yönlerinin farklılık göstermesi ısı ihtiyacını etkilediği gibi enerji ve ekserji kayıplarını da etkilemiştir. Örnek verecek olursak en fazla enerji ve ekserji kaybı toplantı salonunda meydana gelmiştir. Toplantı salonun enerji kaybı 61460.99 W olarak, ekserji kaybı ise 52905.06 W olarak bulundu, bunun nedeni toplantı salonun pencere alanın diğer karşılaştırılan bölümlerden (cerrahi yoğun bakım, çocuk polikliniği) fazla olması, yönü nedeni ile güneş kazanımlarının fazla olmaması gibi başlıca nedenlerdir. Bunların dışında üçüncü katta bulunan hasta odası Türkiye iklim şartlarına göre dört ısı bölgesini kapsayacak şekilde, örnek iller (Elazığ, Adana, Ağrı, Adapazarı) seçilerek incelenmiştir.

Örnek olarak seçilen hasta odasının bütün fiziksel özellikleri dört ısı bölgesine de aynı olarak alınmıştır. Yapılan analizlere göre, Ağrı ilinin diğer ısı bölgelerine göre enerji ve ekserji kaybının daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeni iklim şartları yani Ağrı ilinin bulunduğu dördüncü ısı bölgesinin dış hava sıcaklığının - 24°C olarak belirlenmesidir. Dış hava sıcaklığı ısı kaybı hesabında referans sıcaklık olarak alınır. Hasta odasının sıcaklığı 21°C olarak belirlenmiştir. Eşitlik 3.3’ten de görüldüğü gibi ısı kaybı hesabında iç ortam sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı önemli bir etki yapmaktadır bu da enerji ve ekserji miktarını etkilemektedir. Aşağıda tablo haline getirilen değerleri incelediğimiz zaman, 1. Isı bölgesinde bulunan Adana ilinin enerji kaybı 328.4 W olarak, ekserji kaybı

ise 1106.6 W olarak bulundu. Sırası ile ikinci, üçüncü, dördüncü ısı bölgelerinde bulunan Adapazarı, Elazığ, Ağrı illerinin enerji kayıpları, 394.2 W, 592.34 W, 856.55 W olarak, ekserji kayıpları ise 1106.6 W, 1270.1 W, 1744.82 W ve 2341.28 W olarak bulunmuştur.

Üretim ve dönüşüm değerleri (tablo 3.9), enerji kazanımı, enerji kaybı ve ekserji kaynağı, ekserji talebi olarak sınıflandırıldı. Enerji kazanımı iç kazançlar, güneş (pencerelerden) kazanımı ve fosil yakıttan olan kazanımlardır ve bu kazanımların toplamı 9871.87 W olarak bulundu. Sistemde olan enerji kayıpları (iletim, havalandırma, vb.) 10104.8 W olarak hesaplandı. Ancak burada bulunan değerlere dikkat edilecek olunursa enerji kaybının, enerji kazanımından azda olsa fazla olduğu görülmekte ve 232.96 W kadar bir fark olmaktadır. Toplam ekserji kaynağı miktarı 8733.4 W bulundu, ekserji talebi ise 9292.5 W olarak hesap edilmiştir. Burada da görüldüğü gibi talep edilen ekserji miktarı, tedarik edilen ekserji miktarından 559.1 W fazladır.

Yapılan analiz ve karşılaştırmalardan çıkarılan sonuç, bulduğumuz değerleri de dikkate alırsak, aynı özelliklere sahip herhangi bir binanın iklim şartlarına göre enerji ve ekserji kayıplarının farklılık gösterdiği ve daha soğuk bölgelerde bu kayıpların arttığı görülmüştür. Elde edilen sonuç ve değerlere bakılacak olunur ise bina tasarımlarının ısı bölgelerine, işletme şekillerine ve ısıtma sistemlerine göre tasarım yapılmasının gerekliliğini açıkça göstermektedir.

Tablo 3.7. a. Örnek poliklinik için genel enerji sonuçları

	Giriş	Birincil enerji dönüşüm	Kazan	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda	Zarf
Fosil Enerji (doğalgaz)	1860.7	1691.6	1353.2	1353.2	1326.2	1259.9	1259.9	0.00
Fosil Enerji Kaynağı	1860.7	1691.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Enerjisi + Yardımcı Güç + İç Kazanlar ve Güneş kazanları	1955.09	1723.04	1361.68	1361.68	1326.21	1259.90	1764.31	0.00
Yardımcı Güç (pompa, aydınlatma vb.)	94.34	31.45	8.40	8.40	0.00	0.00	0.00	0.00
İç Kazanlar ve Güneş Kazanları	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	504.4	0.00
Aydınlatma ve Havalandırma (kazan)	7090.8	2363.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kullanım Sıcak Suyu	321.5	267.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistemin Enerji Toplamı	9367.4	4354.6	1361.6	1361.6	1326.2	1259.9	1764.3	0.00

Tablo 3.7. b. Örnek poliklinik için genel ekserji sonuçları

	Birincil enerji dönüşüm	Üretim	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda	Zarf
Fosil yakıt ekserji + Yenilenebilir enerji	1749.1	1590.1	241.61	241.61	237.52	224.58	141.35
Ekserji Fosil Kaynak 1	1749.1	1590.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Ekserji + Yardımcı Güç + İç ve Güneş Kazançlar	1843.4	1621.5	250.01	250.01	237.52	224.58	194.12
Ekserji Havalandırma / Aydınlatma	5832.8	2363.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ekserji Tesisi (kazan)	5927.1	2395	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ekserji KSS	305.4	254.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
İç ve Güneş Kazançlardan Gelen Ekserji	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.77
Sistem Ekserji Toplam	7981.7	4239.7	241.61	241.61	237.52	224.58	194.12

Tablo 3.7.c. Örnek poliklinik için sistem enerji kayıpları

ENERJİ	Giriş-Birincil dönüşüm	Birincil dönüşüm-Kazan	Kazan-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Enerji Kaybı
Sistem Enerji Toplamı	9367.4-4354.6	4354.6-1361.6	1361.6-1361.6	1361.6-1326.2	1326.2-1259.9	1259.9-1764.3	0.00	
Sistem Enerji Kaybı	5012.84	2992.93	0.00	35.47	66.31	- 504.41	0.00	7603.1

Tablo 3.7.d. Örnek poliklinik için sistem ekserji kayıpları

EKSERJİ	Birincil dönüşüm-Üretim	Üretim-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Enerji Kaybı
Sistem Ekserji Toplamı	7981.7-4239.7	4239.7-241.61	241.61-241.61	241.61-237.52	237.52-224.58	224.58-194.12	
Sistem Ekserji Kaybı	3742	3998.1	0.00	4.09	12.93	30.46	7787.6

