

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BİR OTEL ÖRNEĞİNDE ISITMA VE SOĞUTMA
SİSTEMLERİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE GÜL

BOLU, OCAK - 2020

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



BİR OTEL ÖRNEĞİNDE ISITMA VE SOĞUTMA
SİSTEMLERİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE GÜL

BOLU, OCAK - 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Merve GÜL tarafından hazırlanan“BİR OTEL ÖRNEĞİNDE ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALIZI” adlı tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda 10.01.2020 tarihinde savunularak Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Prof. Dr. Ömer ÖZYURT
Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Üye
Doç. Dr. Suat SARIDEMİR
Düzce Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. A.Osman EMİROĞLU
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

İmza





Prof. Dr. Ömer ÖZYURT 

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Saygıdeğer hocama ve aileme,

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Merve GÜL



ÖZET

**BİR OTEL ÖRNEĞİNDE ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MERVE GÜL
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ÖMER ÖZYURT)**

BOLU, OCAK - 2020

Günümüzde dünyadaki en büyük sorunlardan biri enerjidir. Bu yüzden de enerji tüketimi konusunda alınacak tedbirler hem ülke ekonomisi hem de dünya ekonomisi açısından oldukça önemlidir. Ülkemizde enerji tüketiminin büyük bir bölümü binalardan kaynaklanmaktadır ve bu tüketimin büyük bölümünü HVAC sistemleri oluşturmaktadır. Sistemler üzerinde tasarruf sağlayabilmek için, enerji ve ekserji analizlerinin yapılması ve bunun sonucunda hangi HVAC sisteminin daha verimli olduğuna karar verilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, ilk olarak, enerji ve ekserji analizi genel hatlarıyla ele alınmıştır. Sonrasında, Bolu’da restore edilen bir otelin ısıtma ve soğutma sistemi enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu analizler kullanılan enerjinin ne kadarlık bir bölümünün yararlı işe dönüştürülebileceğini göstermiştir. Isıtma sisteminde yapılan enerji analizlerinde en düşük verimin eşanjörde, en yüksek verimin kazanda; ekserji analizlerinde en düşük verimin kazanda, en yüksek verimin ise fan coilde olduğu tespit edilmiştir. Soğutma sisteminde yapılan enerji analizlerinde ise en yüksek verimin chillerde, en düşük verimin fan coil ve klima santrali hattında; ekserji analizlerinde en düşük verimin chillerde en yüksek verimin klima santrali ve fan coil hattında olduğu tespit edilmiştir.

Analizlere göre ekserji analizinin enerji analizinden daha gerçekçi değerler ortaya koyduğu anlaşıldı. Ekserji analizine bağlı olarak, chillerde ve kazanda iyileştirmeler yapılarak enerji verimliliği sağlanabileceği görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER: Enerji, Ekserji, Isıtma, Soğutma, Mekanik Tesisat, HVAC, Enerji Tasarrufu, Termodinamik

ABSTRACT

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF HEATING AND COOLING SYSTEMS IN THE HOTEL EXAMPLE

MSC THESIS

MERVE GÜL

**BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. ÖMER ÖZYURT)**

BOLU, JANUARY 2020

Nowadays, one of the biggest problems in the world is energy. Therefore, the measures to be taken in terms of energy consumption are very important for both the national economy and the world economy. Most of the energy consumption in our country is caused by buildings and HVAC systems constitute the majority of this consumption. In order to save energy on the systems, energy and exergy analyzes should be performed and as a result, which HVAC system is more efficient should be decided.

In this study, initially, energy and exergy analysis is discussed in general terms. Afterwards, energy and exergy analyzes were performed in the heating and cooling systems of a restored hotel in Bolu. Thus, it was emphasized how much of the energy used in the system can be converted into useful work with energy transfers. According to energy analyses for heating systems; it is indicated that heat exchanger has got lowest efficiency, but boiler has got high efficiency. According to exergy analyses for heating systems; fan coil has got the highest efficiency but boiler has got the lowest efficiency. Energy analyses which are performed for cooling systems has got highest efficiency in chiller, but the lowest efficiency on fan coil and air heating unit line. For exergy analyses, it is determined that lowest efficiency is exercised in chiller and the highest efficiency is exercised in air heating unit (AHU) and fan coil line.

According to the analyzes, it was revealed that exergy analyzes are more realistic than the energy analyzes. It was seen that energy efficiency can be achieved making improvements in the boiler and chiller due to exergy analysis.

KEYWORDS: Energy, Exergy, Heating, Cooling, Mechanical Installation, HVAC, Energy Saving, Thermodynamics

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xii
TEŞEKKÜR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	3
3. GENEL BİLGİLER	6
3.1 Termodinamiğin Temel Kavramları.....	6
3.1.1 Termodinamiğin 1. Yasası.....	6
3.1.2 Termodinamiğin 2. Yasası.....	10
3.1.3 Entropi	14
3.1.4 Kullanılabilirlik.....	16
3.1.5 Enerji Analizi.....	17
3.1.6 Ekserji Analizi	18
3.2 Binalarda Mekanik Tesisatlar.....	19
3.2.1 Sihhi Tesisat Sistemleri	21
3.2.2 Isıtma ve Soğutma Tesisat Sistemleri.....	22
3.2.3 Havalandırma Tesisat Sistemleri	24
3.2.4 Yangın Tesisat Sistemleri	25
3.3 Klima Santralleri	25
4. MATERYAL VE YÖNTEM	31
4.1 Uygulama Yapılan Otelde Isıtma Tesisatı.....	31
4.2 Uygulama Yapılan Otelde Soğutma Tesisatı	34
4.3 Uygulama Yapılan Otelde Havalandırma Tesisatı	36
5. ISITMA VE SOĞUTMA TESİSATI SİSTEMLERİNDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ	38
5.1 Isıtma ve Soğutma Tesisatı Sistemlerinde Enerji Analizi.....	38
5.1.1 Isıtma Sisteminde Enerji Analizi	39
5.1.1.1 Kazanın Enerji Analizi.....	39
5.1.1.2 Klima Santrali Hattının Enerji Analizi.....	40
5.1.1.3 Fan Coil Hattının Enerji Analizi	41
5.1.1.4 Eşanjörün Enerji Analizi	41
5.1.2 Soğutma Sistemlerinde Enerji Analizi.....	42
5.1.2.1 Chillerin Enerji Analizi.....	43
5.1.2.2 Klima Santrali Hattının Enerji Analizi.....	43

5.1.2.3	Fan Coil Hattının Enerji Analizi	44
5.2	Isıtma ve Soğutma Tesisatı Sistemlerinde Ekserji Analizi.....	46
5.2.1	Isıtma Sisteminde Ekserji Analizi.....	47
5.2.1.1	Kazanda Ekserji Analizi.....	47
5.2.1.2	Klima Santrali Tesisat Sisteminde Oluşan Ekserjik Kayıplar	52
5.2.1.3	Fan Coil Sisteminde Oluşan Ekserjik Kayıplar	53
5.2.1.4	Eşanjörde Oluşan Ekserjik Kayıplar	54
5.2.2	Soğutma Sisteminde Ekserji Analizi	56
5.2.2.1	Chillerde Oluşan Ekserjik Kayıplar	56
5.2.2.2	Klima Santrali Sisteminde Oluşan Ekserjik Kayıplar.....	57
5.2.2.3	Fan Coil Sisteminde Oluşan Ekserjik Kayıplar	58
6.	BULGULAR VE TARTIŞMA	60
6.1	Enerji Analizi Sonuçları	60
6.1.1	Isıtma Sisteminde Elde Edilen Sonuçlar.....	60
6.1.2	Soğutma Sisteminde Elde Edilen Sonuçlar	62
6.2	Ekserji Analizi Sonuçları.....	64
6.2.1	Isıtma Sistemi Elemanlarında Elde Edilen Sonuçlar	64
6.2.2	Soğutma Sistemi Elemanlarında Elde Edilen Sonuçlar	66
6.3	Enerji ve Ekserji Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	68
6.3.1	Isıtma Sisteminin Karşılaştırılması.....	68
6.3.2	Soğutma Sisteminin Karşılaştırılması.....	71
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	73
8.	KAYNAKLAR.....	74
9.	ÖZGEÇMİŞ.....	76