Tablo 3.8. Üretim Değerleri ve Dönüşümler

	Enerji Kazanımları	Enerji Kaybı			Ekserji Kaynağı	Ekserji Talep	
Güneş (pencereler)	275.56			Güneş (pencereler)	30.91		
İç Kazançlar	228.85			İç Kazançlar	21.86		
Birincil Yenilenebilir Enerji	718.51			Birincil Yenilen ebilir Enerji	788.40		
Birincil Enerji Fosil	8648.9			Birincil Ekserji Fosil	7892.22		
İletim (Pencere)		1432.2		Zarf		194.12	
İletim (Çatı)		0.00		Oda Hava		83.24	
İletim (Zemin)		0.00		Emisyon		12.93	
İletim (Duvarlar)		102.17		Dağıtım		12.49	
Havalandırma		229.94		Depolama		0.00	
Sistem Isı Kayıpları		93.38		Üretim		3989.7	
Verimsiz Kısım		338.32		İlk Ekserji		5000.0	
Elektrik Enerjisi		31.45					
Aydınlatma		34.00					
Havalandırma Elekt.		2329.6					
KSS		267.97					
Birincil Enerji Dönüşümü		5245.8					
Toplam	9871.87	10104.8	232.96	Toplam	8733.4	9292.5	559.1

Tablo 3.9. a . Hasta Odası 3.Normal Kat, 1. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adana İli Enerji Analiz Değerleri

	Giriş	Birincil enerji dönüşüm	Kazan	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda	Zarf
Fosil Enerji (doğalgaz)	652.39	593.08	474.47	474.47	464.98	441.73	441.73	0.00
Fosil Enerji Kaynağı	652.39	593.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Enerjisi + Yardımcı Güç + İç Kazançlar ve Güneş kazanları	730.30	619.05	479.37	479.37	464.98	441.73	893.53	0.00
Yardımcı Güç (pompa, aydınlatma vb.)	77.91	25.97	4.90	4.90	0.00	0.00	0.00	0.00
İç Kazançlar ve Güneş Kazançları	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	451.80	0.00
Aydınlatma ve Havalandırma (kazan)	169.8	56.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kullanım Sıcak Suyu	321.5	267.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistemin Enerji Toplamı	1221.67	943.62	479.37	479.37	464.98	441.73	893.53	0.00

Tablo 3.9. .b. Hasta Odası 3.Normal Kat, 1. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adana İli Ekserji Analiz Değerleri

	Birincil enerji dönüşüm	Üretim	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda hava	Zarf
Fosil yakıt ekserji + Yenilenebilir enerji	613.2	557.5	66.80	66.80	65,73	62.06	31.54
Ekserji Fosil Kaynak 1	613.2	557.5	0.00	0.00	0,00	0.00	0.00
Isı Ekserji + Yardımcı Güç + İç ve Güneş Kazançlar	691.16	583.47	71.70	71.70	65,73	62.06	59.75
Ekserji Havalandırma / Aydınlatma	169.8	56.60	0.00	0.00	0,00	0.00	0.00
Ekserji Tesisi (kazan)	247.7	82.57	0.00	0.00	0,00	0.00	0.00
Ekserji KSS	305.48	254.57	0.00	0.00	0,00	0.00	0.00
İç ve Güneş Kazançlardan Gelen Ekserji	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.2
Sistem Ekserji Toplam	1166.4	894.64	66.80	66.80	65,73	62.06	59.75

Tablo 3.9.c Hasta Odası 3.Normal Kat, 1. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adana İli enerji kayıpları

ENERJİ	Giriş-Birincil dönüşüm	Birincil dönüşüm-Kazan	Kazan-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Enerji Kaybı
Sistem Enerji Toplamı	1221.67-943.62	943.62-479.37	479.37-479.37	479.37-464.98	464.98-441.73	441.73-893.53	0.00	
Sistem Enerji Kaybı	278.04	464.25	0.00	14.39	23.25	-451.8	0.00	328.14

Tablo 3.9.d. Hasta Odası 3.Normal Kat, 1. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adana İli ekserji kayıpları

EKSERJİ	Birincil dönüşüm-Üretim	Üretim-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emi syon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Ekserji Kaybı
Sistem Ekserji Toplamı	1166.4-894.64	894.64-66.80	66.80-66.80	66.80-65,73	65,73-62.06	62.06-59.75	
Sistem Ekserji Kaybı	271.76	827.84	0.00	1.07	3.67	2.31	1106.6

Tablo 3.10. a. Hasta Odası 3.Normal Kat, 2 . Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adapazarı İli Enerji Analiz Değerleri

	Giriş	Birincil enerji dönüşüm	Kazan	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda	Zarf
Fosil Enerji (doğalgaz)	840.91	764.47	611.57	611.57	599.34	569.38	569.38	0.00
Fosil Enerji Kaynağı	840.9	764.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Enerjisi + Yardımcı Güç + İç Kazanlar ve Güneş kazanları	924.00	792.16	617.89	617.89	599.34	569.38	1021.1	0.00
Yardımcı Güç (pompa, aydınlatma vb.)	83.09	27.70	6.32	6.32	0.00	0.00	0.00	0.00
İç Kazanlar ve Güneş Kazanları	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	451.8	0.00
Aydınlatma ve Havalandırma (kazan)	169.8	56.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kullanım Sıcak Suyu	321.56	267.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistemin Enerji Toplamı	1415.36	1116.73	617.89	617.89	599.34	569.38	1021.18	0.00

Tablo 3.10. b. Hasta Odası 3.Normal Kat, 2 . Sıcaklık Bölgesi, Örnek Adapazarı İli Ekserji Analiz Değerleri

	Birincil enerji dönüşüm	Zarf	Oda hava	Emisyon	Dağıtım	Depolama	Üretim	
Fosil yakıt ekserji + Yenilenebilir enerji	790.46	46.46	85.37	90.38	91.87	91.87	718.6	
Ekserji Fosil Kaynak 1	790.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	718.6	
Isı Ekserji + Yardımcı Güç + İç ve Güneş Kazançlar	873.55	78.70	85.37	90.38	98.19	98.19	746.30	
Ekserji Havalandırma / Aydınlatma	169.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.60	
Ekserji Tesisi (kazan)	252.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.30	
Ekserji KSS	305.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	254.5	
İç ve Güneş Kazançlardan Gel en Ekserji	0.00	32.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Sistem Ekserji Toplam	1348.8	78.70	85.37	90.38	91.87	91.87	1057.4	

Tablo 3.10.c. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem enerji kayıpları

ENERJİ	Giriş- Birincil dönüşüm	Birincil dönüşüm- Kazan	Kazan- Depolama	Depolama- Dağıtım	Dağıtım- Emisyon	Emisyon- Oda	Oda- Zarf	Toplam Enerji Kaybı
Sistem Enerji Toplamı	1415.36- 1116.73	1116.73- 617.89	617.89- 617.89	617.89- 599.34	599.34- 569.38	569.38- 1021.18	0.00	
Sistem Enerji Kaybı	298.6	498.8	0.00	18.55	29.96	-451.8	0.00	394.2

Tablo 3.10.d. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem ekserji kayıpları

EKSERJİ	Birincil dönüşüm- Üretim	Üretim- Depolama	Depolama- Dağıtım	Dağıtım- Emisyon	Emisyon- Oda	Oda- Zarf	Toplam Ekserji Kaybı
Sistem Ekserji Toplamı	1348.8-1057.4	1057.4- 91.87	91.87-91.87	91.87-90.38	90.38- 85.37	85.37- 78.70	
Sistem Ekserji Kaybı	291.4	965.53	0.00	1.49	5.01	6.67	1270.1

Tablo 3.11. a . Hasta Odası 3.Normal Kat, 3. Sıcaklık Bölgesi. Örnek Elazığ İli Enerji Analiz Değerleri

	Giriş	Birincil enerji dönüşüm	Kazan	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda	Zarf
Fosil Enerji (doğalgaz)	1406.48	1278.62	1022.90	1022.90	1002.44	952.32	952.32	0.00
Fosil Enerji Kaynağı	1406.48	1278.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Enerjisi + Yardımcı Güç + İç Kazanlar ve Güneş kazanları	1505.10	1311.49	1033.47	1033.47	1002.44	952.32	1404.12	0.00
Yardımcı Güç (pompa. aydınlatma vb.)	98.62	32.87	10.57	10.57	0.00	0.00	0.00	0.00
İç Kazanlar ve Güneş Kazanları	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	451.80	0.00
Aydınlatma ve Havalandırma (kazan)	169.80	56.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kullanım Sıcak Suyu	321.56	267.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistemin Enerji Toplamı	1996.46	1636.06	1033.47	1033.47	1002.44	952.32	1404.12	0.00

Tablo 3.11.b. Hasta Odası 3.Normal Kat, 1. Sıcaklık Bölgesi. Örnek Elazığ İli Ekserji Analiz Değerleri

	Birincil enerji dönüşüm	Üretim	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda hava	Zarf
Fosil yakıt ekserji + Yenilenebilir enerji	1322.09	1201.90	182.62	182.62	179.53	169.75	106.84
Ekserji Fosil Kaynak 1	1322.09	1201.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Ekserji + Yardımcı Güç + İç ve Güneş Kazançlar	1420.71	1234.78	193.19	193.19	179.53	169.75	151.17
Ekserji Havalandırma / Aydınlatma	169.80	56.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ekserji Tesisi (kazan)	268.42	89.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ekserji KSS	305.48	254.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
İç ve Güneş Kazançlardan Gelen Ekserji	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.34
Sistem Ekserji Toplam	1895.99	1545.95	182.62	182.62	179.53	169.75	151.17

Tablo 3.11. d. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem enerji kayıpları

ENERJİ	Giriş-Birincil dönüşüm	Birincil dönüşüm-Kazan	Kazan-Depolama	Depolama-Dağıtım	D dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Enerji Kaybı
Sistem Enerji Toplamı	1996.46-1636.06	1636.06-1033.47	1033.47-1033.47	1033.47-1002.44	1002.44-952.32	952.32-1404.12	0.00	
Sistem Enerji Kaybı	360.40	602.59	0.00	31.03	50.12	-451.80	0.00	592.34

Tablo 3.11.d. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem ekserji kayıpları

EKSERJİ	Birincil dönüşüm-Üretim	Üretim-Depolama	Depolama-Dağıtım	D dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Ekserji Kaybı
Sistem Ekserji Toplamı	1895.99-1545.95	1545.95-182.62	182.62-182.62	182.62-179.53	179.53-169.75	169.75-151.17	
Sistem Ekserji Kaybı	350.05	1363.32	0.00	3.09	9.78	18.58	1744.82

Tablo 3.12.a. Hasta Odası 3.Normal Kat, 4. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Ağrı İli Enerji Analiz Değerleri

	Giriş	Birincil enerji dönüşüm	Kazan	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda	Zarf
Fosil Enerji (doğalgaz)	2160.57	1964.16	1571.33	1571.33	1539.90	1462.91	1462.91	0.00
Fosil Enerji Kaynağı	2160.57	1964.16	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
Isı Enerjisi + Yardımcı Güç + İç Kazançlar ve Güneş kazançları	2279.89	2003.93	1587.56	1587.56	1539.90	1462.91	1914.71	0.00
Yardımcı Güç (pompa, aydınlatma vb.)	119.32	39.77	16.24	16.24	0.000	0.00	0.00	0.00
İç Kazançlar ve Güneş Kazançları	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	451.80	0.00
Aydınlatma ve Havalandırma (kazan)	169.80	56.60	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
Kullanım Sıcak Suyu	321.56	267.97	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
Sistemin Enerji Toplamı	2771.26	2328.50	1587.56	617.89	599.34	1462.91	1914.71	0.00

Tablo 3.12.b. Hasta Odası 3.Normal Kat, 4. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Ağrı İli Ekserji Analiz Değerleri

	Birincil enerji dönüşüm	Üretim	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda hava	Zarf
Fosil yakıt ekserji + Yenilenebilir enerji	2030.94	1846.31	339.85	339.85	333.87	316.01	223.80
Ekserji Fosil Kaynak 1	2030.94	1846.31	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
Isı Ekserji + Yardımcı Güç + İç ve Güneş Kazançlar	2150.26	1886.08	356.09	356.09	333.87	316.01	284.26
Ekserji Havalandırma / Aydınlatma	169.80	56.60	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
Ekserji Tesisi (kazan)	289.12	96.37	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
Ekserji KSS	305.48	254.57	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
İç ve Güneş Kazançlardan Gelen Ekserji	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	60.46
Sistem Ekserji Toplam	2625.54	2197.25	339.85	339.85	333.87	316.01	284.26

Tablo 3.12.c. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem enerji kayıpları

ENERJİ	Giriş-Birincil dönüşüm	Birincil dönüşüm-Kazan	Kazan-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Enerji Kaybı
Sistem Enerji Toplamı	2771.26-2328.50	2328.50-1587.56	1587.56-1587.56	1587.56-1539.90	1539.90-1462.91	1462.91-1914.71	0.00	
Sistem Enerji Kaybı	442.76	740.94	0.00	47.66	76.99	-451.8	0.00	856.55