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çevrimde toplam enerji	9
Şekil 3.2. Kapalı ve açık sistem	9
Şekil 3.3. Clausius ifadesinin şematik görünümü	12
Şekil 3.4. Termodinamiğin 2. yasası soğutma çevrimi	13
Şekil 3.5. Kelvin-Planck ifadesinin şematik görünümü	13
Şekil 3.6. Kelvin Planck ifadesine göre bir termik santral temel çevrimi	14
Şekil 3.7. Entropi	15
Şekil 3.8. Bina mekanik tesisatı	20
Şekil 3.9. Binalarda mekanik tesisat çeşitleri	21
Şekil 3.10. Isıtma Kazanı Şematik Gösterimi	23
Şekil 3.11. Sprink Detayı	25
Şekil 3.12. Otelde kullanılan klima santralleri	26
Şekil 3.13. Klima santrali üniteleri	28
Şekil 3.14. Klima santrali konfigrasyon örnekleri	28
Şekil 3.15. Çift katlı karışım havalı klima santrali	29
Şekil 3.16. %100 Taze havalı rotorlu ısı geri kazanım üniteli klima santrali	29
Şekil 3.17. Çift katlı %100 taze havalı run-around ısı geri kazanım bataryalı klima santrali	29
Şekil 3.18. Tek katlı karışım havalı run-around ısı geri kazanım bataryalı klima santrali	29
Şekil 3.19. Otelde kullanılan santrallere ait seçim grafiği	30
Şekil 4.1. Otelde kullanılan kazanın detaylı resmi	31
Şekil 4.2. Otelde kullanılan kazanların şematik resmi	32
Şekil 4.3. Otel ana ısıtma kollektörü	32
Şekil 4.4. Otel ana ısıtma dönüş kollektörü	33
Şekil 4.5. Otele ait ısıtma sisteminin akış diyagramı	33
Şekil 4.6. Otelde kullanılan tavan tipi ve yer tipi fan coil örnekleri	34
Şekil 4.7. Soğutma sistemi akış diyagramı	34
Şekil 4.8. Otelde kullanılan soğutma grubunun yerleşim planı	35
Şekil 4.9. Örnek bir mahalde havalandırma kanalı menfez bağlantısı	36
Şekil 5.1. Kazan için gerekli parametreler	39
Şekil 5.2. Klima santrali için gerekli parametreler	40
Şekil 5.3. Fan-coil hattı için gerekli parametreler	41
Şekil 5.4. Eşanjör için gerekli parametreler	42
Şekil 5.5. Chiller için gerekli parametreler	43
Şekil 5.6. Klima santrali için gerekli parametreler	44
Şekil 5.7. Fan-coil hattı için gerekli parametreler	45
Şekil 5.8. Enerji dengesi	46
Şekil 5.9. Kazan için gerekli parametreler	48
Şekil 5.10. Klima santrali için gerekli parametreler	52
Şekil 5.11. Fan-Coil için gerekli parametreler	53
Şekil 5.12. Eşanjör için gerekli parametreler	54
Şekil 5.13. Chiller için gerekli parametreler	56
Şekil 5.14. Klima santrali için gerekli parametreler	57

Şekil 5.15. Fan-Coil için gerekli parametreler.....	58
Şekil 6.1. Isıtma sistemi için Sankey diyagramı.....	62
Şekil 6.2. Soğutma sistemi için Sankey diyagramı.....	63
Şekil 6.3. Otelin ısıtma sistemi için Grassman diyagramı.....	66
Şekil 6.4. Soğutma sistemi ait Grassman diyagramı.....	68
Şekil 6.5. Isıtma sistemi enerji ve ekserji kayıpları.....	69
Şekil 6.6. Isıtma sistemi enerji ve ekserji verimleri.....	70
Şekil 6.7. Soğutma sistemi enerji ve ekserji kayıpları.....	71
Şekil 6.8. Soğutma sistemi enerji ve ekserji verim değerleri.....	72
Şekil 6.9. Otele ait sistemlerin enerji ve ekserji verimleri.....	72



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1. Açığa çıkan baca gazlarının kütleleri	50
Çizelge 5.2. Baca gazlarına termodinamiksel özellikler.....	51
Çizelge 5.3. Baca gazlarına ait kimyasal, termodinamiksel ve toplam ekserji değerleri.....	51
Çizelge 5.4. Baca gazları çevre yüzdeleri (Moran ve Shapiro)	51
Çizelge 6.1. Isıtma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal enerjileri.....	60
Çizelge 6.2. Isıtma sistemindeki elemanların enerjik kayıp ve verim değerleri	61
Çizelge 6.3. Soğutma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal enerjileri.....	62
Çizelge 6.4. Soğutma sistemindeki elemanların enerjik kayıp ve verimleri.....	63
Çizelge 6.5. Isıtma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal ekserjileri.....	64
Çizelge 6.6. Isıtma sistemindeki elemanların ekserjik kayıp ve verimleri.....	65
Çizelge 6.7. Soğutma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal ekserjileri.....	67
Çizelge 6.8. Soğutma sistemindeki elemanların ekserjik özellikleri.....	67
Çizelge 6.9. Isıtma sistemindeki cihazların enerji ve ekserji analiz sonuçları.	69
Çizelge 6.10. Soğutma sistemindeki cihazların enerji ve ekserji analiz sonuçları.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çevrimde toplam enerji	9
Şekil 3.2. Kapalı ve açık sistem	9
Şekil 3.3. Clausius ifadesinin şematik görünümü	112
Şekil 3.4. Termodinamiğin 2. yasası soğutma çevrimi	13
Şekil 3.5. Kelvin-Planck ifadesinin şematik görünümü	13
Şekil 3.6. Kelvin Planck ifadesine göre bir termik santral temel çevrimi	14
Şekil 3.7. Entropi	15
Şekil 3.8. Bina mekanik tesisatı	20
Şekil 3.9. Binalarda mekanik tesisat çeşitleri	21
Şekil 3.10. Isıtma Kazanı Şematik Gösterimi	23
Şekil 3.11. Sprink Detayı	25
Şekil 3.12. Otelde kullanılan klima santralleri	126
Şekil 3.13. Klima santrali üniteleri	128
Şekil 3.14. Klima santrali konfigrasyon örnekleri	28
Şekil 3.15. Çift katlı karışım havalı klima santrali	29
Şekil 3.16. %100 Taze havalı rotorlu ısı geri kazanım üniteli klima santrali	29
Şekil 3.17. Çift katlı %100 taze havalı run-around ısı geri kazanım bataryalı klima santrali	29
Şekil 3.18. Tek katlı karışım havalı run-around ısı geri kazanım bataryalı klima santrali	29
Şekil 3.19. Otelde kullanılan santrallere ait seçim grafiği	30
Şekil 4.1. Otelde kullanılan kazanın detaylı resmi	31
Şekil 4.2. Otelde kullanılan kazanların şematik resmi	32
Şekil 4.3. Otel ana ısıtma kollektörü	32
Şekil 4.4. Otel ana ısıtma dönüş kollektörü	33
Şekil 4.5. Otele ait ısıtma sisteminin akış diyagramı	33
Şekil 4.6. Otelde kullanılan tavan tipi ve yer tipi fan coil örnekleri	34
Şekil 4.7. Soğutma sistemi akış diyagramı	34
Şekil 4.8. Otelde kullanılan soğutma grubunun yerleşim planı	35
Şekil 4.9. Örnek bir mahalde havalandırma kanalı menfez bağlantısı	36
Şekil 5.1. Kazan için gerekli parametreler	39
Şekil 5.2. Klima santrali için gerekli parametreler	40
Şekil 5.3. Fan-coil hattı için gerekli parametreler	41
Şekil 5.4. Eşanjör için gerekli parametreler	42
Şekil 5.5. Chiller için gerekli parametreler	43
Şekil 5.6. Klima santrali için gerekli parametreler	44
Şekil 5.7. Fan-coil hattı için gerekli parametreler	45
Şekil 5.8. Enerji dengesi	46
Şekil 5.9. Kazan için gerekli parametreler	48
Şekil 5.10. Klima santrali için gerekli parametreler	52
Şekil 5.11. Fan-Coil için gerekli parametreler	53
Şekil 5.12. Eşanjör için gerekli parametreler	54
Şekil 5.13. Chiller için gerekli parametreler	56
Şekil 5.14. Klima santrali için gerekli parametreler	57