Tablo 3.12.d. Hasta Odası 3.Normal Kat, için sistem ekserji kayıpları

EKSERJİ	Birincil dönüşüm-Üretim	Üretim-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Ekserji Kaybı
Sistem Ekserji Toplamı	2625.54-2197.25	2197.25-339.85	339.85-339.85	339.85-333.87	333.87-316.01	316.01-284.26	
Sistem Ekserji Kaybı	428.29	1857.9	0.00	5.98	17.86	31.75	2341.28

Tablo 3.13. a. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Cerrahi Yoğun Bakım Enerji Analiz Değerleri

	Giriş	Birincil enerji dönüşüm	Kazan	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda	Zarf
Fosil Enerji (doğalgaz)	835.88	759.89	607.91	607.91	595.75	565.96	565.96	0.00
Fosil Enerji Kaynağı	835.88	759.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Enerjisi + Yardımcı Güç + İç Kazançlar ve Güneş kazançları	975.90	806.56	633.22	633.22	595.75	565.96	1643.66	0.00
Yardımcı Güç (pompa, aydınlatma vb.)	140.02	46.67	25.31	25.31	0.00	0.00	0.00	0.00
İç Kazançlar ve Güneş Kazançları	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1077.70	0.00
Aydınlatma ve Havalandırma (kazan)	2052.00	684.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kullanım Sıcak Suyu	1607.81	1339.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistemin Enerji Toplamı	4635.71	2830.40	633.22	633.22	595.75	565.96	1643.66	0.00

Tablo 3.13. b. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Cerrahi Yoğun Bakım Ekserji Analiz Değerleri

	Birincil enerji dönüşüm	Üretim	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda hava	Zarf
Fosil yakıt ekserji + Yenilenebilir enerji	785.72	714.29	108.53	108.53	106.70	100.88	63.49
Ekserji Fosil Kaynak I	785.72	714.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Ekserji + Yardımcı Güç + İç ve Güneş Kazançlar	925.74	760.97	133.84	133.84	106.70	100.88	107.66
Ekserji Havalandırma / Aydınlatma	2052.00	684.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ekserji Tesisi (kazan)	2192.02	730.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ekserji KSS	1527.42	1272.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
İç ve Güneş Kazançlardan Gelen Ekserji	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	44.17
Sistem Ekserji Toplam	4505.16	2717.82	108.53	108.53	106.70	100.88	107.66

Tablo 3.13.c. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Cerrahi Yoğun Bakım Enerji Kayıpları

ENERJİ	Giriş-Birincil dönüşüm	Birincil dönüşüm-Kazan	Kazan-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Enerji Kaybı
Sistem Enerji Toplamı	4635.71-2830.40	2830.40-633.22	633.22-633.22	633.22-595.75	595.75-565.96	565.96-1643.66	0.00	
Sistem Enerji Kaybı	1805.31	2197.18	0.00	37.47	29.79	-1077.70	0.00	2992.04

Tablo 3.13.d. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Cerrahi Yoğun Bakım Ekserji Kayıpları

EKSERJİ	Birincil dönüşüm-Üretim	Üretim-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Ekserji Kaybı
Sistem Ekserji Toplamı	4505.16-2717.82	2717.82-108.53	108.53-108.53	108.53-106.70	106.70-100.88	100.88-107.66	
Sistem Ekserji Kaybı	1787.34	2609.29	0.00	1.83	5.82	-6.78	4397.50

Tablo 3.14. a. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Toplantı Salonu Enerji Analiz Değerleri

	Giriş	Birincil enerji dönüşüm	Kazan	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda	Zarf
Fosil Enerji (doğalgaz)	2161.44	1964.95	1571.96	1571.96	1540.52	1463.49	1463.49	0.00
Fosil Enerji Kaynağı	2161.44	1964.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Enerjisi + Yardımcı Güç + İç Kazançlar ve Güneş kazançları	2323.32	2018.91	1602.38	1602.38	1540.52	1463.49	2431.70	0.00
Yardımcı Güç (pompa, aydınlatma vb.)	161.88	53.96	30.42	30.42	0.00	0.00	0.00	0.00
İç Kazançlar ve Güneş Kazançları	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	968.21	0.00
Aydınlatma ve Havalandırma (kazan)	59640.00	19880.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kullanım Sıcak Suyu	1929.38	1607.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistemin Enerji Toplamı	63892.69	23506.72	1602.38	1602.38	1540.52	1463.49	2431.70	0.00

Tablo 3.14. b. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Toplantı Salonu Ekserji Analiz Değerleri

	Birincil enerji dönüşüm	Üretim	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda hava	Zarf
Fosil yakıt ekserji + Yenilenebilir enerji	2031.75	1847.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ekserji Fosil Kaynak 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Ekserji + Yardımcı Güç + İç ve Güneş Kazançlar	2193.63	1901.01	311.07	311.07	275.90	260.87	225.24
Ekserji Havalandırma / Aydınlatma	49133.76	19880.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ekserji Tesisi (kazan)	49295.64	19933.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ekserji KSS	1832.91	1527.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
İç ve Güneş Kazançlardan Gelen Ekserji	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	61.05
Sistem Ekserji Toplam	53160.30	23308.43	280.65	280.65	275.90	260.87	225.24

Tablo 3.14.c. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Toplantı Salonu Enerji Kayıpları

ENERJİ	Giriş-Birincil dönüşüm	Birincil dönüşüm-Kazan	Kazan-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Enerji Kaybı
Sistem Enerji Toplamı	63892.69-23506.72	23506.72-1602.38	1602.38-1602.38	1602.38-1540.52	1540.52-1463.49	1463.49-2431.70	0.00	
Sistem Enerji Kaybı	40385.97	21904.34	0.00	61.86	77.03	-968.21	0.00	61460.99

Tablo 3.14. d. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Toplantı Salonu Ekserji Kayıpları

EKSERJİ	Birincil dönüşüm-Üretim	Üretim-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Ekserji Kaybı
Sistem Ekserji Toplamı	53160.30-23308.43	23308.43-280.65	280.65-280.65	280.65-275.90	275.90-260.87	260.87-225.24	
Sistem Ekserji Kaybı	29851.87	23027.78	0.00	4.75	15.03	35.63	52935.06

Tablo 3.15. a. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Çocuk Polikliniği Enerji Analiz Değerleri

	Giriş	Birincil enerji dönüşüm	Kazan	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda	Zarf
Fosil Enerji (doğalgaz)	510.91	464.47	371.57	371.57	364.14	345.94	345.94	0.00
Fosil Enerji Kaynağı	510.91	464.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Enerjisi + Yardımcı Güç + İç Kazançlar ve Güneş kazançları	580.75	487.75	374.02	374.02	364.14	345.94	992.18	0.00
Yardımcı Güç (pompa, aydınlatma vb.)	69.83	23.28	2.44	2.44	0.00	0.00	0.00	0.00
İç Kazançlar ve Güneş Kazançları	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	646.24	0.00
Aydınlatma ve Havalandırma (kazan)	13044.00	4348.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kullanım Sıcak Suyu	321.56	267.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sistemin Enerji Toplamı	13946.31	5103.71	374.02	374.02	364.14	345.94	992.18	0.00

Tablo 3.15. b. 3.3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Çocuk Polikliniği Ekserji Analiz Değerleri

	Birincil enerji dönüşüm	Üretim	Depolama	Dağıtım	Emisyon	Oda hava	Zarf
Fosil yakıt ekserji + Yenilenebilir enerji	480.26	436.60	66.34	66.34	65.22	61.66	38.81
Ekserji Fosil Kaynak 1	480.26	436.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Isı Ekserji + Yardımcı Güç + İç ve Güneş Kazançlar	550.09	459.88	68.78	68.78	65.22	61.66	107.27
Ekserji Havalandırma / Aydınlatma	10715.52	4348.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ekserji Tesisi (kazan)	10785.35	4371.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ekserji KSS	305.48	254.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
İç ve Güneş Kazançlardan Gelen Ekserji	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	68.46
Sistem Ekserji Toplam	11571.10	5062.45	66.34	66.34	65.22	61.66	107.27

Tablo 3.15.c. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Çocuk Polikliniği Enerji Kayıpları

ENERJİ	Giriş-Birincil dönüşüm	Birincil dönüşüm-Kazan	Kazan-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Enerji Kaybı
Sistem Enerji Toplamı	13946.31-5103.71	5103.71-374.02	374.02-374.02	374.02-364.14	364.14-345.94	345.94-992.18	0.00	
Sistem Enerji Kaybı	8842.6	4729.69	0.00	9.88	18.2	-646.24	0.00	12954.13

Tablo 3.15.d. 3. Sıcaklık Bölgesi, Örnek Elazığ İli Çocuk Polikliniği Ekserji Kayıpları

EKSERJİ	Birincil dönüşüm-Üretim	Üretim-Depolama	Depolama-Dağıtım	Dağıtım-Emisyon	Emisyon-Oda	Oda-Zarf	Toplam Ekserji Kaybı
Sistem Ekserji Toplamı	11571.10-5062.45	5062.45-66.34	66.34-66.34	66.34-65.22	65.22-61.66	61.66-107.27	
Sistem Ekserji Kaybı	6508.65	4996.11	0.00	1.12	3.56	-45.61	11463.83

Farklı ısı dağıtım sistemlerinin tablo 3.17’te kıyaslamaları yapılmıştır. Tabandan ısıtma ve duvardan ısıtma yöntemlerinin giriş ve dönüş sıcaklıklarına göre verimlerinin diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir ve yine tablo 3.18’de farklı kazan tiplerinin giriş ve çıkış sıcaklıklarına göre verimlilikleri kıyaslanmıştır, en yüksek verimli kazanların elektrikli kazanlar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca hesaplamalarda kullanılan verim ve faktörler için tablo 3.17 ve tablo 3.18’ den faydalanılmıştır.

Tablo 3.16. Farklı dağıtım sistemlerinin karakteristik değerleri

SİSTEM	Tedarik Sıcaklık °C	Dönüş Sıcaklık °C	Gereken yardımcı enerji W/kW _{ısı}	Maksimum ısı emisyonu W/m ²	Isı kaybı / Verimlilik %
Yerden ısıtma	35	30	0,00	80	0.99
Duvardan ısıtma	50	40	0.00	150	0.95
Radyatör	70	60	0.20	100	0.95
Hava ısıtma / soğutma	35	25	0.05	34	0.95
Tavandan ısıtma	50	40	0.00	130	0.95
Zeminden ısıtma / soğutma	28	22	0.20	100	0.99
Duvardan ısıtma	28	22	0.20	100	0.99
Zemin ve döşemeden ısıtma	28	22	2.00	40	0.99
Doğrudan elektrikli ısıtma				1000	0.95

Tablo 3.17. Farklı kazan ısıtma sistemlerinin karakteristik değerleri

SİSTEM	Giriş Sıcaklık °C	Tedarik Sıcaklık °C	Akış l/per s*d	Kazan Verimliliği %	Birincil Enerji Faktörü, Fosil	Birincil Enerji Faktörü, Yenilenebilir	Kaynak, Fosil Yakıt Kalite Faktörü	Kaynak Yenilenebilir Kalite Faktörü
Ofis yerel elektrik kazanı	6	55	3	0.98	2.70	0.30	1.00	1.00
Konut; Yerel elektrikli kazan	6	55	45	0.98	2.70	0.30	1.00	1.00
Konut; Standart kazan	6	55	45	0.80	1.20	0.00	0.95	0.00
Konut; Yoğuşmalı kazan	6	55	45	0.95	1.10	0.00	0.95	0.00
Konut; Biyokütle kazan	6	55	45	0.65	0.20	1.00	0.95	0.95
Konut; Güneş, düz plaka kolektör	6	55	45	1.00	0.00	1.00	0.00	0.19

Binanın toplam ısı ihtiyacı, ısı kaybı hesabına göre kat kat hesap edilerek bulunmuştur. En fazla ısı ihtiyacı 1059.6 kWh olan normal katlar, en az ısı ihtiyacı 616.3 kWh ile bodurum ikiye aittir. Toplam binanın ısı kaybı 6795.6 kWh olarak bulunmuştur.

Tablo 3.18. Binanın katlara göre toplam ısı kaybı tablosu

Mahal İsmi	YÜKSEKLİK (m)	HACİM (m³)	ODA SICAKLIĞI (C°)	ISI KAYBI (kcal/h)	ISI KAYBI (kWh)
Bodurum 2	3.60	6840	22	529929	616.3
Bodrum 1	4.40	15122.8	22	1176070	1367.8
Zemin	4.20	14784	22	911106	1059.6
1.Normal kat	4.20	14700	22	911106	1059.6
2.Normal kat	3.60	5839.2	22	368161.2	428.2
3.Normal kat	3.60	5976	22	368161.2	428.2
4.Normal kat	3.60	5976	22	368161.2	428.2
5.Normal kat	3.60	5976	22	368161.2	428.2
6.Normal kat	3.60	5976	22	368161.2	428.2
7.Normal kat	3.60	48582.8	22	278910	324.4
8. Çatı katı	3.60	2505.6	22	195237	227.1
TOPLAM				5843164	6795.6

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İncelemiş olduğumuz Elazığ Hayat Damla Hastanesinin ısıtma sisteminin ekserji analizi yapılmıştır. Bu yapılırken en soğuk ay sıcaklıkları referans olarak alınmıştır. Sistemimiz bilindiği gibi doğalgaz yakıtlı kazan ve klima santralleri ile çalışmaktadır.