Şekil 5.15. Fan-Coil için gerekli parametreler.....	58
Şekil 6.1. Isıtma sistemi için Sankey diyagramı.....	62
Şekil 6.2. Soğutma sistemi için Sankey diyagramı.....	63
Şekil 6.3. Otelin ısıtma sistemi için Grassman diyagramı.....	66
Şekil 6.4. Soğutma sistemi ait Grassman diyagramı.....	68
Şekil 6.5. Isıtma sistemi enerji ve ekserji kayıpları.....	69
Şekil 6.6. Isıtma sistemi enerji ve ekserji verimleri.....	70
Şekil 6.7. Soğutma sistemi enerji ve ekserji kayıpları.....	71
Şekil 6.8. Soğutma sistemi enerji ve ekserji verim değerleri.....	72
Şekil 6.9. Otele ait sistemlerin enerji ve ekserji verimleri.....	72



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1. Açığa çıkan baca gazlarının kütleleri	50
Çizelge 5.2. Baca gazlarına termodinamiksel özellikler.....	51
Çizelge 5.3. Baca gazlarına ait kimyasal, termodinamiksel ve toplam ekserji değerleri.....	51
Çizelge 5.4. Baca gazları çevre yüzdeleri (Moran ve Shapiro)	51
Çizelge 6.1. Isıtma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal enerjileri.....	60
Çizelge 6.2. Isıtma sistemindeki elemanların enerjik kayıp ve verim değerleri	61
Çizelge 6.3. Soğutma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal enerjileri.....	62
Çizelge 6.4. Soğutma sistemindeki elemanların enerjik kayıp ve verimleri....	63
Çizelge 6.5. Isıtma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal ekserjileri.....	64
Çizelge 6.6. Isıtma sistemindeki elemanların ekserjik kayıp ve verimleri.....	65
Çizelge 6.7. Soğutma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal ekserjileri.....	67
Çizelge 6.8. Soğutma sistemindeki elemanların ekserjik özellikleri.....	67
Çizelge 6.9. Isıtma sistemindeki cihazların enerji ve ekserji analiz sonuçları.	69
Çizelge 6.10. Soğutma sistemindeki cihazların enerji ve ekserji analiz sonuçları.....	71

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

Semboller

$^{\circ}\text{C}$: Santigrad Derece
Ex	: Toplam ekserji, kW
h	: Entalpi, kJ/kg
Ha	: Yakıt alt ısı değeri, kJ/kg
kW	: Kilowatt
kg	: Kilogram
\dot{m}	: Kütleli Debi, kg/s
\dot{M}	: Molar Kütleli debi, kg/s
Q	: Toplam enerji, kW
s	: Entropi, kJ/kg.K
T	: Sıcaklık $^{\circ}\text{C}$, K
W	: İş, W, kW
η	: Verim
η_I, η_Q	: Enerji Verimi
η_{II}, η_{Ex}	: Ekserji Verimi

Kısaltmalar

HVAC	: Heating Ventilating Air Conditioning
VAV	: Variable Air Volume
FCU/FC	: Fan Coil Unit / Fan Coil
AHU/KS	: Air Heat Unit / Klima Santrali
CH	: Chiller
EI	: Isıtma Eşanjörü
ES	: Soğutma Eşanjörü
MIST	: Mekanik Isıtma Soğutma Tesisatı

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen, çalıőmama yardım eden, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ömer Özyurt'a teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca annem Semiha ÇOLAK, babam Mustafa ÇOLAK, kardeőlerim İlknur ÇOLAK, Zeliha ÇOLAK, Sonnur ÇOLAK ve eőim Ferhat GÜL' e manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Saygılarımla

Merve GÜL



1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler, dünya nüfusunun artması ve sanayileşme, enerji maliyetlerinin artması, çevresel sorunlar gibi çeşitli problemlere de yol açmaktadır. Enerji kaynaklarının zaman geçtikçe tükenmesi, insanları var olan enerjiyi daha tasarruflu kullanmaya ve yeni enerji kaynakları aramaya itmektedir. Bu nedenle günümüzde enerji sistemlerinde tasarrufa yönelik çalışmalara yoğunlaşmaktadır.

Enerji tüketiminde tasarruf sağlanabilmesi için enerjinin en fazla tüketildiği alanları tespit etmek gerekmektedir. Bu konuda dünya çapında yapılan araştırmalara göre; tüm dünyada tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %50'sini yapıların tükettiği görülmektedir. Türkiye için yapılan çalışmalarda ise ticari yapıların ve ofis yapılarının, tüm elektrik tüketiminin üçte birinden sorumlu olduğu ortaya konmuştur. Bu nedenle enerji korunumu politikalarının üretilmesi gereken ilk sektör, yapı sektörüdür.

Son yıllarda yapı sektörünün ülkemizde büyük ölçüde ivme kazandığı görülmektedir. Yapı sektörünün ilerlemesi sonucu, binalardaki mekanik tesisat sistemlerinin enerji tüketimi, ülkemizdeki enerji tüketiminin yaklaşık %30' luk kısmını oluşturmaktadır ve bu enerjinin yaklaşık % 85' lik kısmı iklimlendirme için kullanılmaktadır. Bu oran düşünüldüğünde binalarda birçok mekanik tesisat uygulama seçeneği olmasına rağmen alışılmış uygulamaların dışına çıkılmamasının ekonomik açıdan büyük zararlar oluşturduğu ve dünyadaki enerji problemini büyük oranda arttırdığı anlaşılmaktadır. Bu sıkıntının önüne geçmek için çeşitli çalışmalar yapılmış ve "Binalarda Enerji Performansı" yönetmeliği yayınlanmıştır. Yönetmelikte yapılardaki iklimlendirme sistemlerinde % 20' lik bir enerji kazancı planlanmıştır. Bununla birlikte bu yönetmeliği temel almanın yanı sıra, binalarda sistemlerin işletme ömrü açısından bilimsel veriler ışığında mutlaka enerji etüdü yapılmalıdır.

Yapılarda proje hazırlık aşamasında planlamanın iyi yapılması ve yapının doğru bir şekilde analiz edilmesi çok önemlidir. Kısacası iklimlendirilmesi planlanan binada en verimli sonuçlar oluşturabilecek enerji analizlerinin yapılması ve en doğru tesisat projesinin hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmada Bolu' da restore edilen bir otelin mekanik tesisat verileri dikkate alınarak ve bazı kabuller doğrultusunda enerji ve ekserji analiz çalışmaları yapılmıştır ve sonuçlar doğrultusunda önerilerde bulunulmuştur.



2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Enerji ve ekserji gerek ısıtma gerekse soğutma uygulamalarının yapıldığı çoğu mühendislik uygulamalarında sistem performansını belirlemenin en etkili yollarından biridir. Isıl sistemlerde enerji analizi sıklıkla kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkar. Enerji yasası, enerjinin sadece korunmasıyla ilgilidir ve sistemin performansının nerede, ne kadar azaldığına dair bilgi vermez. Ekserji analizi ise sistemlerin ilk tasarımdan performans değerlendirmesine kadar kullanılabilen bir metottur. Genellikle, sistemde maksimum performansı hesaplama ve enerji kaybının olduğu noktaları belirlemede kullanılır. Yani sistemde verim arttırmak ve iyileştirmeler yapabilmek için kullanılan analizdir. Binalarda HVAC sistemleri incelenmesi mühim bir konu olup bu konuyla ilgili bir çok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Bu çalışmalardan bazılarını aşağıda değinilmiştir.

Altundağ (2015) yaptığı çalışmada, bir hastanenin klima santralini ele alarak hat üzerindeki kazanın ve bir ameliyathane odasının ısıtma ekserji analizini yapmış ve mahalde oluşan ekserji kayıplarını incelemiştir. Sistemde ısıtma durumu için kazan ve klima santralinin ekserji verimlerini hesaplayarak grafikler şeklinde sunmuş ve detaylarıyla tartışmıştır.

Ergün (2010) çalışmasında, yaklaşık 3 yıl süren deneylerden elde edilen verileri ışığında Ankara'daki bir alışveriş merkezinin enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Analizlerin sonuçlarına göre yapılan değerlendirmelerde ekserji analizinin daha gerçekçi değerler ortaya koyduğu ve buna bağlı olarak, chillerde ve kazanda yapılacak iyileştirmelerin sistemlerin performanslarını arttırarak enerji verimliliği sağlayacağı ortaya konulmuştur.

Güngör vd. (2017) yaptıkları çalışmalarında, ilk olarak, enerji ve ekserji konusunu sürekli akışlı açık sistemlerde genel hatlarıyla ele almış, sonra geri dönüş havalı iklimlendirme santrali için ısıtma durumunda enerji ve ekserji analizine yer vermişlerdir. Böylelikle sistem üzerindeki enerji transferleriyle kullanılan enerjinin ne kadarlık bir kısmının yararlı işe dönüştürülebileceğini vurgulamışlardır.

Özer (2007) yaptığı çalışmada, ameliyathane odalarında havalandırma sistemi tasarımı üzerinde durmuştur. Aynı zamanda, yapılan bazı kabuller doğrultusunda, bir ameliyathanede kullanılan klima santralinde yer alan tüm donanımların (fan, ısıtıcı, soğutucu, v.b.) hesaplarını ve seçimlerini yapmıştır. Daha sonra, farklı dış hava koşullarının soğutma kapasitesine etkisini ve teorik olarak yapılan hesabın doğruluğunu tespit edebilmek amacıyla bir deney düzeneği hazırlamıştır. Akışkan tarafı soğutma kapasitesiyle hava tarafı soğutma kapasitesini karşılaştırmıştır. Sonuçların her iki ölçüm için birbiriyle ve yapılan teorik hesapla uygun olduğu gözlenmiştir.

Özgener vd. (2005) yaptıkları çalışmada HVAC sistemlerindeki tüketilen enerjinin toplam tüketilen enerjideki payının, yaklaşık % 20 oranında olduğunu belirtmişlerdir. HVAC sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde ekserji analizi yapmanın önemi üzerinde durmuşlardır. Ekserji analizinin gerek tasarım gerekse de işletme aşamasında ele alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Ünlü (2010) yaptığı çalışmada, HVAC sistemlerinin binaların enerji harcamasının büyük bölümünü oluşturduğunu ve bunu engellemek için alınması gereken önlemin, bina tasarlanırken hangi HVAC sisteminin daha uygun ve verimli olduğuna karar vermek olduğunu belirtmiştir. Öncelikle Türkiye’de bu konuda alınan yasal önlemleri ve bu önlemlerin tarihçesini incelemiş, uluslararası örnekler ortaya koymuştur. Daha sonra Ankara’da inşa edilmesi planlanan bir ofis binasını ele alarak, bu yapıya en uygun HVAC sisteminin bulunması için hesaplamalar yapmıştır. “Hourly Analysis Program” ı kullanarak binanın ısı yük hesaplamalarını ve ardından bina enerji simülasyonunu gerçekleştirmiştir.

Karaçaylı vd. (2016) yaptıkları çalışmada, ısı sistemlerinin tasarım ve analizinde genelde enerji analizinin tercih edildiğini, ancak termodinamiğin birinci yasasının sadece enerjinin korunumunu ifade ettiğini; sistemde kullanılan enerjinin ne kadarının işe dönüştürüleceği, sistemin performansının nerede, nasıl ve ne kadar azaltıldığı konusunda bilgi vermediğini söylemişlerdir. Diğer ismiyle kullanılabilirlik olan ekserjinin ısı sistemlerinin tasarımı, performans değerlendirmesi ve optimizasyonunda daha doğru bir araç olduğunu ileri sürmüşlerdir. Belirli bir haldeki işe dönüştürülemeyen enerjinin ise dışarıya atık ısı olarak atıldığını belirtmişlerdir.

Çalışmalarında HVAC sistemlerindeki ekserji analizlerine ait bazı araştırmalara ve çalışmalara yer vermişler ve ekserji analizinin yapılışını bir örnekle anlatmışlardır.

Bu çalışmada; bir otelin ısıtma ve soğutma sistemleri üzerinde durulmuştur. Yapılan kabuller ve otel uygulama verileri doğrultusunda enerji ve ekserji analizleri yapılarak binanın HVAC sistemleri seçilmiştir. Ayrıca sistemde ekserji verim değerleri hesaplanarak grafikler şeklinde sunulmuş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.



3. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde genel Termodinamik kavramlar ve kanunlar açıklanarak enerji ve ekserji kavramı hakkında temel bilgiler verilmiştir. Ayrıca enerji ve ekserji analizinin önemi üzerinde durulmuştur.

3.1 Termodinamiğin Temel Kavramları

Termodinamik sözcüğü, Yunanca thermos (ısı) ve dynamic (enerji) terimlerinden gelir ve ısıyı işe çevirebilme çabası olarak da tanımlanır. Termodinamik bilim dalı ısı, iş, sıcaklık ve enerji arasındaki ilişki ile ilgilenir. Genel anlamıyla termodinamik, enerjinin bir yerden başka bir yere ve bir biçimden başka bir biçime transferiyle ilgilenir.

3.1.1 Termodinamiğin 1. Yasası

Termodinamiğin birinci yasası (enerjinin korunumu ilkesi) enerjinin değişik biçimleri arasındaki ilişkileri ve genel olarak enerji etkileşimlerini inceler. Merkezi santraller, ısı pompaları gibi bütün ısı makinaların tasarımında enerjinin korunumu kanunu kullanılmaktadır. Bunun yanın sıra ısı sistemlerde performans değerlendirilmesinde, termodinamiğin birinci yasası sıklıkla uygulanır. Genel anlamda birinci yasa, enerjinin değişik biçimleri arasında dönüşebileceğini ancak toplam enerjinin sabit kalacağını ifade eder. Birinci yasaya göre, enerjinin vardan yok veya yoktan var edilemez, sadece bir biçimden diğerine dönüşebilir. Çevremizdeki bütün hal değişimleri birinci yasaya uymaktadır.

Değişik adyabatik hal değişimleriyle belirli 1 halinden belirli 2 haline geçen bir sistem için hal değişimleri sırasında ısı geçişi olmadığı halde bu hal değişimleri sırasında sistem ile çevre arasında değişik iş etkileşimleri olabilir. Yapılan deneysel çalışmalara göre, “kapalı bir sistemin belirli iki hali arasında gerçekleşebilecek tüm adyabatik hal değişimleri sırasında yapılan net iş, sisteme veya hal değişimlerine

bağlı olmaksızın aynıdır. Enerjinin korunumu yasası sistemin verilen bir haldeki toplam enerjisinin değeriyle ilgili değildir. Bu yasa, sadece adyabatik bir hal değişimi esnasında sistemin toplam enerji değişiminin net işe eşit olduğunu ifade eder.

Bu bilgiler ışığında sistemle çevresi arasında enerji alışverişinin iki yolla gerçekleşebileceği söylenilebilir. Bunlar, sistem tarafından yapılan veya sistemin çevreye yaptığı iştir. Bu durumda, basınç veya kuvvetin uygulama noktasının yerinde bir değişim söz konusu olur. Bu enerji alışverişi makroskopik düzeydedir. Diğer enerji değişim şekli ise sistem molekülleri arasında mikroskopik düzeyde çarpışmalardan oluşan ısı transferidir. İki durumda da, sistemin iç enerjisinde değişme meydana gelir ve sıcaklık ve hacim gibi değişkenlerde kaydadeğer değişimler oluşur.

Sistem ile çevresi arasında herhangi bir iş etkileşiminin olmadığı bir durumda, kapalı sistemdeki toplam enerji değişimi, sistem ile çevresi arasında gerçekleşen net ısı geçişine eşittir. Kapalı bir sistemde gerçekleşen adyabatik hal değişimi esnasında yapılan iş ise, sistemin toplam enerji değişimine eşittir.