Binanın kış aylarında enerjiye olan ihtiyacı (elk. enerjisi, havalandırma enerjisi vb.) ve güneş ısı kazanımı, iç ekipmanlar ve insanlardan olan iç ısı kazançları hesaplamalara katılmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken veriler kurulu sistem üzerinden alınmış ve literatürlerden yola çıkılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Binanın çeşitli kısımlarından rastgele bölümler seçilerek mevcut kurulu sistemin mahallere göre ekserji analizi yapılmış ve sistemin uygunluğu kontrol edilmiştir. Yapılan analiz sonuçları tablolar haline getirilmiştir.

Sistem süreci kazana fosil yakıt girişi ile başlar ve ısı üretimi, depolama, dağıtım, emisyon, oda ve bina zarfı kısımlarında devam eder. Bu süreç içerisinde sistemde ısı kayıpları ve enerji kullanımları (pompalar, aydınlatma elektrik enerji vb.) olmaktadır. Aynı zamanda kayıplar olduğu gibi güneş ısı kazançları, iç ekipmanlardan ve insanlardan kaynaklanan enerji kazançları da olmaktadır.

Bu çalışmada termodinamiğin 1. ve 2. kanunu temeline dayalı ekserji analizi yapılarak binalardaki enerji kayıplarının hangi durumlarda olduğu ve enerjiden maksimum şekilde nasıl faydalanılacağına ışık tutmaktadır. Ayrıca ekserji ve enerji analizi arasındaki farklar görülmüş ve kullanılabilir enerjinin ne kadar olduğu ve hangi nedenlerin kullanılabilir enerji miktarını etkilediği hakkında fikir edinmemizi sağlamıştır.

Kazanlar ısıtma sistemi merkezi olarak kullanıldığında en büyük ekserji kaybı yanma işlemi sırasında gerçekleşmiştir. Her bir bölümün yardımcı enerji talebi ve ekserji yükü, ısı emisyonu, dağıtımı, ısı iletimi ve ısı üretimi gibi kısımlarından etkilenir. Bina zarfından enerjinin bir kısmı geçerken, bir kısmının harcandığı görülmüş ancak ekserjini ise tamamının tüketildiği görülmüştür.

Bu çalışmadan da anlaşılacağı gibi sistem seçimi yapılırken hem çevre şartları, hem işletme şekli hem de ekonomik nedenler dikkate alınarak bir bütün olarak değerlendirilmelidir.

Tablo 4.1. Çeşitli ısıtma ve soğutma sisitemlerinin karşılaştırılması [30, 79, 86, 88, 89, 100, 115, 117, 118].

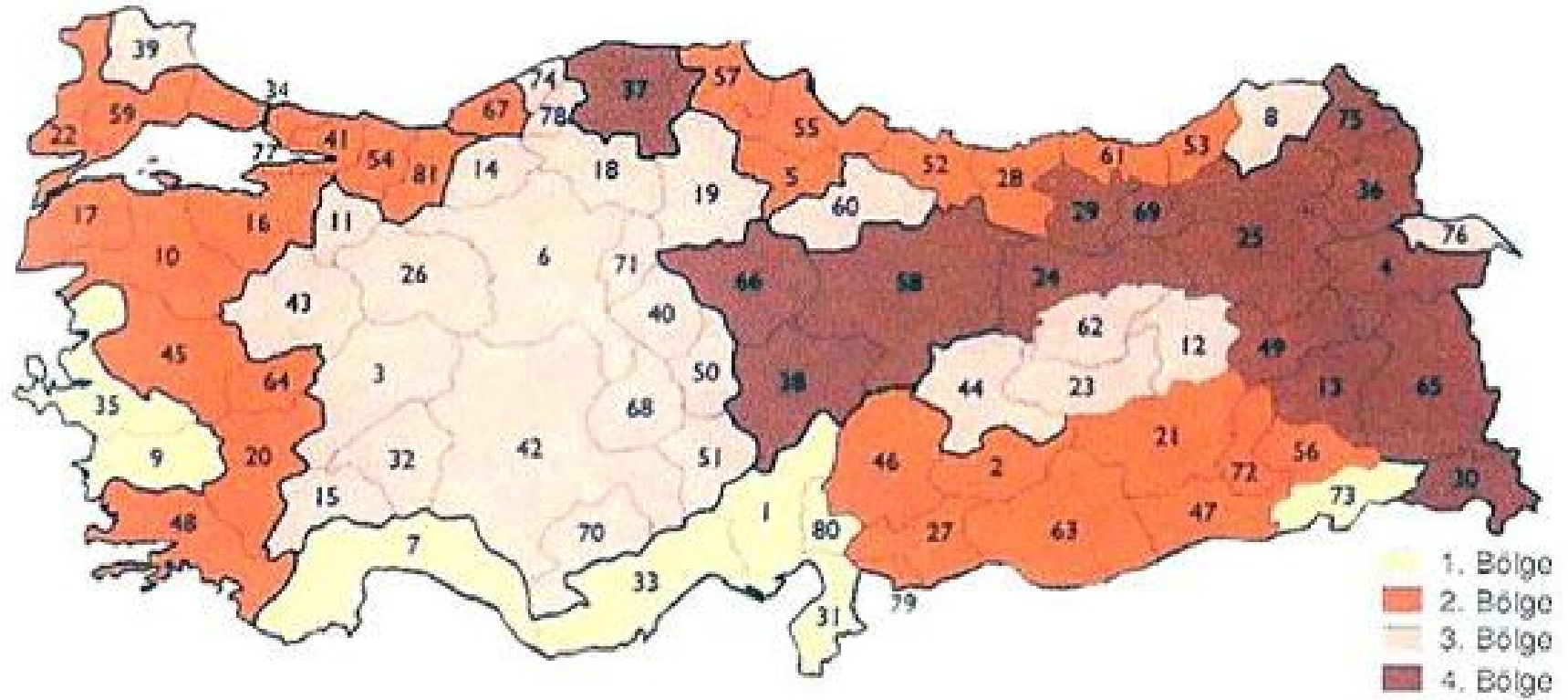
No.	Araştırmacı	Açıklama/Bilgi	Isıtma /Soğutma	Taban Alanı (m ²)	Isıtma /Soğutma Yüğü (W/m ² veya *kWh/m ²)	Ekserji Verimi (%)
1	LowEx [100]	ZUB ofis binası / ısı pompası	Isıtma	2202.35	7.65	1.43
2	LowEx [100]	Aşle ev / ısı pompası	Isıtma	140.00	30.71	2.20
3	LowEx [100]	Kumamoto / ısı pompası	Isıtma	620.00	84.84	4.90
4	LowEx [100]	Shukuya (konut) / bölge ısı	Isıtma	146.00	6.76	0.40
5	LowEx [100]	Shukuya (KTH İsveç) / bölge ısı	Isıtma	36.00	60.43	9.50
6	Balta ve diğerleri. [86]	Isı pompası	Isıtma	35.00	97.91	4.90
7	Kalinci ve diğerleri. [89]	Isı bölgesi	Isıtma	95.59	181.80	6.14
8	Yıldız ve Güngör [100]	LNG yoğuşmalı kazan	Isıtma	240.00	25.29	8.69
9	Yıldız ve Güngör [100]	LNG konvansiyonel kombi	Isıtma	240.00	25.29	8.68
10	Yıldız ve Güngör [100]	Dış hava – hava ısı pompası	Isıtma	240.00	25.29	6.66
11	Lohani ve Schmidt [115]	Konvansiyonel ve yoğuşmalı kombi yerden ısıtmalı bina sistemi	Isıtma	64.00	112.09	5.00
12	Lohani ve Schmidt [115]	Sabit yoğuşma sıcaklığı 30 °C ile ısı pompası sistemi / toprak ısı pompası evaporatör sıcaklığı değişken	Isıtma	64.00	112.09	7.10
13	Lohani ve Schmidt [115]	Sabit yoğuşma sıcaklığı 40 °C ile ısı pompası sistemi / toprak ısı pompası evaporatör sıcaklığı değişken	Isıtma	64.00	112.09	5.40
14	Lohani ve Schmidt [115]	Ortam sıcaklığı değişen sabit yoğuşma sıcaklığı 30 °C ile hava kaynaklı ısı pompası sistemi	Isıtma	64.00	112.09	3.70
15	Lohani ve Schmidt [115]	Ortam sıcaklığı değişen sabit yoğuşma sıcaklığı 40 °C ile hava kaynaklı ısı pompası sistemi	Isıtma	64.00	112.09	3.47
16	Karakaşlı	Referans dış sıcaklık – 12 °C İç ortam sıcaklığı 21°C olan ortam için tavandan olan ısıtma	Isıtma	17.00	543.5	1.5