Daha nicel bir bakış açısıyla bakılarak, termodinamik bir sistemin bir ilk hal durumundan son hal durumuna Q birimlik bir ısı alışverişi yaparak ve sistem üzerinde veya sistem tarafından W işi yapılarak geçtiğini düşünelim. Sistemin, ilk basıncı ve hacmi P_i , V_i kabul edilen bir gaz olup, P_s ve V_s ye değiştiği kabulüyle, eğer $Q-W$, ilk ve son denge durumlarını birleştiren farklı yollar boyunca ölçülürse, ilk ve son durumu birleştiren bütün yollar boyunca bulunan $Q-W$ değerlerinin aynı olduğu görülür. Bu sonuç, bir sistemde $Q-W$ niceliğinin ilk ve son durumu aracılığıyla tamamen saptanabilir olduğu sonucunu göstermektedir. $Q-W$ niceliği bir sistemin iç enerjisindeki değişimdir. Q ve W niceliklerinin ikisi de yola bağlı terimler olmalarına rağmen, $Q-W$ niceliği aksine yoldan bağımsızdır. Kapalı sistem dediğimiz, belirli sınırlar içerisinde yer alan sabit bir kütlenin enerjinin korunumu yasası aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$Q-W=\Delta E \text{ (kJ)} \quad (3.1)$$

Q = Sistemin sınırlarından olan net ısı geçişi

W = Net iş

E = Sistemdeki toplam enerji miktarı

Termodinamik denklemlerde çevre tarafından sisteme gerçekleşen ısı transferi ve sistemin çevreye yapmış olduğu iş pozitif kabul edilirken; sistem tarafından çevreye yapılan ısı transferi ve sistem üzerine yapılan iş negatif kabul edilir.

Sistemin iç enerjisi U, kinetik enerjisi KE ve potansiyel enerjileri PE toplamı toplam enerjisi E' ye eşittir. Bu yüzden bir hal değişimi esnasında sistem üzerindeki toplam enerji değişimi; sistemin iç enerjisindeki, kinetik enerjisindeki ve potansiyel enerjisindeki değişimlerin toplamına eşit olur.

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (3.2)$$

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (3.3)$$

$$\Delta U = m(u_2 - u_1) \quad (3.4)$$

$$\Delta KE = \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2) \quad (3.5)$$

$$\Delta PE = mg(z_2 - z_1) \quad (3.6)$$

W terimini; W_s ve W_{diğer} olarak ikiye ayırmak bazı durumlarda kolaylık sağlar. Bu noktada; W_{diğer}, sınır işi dışında yapılan tüm işlerin toplamını, W_s ise hal değişimleri sonucu gerçekleşen sınır işini ifade etmektedir. Kapalı hareketsiz sistemlerde potansiyel ve kinetik enerjiler ihmal edilebilir. Bu durumda enerji yasası şu şekilde yazılabilir;

$$Q - W_{diğer} - W_s = \Delta E \text{ (kJ)} \quad (3.7)$$

Birim kütle için denklem;

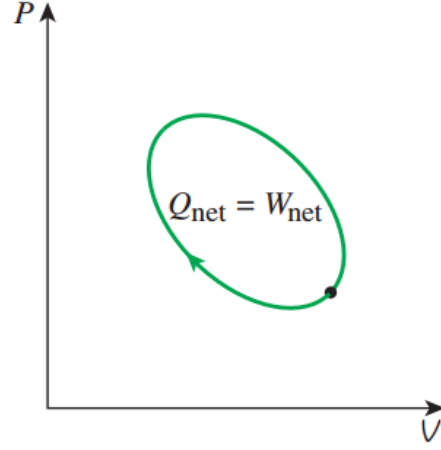
$$q - w = \Delta e \text{ (kJ/kg)} \quad (3.8)$$

Birim zamandaki değişim için ise ;

$$Q - W = dE/dt \text{ (kW)} \quad (3.9)$$

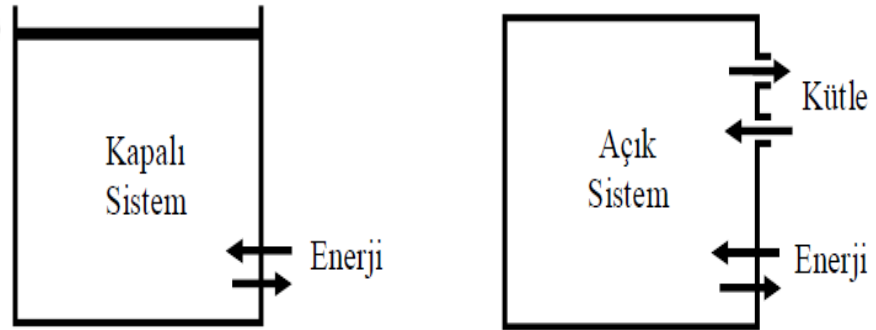
Bir çevrim oluşturan hal değişimindeki ilk ve son haller aynı olduğundan toplam enerji değişimi; $\Delta E = E_2 - E_1 = 0$ 'dır.

Buna göre çevrim için enerji yasası $Q - W = 0$ ya da $Q = W$ şeklinde ifade edilir ve şekil 3.1' de gösterildiği gibi ısı geçişi yapılan net işe eşit olur.



Şekil 3.1. Çevrimde toplam enerji

Termodinamik olarak incelenmek üzere ele alınan bölgeye sistem adı verilir ve çevresinden sistem sınırı adı verilen hayali bir yüzeyle kesin olarak ayrılır. Termodinamik bir analizde açık ve kapalı sistem, belli bir kütle veya bölgenin analiz edilmesine göre isimlendirilir. Şekil 3.2’ de açık ve kapalı sistem şematik gösterimleri verilmiştir.



Şekil 3.2. Kapalı ve açık sistem

Kontrol kütlesi sınırlarından kütle geçişi gerçekleşmeyen sistemler kapalı sistemlerdir. Kapalı sistemlere herhangi bir kütle giriş çıkışı olmaz ancak ısı ve iş olarak sistem sınırlarından enerji aktarılabilir. Açık sistemde ise sistem sınırlarından kütle geçişi, ısı ve iş şeklinde enerji alışverişi söz konusudur. Sürekli akışlı açık sistemlerde birikme olmaz çünkü sürekli bir akış söz konusudur ve açık sistemin herhangi bir noktasında akış özellikleri zamanla değişiklik göstermez.

Kontrol hacmi içerisinde, yegün ve yaygın özellikler değişmez. Bu nedenle kontrol hacminin hacim (v), kütle (m) ve toplam enerjisi (E) sürekli akışlı açık bir

sistemde sabittir. Açık sisteme giren kütle ve enerji toplamı, açık sistemden çıkan kütle ve enerji toplamına eşit olmak zorundadır. Yani $\dot{m}kx$ ve E_{kx} sabittir.

Kontrol hacmi sınırlarındaki özellikler zamanla değişime uğramaz. Bu yüzden giren ve çıkan akışkanın özellikleri de zamanla değişmez. Giriş ve çıkış kütle debisi sabittir. Sistem ile çevresi arasında birim zaman içerisinde gerçekleşen ısı ve iş alışverişi sabittir.

3.1.2 Termodinamiğin 2. Yasası

Isıl sistemlerin enerji analizi, sistem içerisindeki enerji transferleri ile enerjinin değişik biçimler arasında gerçekleşen dönüşümünü niceliksel olarak ortaya koyar ve bir hal değişiminin saptanabilmesi için zorunludur. Bu yöntem hem sistemlerin tasarımlarında hem de sistemlerin ısı performanslarının değerlendirilmesi sürecinde sıklıkla tercih edilmektedir. Sistemlerin işletilmesini sağlamada ihtiyacımız olan enerji, kullanılabilir enerjidir. Enerji denkliği bizlere sistemin sahip olduğu enerjinin ne kadarlık bir kısmının yararlı işe dönüşebileceği hakkında bilgi vermez. Bununla birlikte enerji analizi ile, enerjinin geçiş yönlerini de öğrenemeyiz. Enerji analizi sadece hal değişimlerini niteliksel olarak değerlendirir. Ayrıca enerjinin korunumu yasası, hal değişimlerinin yönüne ve tersinmezliklere bağlı olarak sistemin veriminin kuramsal sınırı hakkında da bilgi vermez. İkinci yasaya göre, enerji transferleri veya hal değişimleri entropinin arttığı yönde veya enerji niteliğinin azaldığı yönde kendiliğinden gerçekleşebilir. İkinci yasanın hal değişimlerinin yönünü belirlemenin yanı sıra aynı zamanda, atık enerjiye neden olan tersinmezliklerle ve entropi üretimiyle de ilgilenir. Özetle termodinamiğin ikinci yasası enerjinin niceliğinin yanında nitelik özelliklerinin de önemli olduğunu, doğadaki değişimlerin enerji niteliğini azaltacak yönde gerçekleştiğini öne sürer.

Birinci yasa enerjinin sadece niceliğiyle ilgilenirken ikinci yasa, enerjinin niceliği ve niteliğiyle ilgilenir. Birinci yasa, enerjinin bir biçimden diğer biçime dönüşümü sırasında gerçekleşen değişimleri sayısal verilerle ortaya koyar ve sayısal değer olarak eşit olup kaynak ve biçim bakımından farklı olan iki enerji arasında ayırım gözetmez. İkinci yasa ise, enerjinin niteliğini, bir hal değişimi esnasında bu niteliğin nasıl azaldığını hesaplamamıza imkan verir. Termodinamiğin birinci ve

ikinci yasasına dayanan ekserji, enerji terimi gibi bir biçimden diğer biçime dönüşen bir terim değildir. Ekserji belirli bir halde sistemde var olan enerjinin iş potansiyelidir. Yani sistemdeki elde edilebilecek maksimum yararlı iş anlamına gelir. Hal değişimleri sırasında enerji korunurken, ekserji değişim süresince tüketilmektedir. İş yapan bir sistemde ekserji hesabının kullanılması, sistemde sahip olunan enerjinin kullanılabilir enerji miktarını açığa çıkardığı için ısı sistemlerinin analiz ve optimizasyonunda enerji analizine kıyasla daha uygundur. Ekserji, bir termodinamik sistemin çevresiyle olan sıcaklık farkının artmasıyla artar. Sistemdeki enerjinin iş yapabilme potansiyeli termodinamik dengeden uzaklaştığı ölçüde artar, termodinamik denge noktasında ise sifıra eşittir. İki hal değişimi arasındaki, hal değişiminin tersinir olması durumunda sistem tarafından yapılan en çok iş gerçekleşmektedir. Bu yüzden hal değişimindeki tersinmezlikler sistem üzerinden elde edilebilecek maksimum iş belirlenirken dikkate alınmaz. İklimlendirme işlemleri çevre sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda meydana gelir. Bu nedenle düşük kaliteli enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadırlar. Fakat ihtiyaç duydukları elektrik enerjisi yüksek kaliteli (ekserjili) enerji kaynaklarından temin edilir. İklimlendirme yapılan ortamlarda, ortam ısıtma ve soğutmasında içeriye taze hava girişinin sağlanması için enerjiyi taşıyan iç ortam havasının bir kısmı dışarı atılır. Bu da enerjinin bir kısmının dışarı atılması anlamına gelmektedir. Bu nedenle iklimlendirme sistemlerinde harcanan enerji toplam enerji tüketiminde büyük bir paya sahiptir. Bu durum enerjinin daha verimli kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Bir süreçte enerji tüm süreç boyunca korunabilirken, ekserji sadece tersinir proseslerde korunabilmektedir. Ekserji, gerçek proseslerde tersinmezlikler dolayısıyla tüketilmektedir. Bu nedenle, HVAC sistemlerinin analizinde enerjinin etkin kullanılabilmesi aşamasında enerji analizi ile birlikte ekserji analizine de gereksinim duyulmaktadır. Çünkü ekserji analizi sistem üzerindeki olası verimsizlikleri azaltmakta ve verim oranı daha yüksek sistemler tasarlamının yollarını aramaktadır.

Termodinamiğin ikinci kanunu kullanılarak bir ısı makinesi için ısı verim aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

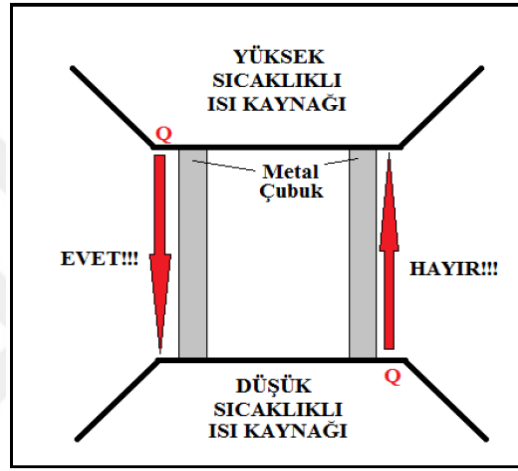
$$\eta_{th} = W_{net,çıkan} / Q_H = 1 - Q_L / Q_H \quad (3.10)$$

$W_{net,çıkan}$ = Bir ısı makinesinden elde edilen iş

Q_H = Isı makinesine verilen toplam ısı miktarı

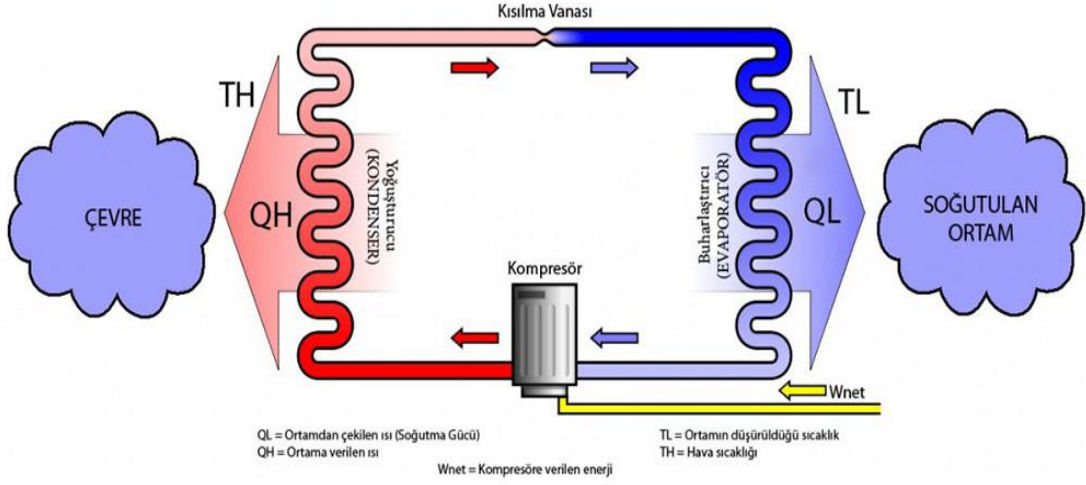
Q_L = Isı makinesinden atılan ısı miktarı

Termodinamiğin ikinci yasası Clausius tarafından “Termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan bir makinenin başka hiçbir enerji etkileşiminde bulunmadan, düşük sıcaklıktaki bir cisimden ısı alıp yüksek sıcaklıktaki bir cisme vermesi imkansızdır.” şeklinde ifade edilmiştir. Buradan zorlanma olmaksızın ısının yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru akacağı sonucu çıkarılabilir.



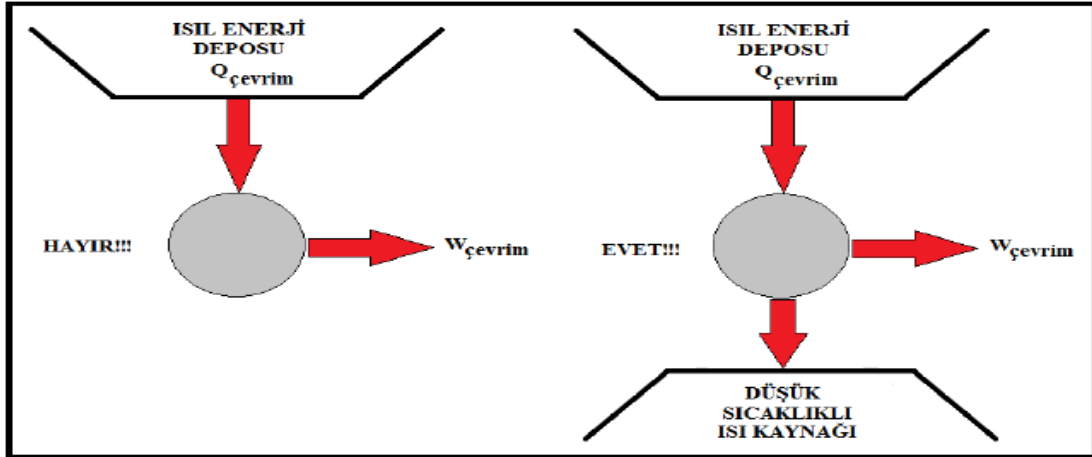
Şekil 3.3. Clausius ifadesinin şematik görünümü

Bu ifadeye örnek olarak buzdolabı sistemini gösterebiliriz. Bilindiği üzere buzdolabında bulunan soğutucu akışkan iç taraftan ısıyı çekip dış ortama aktararak soğutma işlemini sağlar. Ancak bu çevrim buzdolabı kompresörünün elektrik harcayarak gerçekleştirdiği bir çevrimdir. Yani söz konusu sistem de Clausius ifadesiyle birebir örtüşmektedir.