5. ÖNERİLER

Ekserji analizi, ikinci yasaya dayanan bir termodinamik analiz olup, enerji sistemlerini ve hal değişimlerini değerlendirmeyi ve karşılaştırmayı mümkün kılar. Ekserji analizi sonuçları sistem performansının iyileştirilmesinde ve daha iyi tasarımların yapılmasında kullanılır. Ekserji analizi yapılarak;

- Bina konumları belirlenirken, güneşlenme ve gölgelenme yönü, süreleri dikkate alınmalıdır.
- Geleneksel ısı kaybı hesabı tek başına enerji ve ekserji analizi için doğru sonuç vermez ve bununla birlikte sistem enerji kayıplarının belirlenmesi gerekmektedir.
- Bina ısıtma ve soğutma sistemi tasarlanırken, kullanılacak ısıtma sisteminin yakıt cinsi, istenilen konfor şartları ve binanın bulunduğu bölgenin iklim koşulları dikkate alınmalıdır.
- Binanın kullanım amacı ve işletme şartları dikkate alınarak ısıtma ve soğutma sistemleri tasarlanmalıdır.

EK - 1



KAYNAKLAR

- [1] European Energy Performance of Buildings Directive, 2002.
- [2] **Balta M.T., Dincer I., ve Hepbasli A.**,2010. Performance and sustainability assessment of energy options for building HVAC applications, Energy and Buildings, 1320-1328.
- [3] **Schmidt D.**, 2003. Design of low exergy buildings-method and a pre-design tool, International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, 1-47.
- [4] **Çaliskan H., Hepbasli A.**, 2010. Energy and exergy analyses of ice rink buildings at varying reference temperatures, Energy and Buildings, 1418–1425.
- [5] **Balta M.T., Kalinci Y., Hepbasli A.**, 2008. Evaluating a low exergy heating system from the power plant through the heat pump to the building envelope, Energy and Buildings. 1799–1804.
- [6] Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği, sayı 27075. Resmi Gazete, Aralık 2008.
- [7] **Çengel Y., Boles A.**, 2004. Termodinamik, 145, 1-5.
- [8] Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi, Bayındırlık Bakanlığı 2010.
- [9] **Rosen M.A.**, 2002. Exergy and Economics, is Exergy Profitable, Exergy-An International Journal, 1-3.
- [10] Bina Enerji Performansı Referans Bina Belirleme Yöntemi, Bayındırlık Bakanlığı, 2010.
- [11] <http://bep.yigm.gov.tr/>, Bep-Tr, Binalarda Enerji Verimliliği, 20 Şubat 2010.
- [12] **Dincer I.**, 2002. The role of exergy in energy policy making. Energy policy, 137-149.
- [13] **Türküzü B.**, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 30, 2, 77-83, 2010 J. of Thermal Science and Technology ©2010 TIBTD Printed in Turkey ISSN 1300-3615

- [14] **Pak P. S., Suziki Y.**, 1997. Exergetic evaluation of gas turbine cogeneration system for district heating and cooling, *International Journal of energy research*, vol 82, 2735-2740
- [15] **Kwak Ho-young**, Duck-Jin Kim and Jin-Seok Jeon, "Exergetic and thermoeconomic analysis of power plant," *Energy*, Vol. 28, pp. 343-360, 2003.
- [16] **Çengel Y., Boles M.A.**. 2008. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. Çağlayan Ofset Matbaacılık, İzmir, 423-470.
- [17] **Ekin A., Çerçi Y.**, 2008. Buzdolaplarında Kullanılan Buhar Sıkıştırıcı Soğutma Çevrimlerinin Ekserji Analizi İle İncelenmesi, *I. Soğutma Teknolojileri Sempozyumu*, İzmir, 9-12 Ekim, s. 205
- [18] **Rosen, M. A., Dincer, G.**, 2004. Effect of Varying Dead-State Properties on Energy and Exergy Analyses of Thermal Systems. *International Journal of Thermal Sciences*, 43, s. 121-133
- [19] **Dinçer İ., Muslim H.**, 2001. Thermodynamic analysis of reheat cycle steam power plants, *International Journal of Energy Research*, cilt 25, sayı 8, s.727–739, 25 June
- [20] **Fiaschi, D., G. Manfrida**, 1998. Exergy Analysis of Semi-Closed Gas Turbine Combined Cycle (SCGT/CC). *Energy Conversion and Management*, cilt 39, sayı16-18, s.1643-1652
- [21] **Hepbaşlı, A.**, 2008. Endüstriyel işletmelerde ekserji yönetim sisteminin kurulması. *Termodinamik Dergisi*, Haziran, Sayı:190.
- [22] **Al-Homoud, M.S.**, 2005. "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials", *Building and Environment*, 40, 353–366.
- [23] **Evcil, N.**, 2000. Isı izolasyonu ve dış duvarların enerji etkin yenilenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı,
- [24] **Çengel, Y. A., Boles, M. A.**, 1996. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Derbentli, T., McGraw-Hill – Literatür yayınları, İstanbul.
- [25] **Çomaklı, K.**, 2003. Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezinin Enerji ve Ekserji Analizi, *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