Şekil 3.4. Termodinamiğin 2. yasası soğutma çevrimi

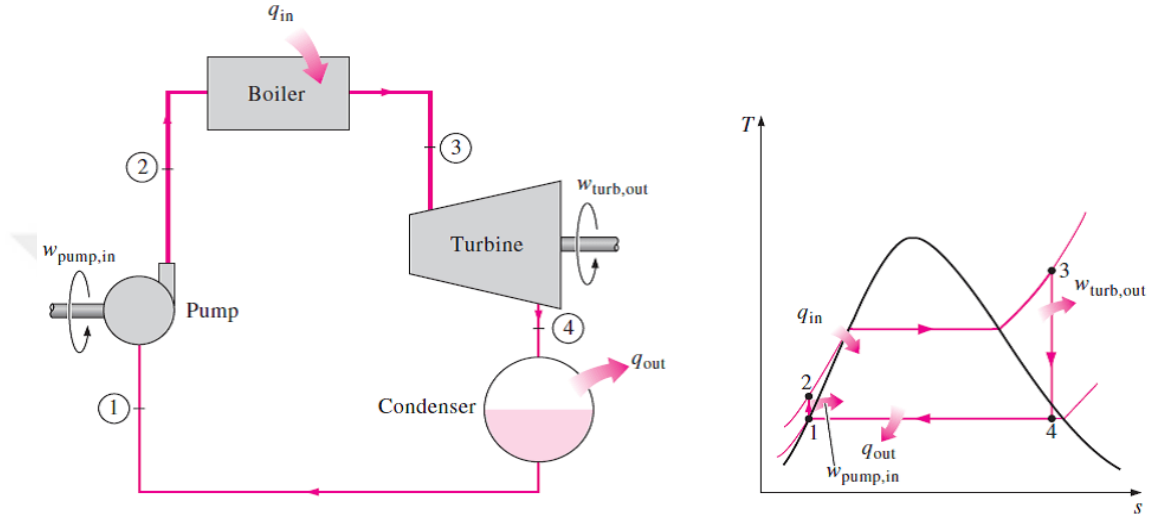
Bir ısı makinesinin çevriminin tamamlanabilmesi için, düşük sıcaklıktaki ısı enerji deposuna ısı geçişi olması gerekmektedir. Isı makinelerinin verimliliğine sınırlama getiren bu durum termodinamiğin ikinci yasasının Kelvin-Planck tarafından yapılan açıklamasının arkasında yatan düşüncedir. Termodinamiğin ikinci yasasının Kelvin-Planck tarafından ifade edilişi şöyledir: “Termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan bir makinenin sadece bir kaynaktan ısı alıp net iş üretmesi olanaksızdır.” Buradan hiçbir ısı makinesinin ısı veriminin yüzde 100 olamayacağı ve bir güç santralının çalışması sırasında kazandan ısı enerji almasının yanı sıra çevre ortama da ısı enerji aktarması gerektiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.5. Kelvin-Planck ifadesinin şematik görünümü

Örnek olarak termik santralleri ele alalım. Termik santrallerde sistem içerisinde bulunan su, ısı kazanında buhar fazına geçer, türbinde elektrik üretilir ve

yoğuşturucuda soğuyarak sıvı faza geçer. Bu sistemde iki ayrı ısı kaynağı vardır. Bunlardan biri suyun buharlaştığı kazan, diğeri ise buharın sıvı fazına geçtiği yoğuşturucudur. Ayrıca türbin de bir ısı kaynağı olarak değerlendirilebilir. Çünkü buharın sıcaklığı burada bir miktar düşmektedir. Bu sistem Kelvin-Planck ifadesine uygun bir örnektir. Bunun gibi termodinamik çevrimleriyle çalışan sistemler bu ifadeyle çelişemez.



Şekil 3.6. Kelvin Planck ifadesine göre bir termik santral temel çevrimi

3.1.3 Entropi

Kelimenin kökeni Yunancadan gelmektedir. De/da anlamına gelen “En” eki ve yol kelimesinin çoğulu olan “tropos” kelimelerinden türemiştir.

Evrendeki düzensizliğin sürekli artma eğilimindedir ve bilim insanları düzensizliği entropi ile ölçmektedirler. Sistemlerde düzensizlik miktarı arttıkça, entropi paralel bir artış gösterir. Kısacası entropi, süreç içerisinde atom ve moleküllerin enerjilerinin ne kadar yayıldığıнын bir ölçütüdür.

Sisteme dışardan enerji verilmemesi düzeni düzensizliğe, düzensizliği de kaosa dönüştürür. Örneğin kırılmış bir bardak kendiliğinden veya kırarken harcanmış olan enerjiden daha az miktarda enerji kullanılarak eski haline döndürülemez. Benzer şekilde devrilen bir kitap düzeltilirken devirirken harcanan enerjiden daha fazlası bir

enerji kullanmak gerekir. Çünkü potansiyel enerjinin bir kısmı ısıya dönüşmüştür ve bu enerji geri getirilemez.



Şekil 3.7. Entropi

Termodinamiğin ikinci kanununa göre; bir prosesin tersinir olması, o proses oluşurken sistem ve çevresinin başlangıç şartlarının değişmediği yani sistemin çevresiyle hiçbir etkileşime girmediği anlamına gelir. Gerçekte tersinir bir prosesin meydana gelmesi mümkün değildir. Normal koşullarda bütün prosesler tersinmezdir. Tersinmez proseslerin meydana gelmesine sebep olan etkilere (kimyasal reaksiyonlar, sürtünme, sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi vb.) “tersinmezlik” denilir.

İkinci kanuna göre, çevrim içeren herhangi bir işlemde, sistemin entropisi ya aynı kalır ya da artar, izole bir sistemin entropisi azalamaz. Entropi, enerji gibi korunabilen bir kavram değildir. Çevrimsel süreç tersinir hareket ettiğinde entropi değişmez. Eğer sistem tamamen düzenliyse entropisi sıfır olabilir. Süreç geri döndürülemez olduğunda ise, entropi artar. Entropiye örnek olarak; belli bir mesafe koşulduğunda yorulup koşulamayacak duruma gelindiğinde harcanmış ve tekrar geri kazanılamayan enerjiyi gösterebiliriz.

Carnot çevrimi, ikisi sabit sıcaklık koşullarında ikisi adyabatik olmak üzere dört tersinir hal değişiminden oluşan tersinir bir çevrimdir. Carnot’ un ilkelerine göre, aynı ısı enerji depoları arasında çalışan tersinir ısı makinelerinin verim değerleri eşittir ve aynı ısı enerji depoları arasında çalışan ısı makinelerinden en yüksek verime sahip olan tersinir makinedir. Tersinir bir makinenin aldığı ve verdiği ısıyla ısı enerji depolarının sıcaklıkları arasındaki ilişki şu şekildedir;

$$(Q_H/Q_L)_{tr} = T_H/T_L \quad (3.11)$$

Bu nedenle tersinir bir makinede Q_H/Q_L oranı, T_H/T_L oranıyla yer değiştirebilir. T_H ve T_L ısı enerji depolarının mutlak sıcaklıklarıdır. Buna göre Carnot ısı makinesinin ısı verimi;

$$\eta_{th} = 1 - T_L/T_H \quad (3.12)$$

Kontrol hacmi içindeki entropinin birim zamandaki değişimi; kütleyle birim zamanda kontrol hacmine giren toplam entropi, kütleyle birim zamanda kontrol hacminden çıkan toplam entropi, kontrol hacmi yüzeylerinden ısı geçişi sonucu birim zamanda geçen entropi ve kontrol hacmi içinde tersinmezliklerden dolayı birim zamanda üretilen entropinin toplamına eşittir.