- [26] **Çengel, Y. A., Boles, M. A.** (1996) Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Derbentli, T., McGraw-Hill – Literatür yayınları, İstanbul.
- [27] **Kahraman, N. Cengel, Y. A.,** 2005. Exergy Analysis of a MSF Distillation Plant, *Energy Conversion and Management*, **46**.
- [28] **Dincer, I.,** 2000. Thermodynamics, Exergy and Environmental Impact, *Energy Sources*, **22**, 723–732.
- [29] **Erduranlı, P.** 1997 Enerji santraline ekserji analizinin uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [30] Anonim, 2003 ASHRAE Uygulamaları El Kitabı. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Ankara, 2005.
- [31] **Mobedi, M.,** 2003. Ameliyathane Klima ve Havalandırma Sistemleri. *Tesisat Dergisi*, **85**, 66-70.
- [32] **Anıl O. B., Mobedi M., Özerdem B.,** 2008. Hastanelerin Hijyenik Sınıf 1 Ortamlarında Kullanılan Klima ve Havalandırma Sistemleri İçin Tasarım Parametreleri, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, **58**, Ankara, Türkiye, 23-30.
- [33] **Anıl O. B., Mobedi M., Özerdem B.,** 2008. Hastane Hijyenik Ortamları İçin Klima ve Havalandırma Sistemleri Tasarım Parametreleri. 8. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 25-28 Ekim 2008, s. 497-509.
- [34] **Anıl O. B., Mobedi M., Özerdem B.,** 2007. Hastane Hijyenik Ortamları Klima ve Havalandırma Sistemleri. 8. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, s. 514-525.
- [35] **Karadeniz Y., Horuz R. İ., Coşkun S., Kaynaklı Ö.,** 2008. İklimlendirme Esasları ve Uygulamaları. Dora Yayın Dağıtım Ltd. Şti. Bursa, 450-487.
- [36] www.everestgardensupply.com, 19 Ocak 2012.
- [37] www.bskhavalandirma.com.tr, 04 Nisan 2012.
- [38] www.elektroteknik.com.tr, 05 Eylül 2011.
- [39] www.eneco.com, 29 Ağustos 2011.
- [40] **Çimen F.,** 2009. Klima Santrallerinde Enerji Tasarrufu. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, Mayıs-Haziran 2009, 35-39.
- [41] www.klimakar.com.tr, 25 Mart 2012.

- [42] www.hepaonline.com, 22 Kasım 2011.
- [43] www.yasarldt.com, 11 Ocak 2012.
- [44] **Sze G., Hwa L.S., Mathur A.**, 2002. Hospital HVAC Design, A Challenge for IAQ, Energy Recovery and System Reliability. *The Magazine of Indian Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, July-September 2002.
- [45] **Cerit, B., Doğrul N.**, 2005. İklimlendirme Yapılacak Tesislerde Enerji Tasarrufu Tedbirleri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **89**, s. 71-77.
- [46] **Çimen, F.**, 2009. Klima Santrallerinde Enerji Tasarrufu. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, Sayı Mayıs-Haziran 2009, s.35-39.
- [47] **Boylu, A.**, 2009. Ülkemizde Hastane Hijyenik Alan Klima ve Havalandırma Tekniğinin Durumu. *RVC-ĞST Magazin Dergisi*, **8**, İstanbul, s.54-63.
- [48] **Çengel Y., Boles M.A.**, 2008. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. Çağlayan Ofset Matbaacılık, İzmir, 423-470.
- [49] **Demircioğlu, A.**, 2010. R22 ve Alternatifleri R407C ile R410A Soğutucu Akışkanlarının Isı Pompasındaki Performanslarının Teorik Olarak İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [50] **Özgener, L., Hepbaşlı, A.**, 2003. HVAC Sistemlerinde Ekserji Analizinin Gerekliliği Ve Uygulamaları, *VI Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi*.
- [51] **Çomaklı, K., Yüksek, B.**, 2002. Kazanlarda ekserji enalizi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, s. 33-37.
- [52] **Çalışkan H., Tat E.M., Hepbaşlı A.**, 2009. "Performance assesment of internal combustion engine at varying dead (reference) state temperatures, *Applied Thermal Engineering*.
- [53] <http://www.yasam.com.tr>, 30 Mayıs 2012.
- [54] Viessman Teknik Bilgiler Klasörü, 2009.
- [55] **Yücer C.T., Hepbasli, A.**, 2011. Thermodynamic analysis of a building using exergy analysis method, *Energy and Building*, **43**, 536-542.
- [56] **Yıldız A., Güngör A.**, 2009. Energy and exergy analyses of space heating in Buildings, *Applied Energy*, 1939-1948.

- [57] **H. Torio, A. Angelotti, D. Schmidt,** (2009). Exergy analysis of renewable energy-based climatisation systems for buildings, A critical view Energy and buildings, 248-271.
- [58] **Nasseri C.,** 2009. ABD Enerji Bakanlığı'nın Enerji Politikaları, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Semineri.
- [59] **Doğan, H.,** 2002. Uygulamalı havalandırma ve iklimlendirme tekniği, Ankara, s. 237
- [60] **Aydoğdu, O.,** 2007. Trox hava dağıtıcı ve menfez seçimlerinde dikkat edilecek husular, mayıs, s.18
- [61] CSTB, Fransa f faktörleri

ÖZGEÇMİŞ

Evren KARAKAŞLI, 1981 yılında Elazığ'da doğdu. İlkokulu Elazığ Şair Hayri İlköğretim Okulu'nda, Ortaokulu Elazığ Mezre Ortaokulu'nda okudu. Elazığ Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2006 yılında mezun oldu. 2007 – 2010 yılları arasında Elazığ Özel Hayat Damla Hastanesinde Makine Mühendisi olarak çalıştı, 2010 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başlamıştır ve halen Toki konutlarında Makine Mühendisi olarak çalışmaktadır.