Entropi kavramının anlaşılabilmesi için tersinir bir makine ile tersinmez bir makinenin aynı ortamlar arasında çalıştığı bir örnekle incelersek; tersinmez ve tersinir makineler aynı Q_H ısı verildiğinde, tersinmez makinenin tersinir makineye göre yaptığı iş daha az ve dışarı verdiği Q_L ısı daha fazla olduğu sonucu çıkarılır. O halde Q_L , tersinmez $> Q_L$, tersinirdir.

Bir hal değişimi esnasında entropi üretimi hiçbir zaman sıfırdan küçük olamaz. Isı geçişi olmadığı durumda, entropi değişimi sadece tersinmezliklerden kaynaklanır ve bu etki her zaman entropiyi artırma eğilimindedir. Bir hal değişiminde entropi değişimi negatif olması bu hal değişiminin gerçekleşemeyeceği anlamına gelir.

3.1.4 Kullanılabilirlik

Bir sistem üzerinde elde edilebilecek maksimum iş, sistemin belirli bir başlangıç halinden, tersinir bir hal değişimi ile çevrenin bulunduğu hale yani ölü hal koşullarına getirilmesi ile gerçekleşir. Bu değer, sistemin başlangıç halinde, yararlı iş potansiyelini veya iş yapma olasılığını göstermektedir.

Verilen bir hal için sistemin kullanılabilirliği, sistem özelliklerinin yanında, çevre koşullarına da bağlıdır. Bu yüzden kullanılabilirlik kavramı sistem-çevre ikilisine bağlı bir özelliktir.

Gerçek iş (W) ile çevre işi (W çevre) arasındaki fark, gerçek yararlı iş ya da sadece yararlı iş olarak tanımlanır ve Wy ile gösterilir.

$$W_y = W - W_{\text{çevre}} \text{ (kj)} \quad (3.13)$$

Belirli iki hal arasında hal değişimi sırasında bir sistemden elde edilebilecek maksimum yararlı iş tersinir iş olarak tanımlanmaktadır ve Wtr ile gösterilir. Tersinir iş ilk ve son haller arasında hal değişimi gerçekleştiğinde elde edilir. Son hal ölü hal olduğunda ise tersinir iş kullanılabilirliğe eşit olur.

Tersinir iş (Wtr) ve yararlı iş (Wy) arasındaki fark, hal değişimi esnasındaki tersinmezliklerden meydana gelir. Bu fark “I” ile gösterilir ve şu şekilde ifade edilir:

$$I = W_{tr} - W_y \text{ (kj)} \quad (3.14)$$

$$\text{veya} \\ i = w_{tr} - w_y \text{ (kj/kg)} \quad (3.15)$$

Hal değişimi esnasında birim zamanda meydana gelen tersinmezlik, İ ile gösterilir:

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y \text{ (kW)} \quad (3.16)$$

Tümden tersinir bir hal değişiminde gerçek ve tersinir iş aynıdır, bu yüzden tersinmezlik sıfırdır. Çünkü tümden tersinir bir hal değişimi esnasında entropi üretimi meydana gelmez. Bütün gerçek hal değişimleri esnasında tersinmezlik değeri sıfırdan büyüktür ve $W_{tr} > W_y$ olur, iş gerektiren makinelerde ise iş terimi eksidir ve $|W_{tr}| > |W_y|$ olur.

Tersinmezlik iş yapma eğiliminde eksilme gibi düşünülse de, işe dönüştürülebilecek olan fakat dönüştürülemeyen enerjiyi ifade etmektedir.

3.1.5 Enerji Analizi

Enerji analizi, termodinamiğin birinci yasasına dayanır ve sistem üzerinde enerji giriş ve çıkış değerlerinin belirlenmesi amacı ile yapılır. Bu analiz giren enerjinin ne kadarlık bir bölümünün istenen amaçlar doğrultusunda kullanılabilirliği ve ne kadarının atıldığı konusunda rakamsal veriler verir. Enerji analizinde giren 100 birimlik enerjinin hangi amaçlarla kullanıldığı hesaplanarak sistemin verimli çalışıp çalışmadığı hakkında yorum oluşturulabilir. Bu veriler ışığında bir diyagram çizilir

ve bu diyagram üzerinde giren ve çıkan ısı akışı gösterilir. Enerji analiz uygulamalarına bakıldığında enerjinin ne şekilde kullanıldığı ve hangi noktalarda iyileştirmeler yapılabileceği rahatlıkla görülebilir. Bu nedenle iyi bir ölçme ve kontrol sisteminin kullanılması gerekmektedir.

Enerji analizi ile elde edilen sonuçlar Sankey Diyagramı üzerinde gösterilir. Örneğin bir işletmede yer alan kojenerasyon tesisinin Sankey Diyagramı çıkartılarak sistemin analizi gerçekleştirilebilir.

3.1.6 Ekserji Analizi

Ekserji tersinir bir süreç sonucunda çevre ile denge sağlandığı takdirde, elde edilen maksimum iş miktarını ifade eder. Başka bir ifadeyle, enerjinin kullanılabilen kısmıdır. Ekserji iş ya da iş üretebilme yeteneğidir. Buradan yola çıkarak; ekserjinin hesaplanmasında çevre şartlarının bilinmesi gerektiğini söyleyebiliriz. Bir madde tersinir süreçler yoluyla, çevrenin temel elemanlarıyla termodinamik denge durumuna geldiğinde elde edilebilecek iş miktarı o maddenin ekserjisini ifade etmektedir. Sadece çevre ile sistem arasında, ısı değişimi koşuluyla bir maddenin çevredeki yaygın maddelerden tersinir süreçlerle belirli bir durumda üretilebilmesi için gerekli olan mekanik veya elektrik enerji o maddenin ekserjisini verir. Termodinamiğin 1. Yasası enerjinin niceliği ile ilgilidir ve enerjinin yoktan var veya vardan yok edilemeyeceğini öne sürer. Bu yasa, hal değişimi esnasında enerjinin hesabını tutabilmek adına gerekli bir araç görevi görmektedir ve uygulama aşamasında mühendis için oldukça kolay bir uygulamadır. İkinci yasa, enerjinin niteliğiyle ilgilidir. Ekserji analiziyle sistemin verilen enerjiye göre ne kadar verimli olduğunun yanı sıra, sistemden elde edilebilecek maksimum iş görülür. Yani, bir hal değişimi sırasında enerjinin niteliğinin azalması, entropi üretimi ve iş yapma yeteneğinin değerlendirilememesi ile ilgilidir ve sistemleri geliştirmek için oldukça önemlidir.

Termodinamiğin ikinci yasasına bağlı olarak ekserji analiz sonuçlarını gösteren diyagram "Grossmann Diyagramı" dır. Grossmann Diyagramları sayesinde ekserji analiz sonuçlarının görülebilmesinin yanı sıra, sistemden elde edilebilecek işle alınabilecek maksimum işin kıyaslaması yapılabilmektedir.

3.2 Binalarda Mekanik Tesisatlar

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte inşaat sektörü köklü bir değişime uğramış ve geçmişte müstakil mekanlar revaçta iken şimdilerde bu yapılar yerini çok katlı büyük yapılara bırakmıştır. Bu hareketlilikle birlikte geçmişte lüks olarak görünen birçok şey günümüzde artık birer ihtiyaç halini almıştır. Buna verebileceğimiz en güzel örneklerden biri mekanik tesisat sistemleridir. Mekanik tesisat sistemleri; yapı, inşaat, endüstriyel tesislerde yaşam standartları ve konforu arttırmaya yönelik yapılan ve yapının iç sistemini oluşturan bileşenlerin tümünü kapsamaktadır. Doğal olarak tüm sistem bileşenlerinin birbiriyle uyumlu olarak ve birbirini destekler şekilde çalışıp, toplam kaliteyi standartlarını oluşturması gerekmektedir. Mekanik tesisat projeleri; yapıların mekanik ve her türlü ısı donanımıyla ilgili plan, proje, resim, hesap ve ihale dosyasının hazırlanması ve bunların uygulanmasıyla ilgili olarak her türlü teknik denetim ve kontrollük hizmetlerinin kanun ve yönetmeliklere, tekniğin ve mesleğin genel ilke ve çıkarlarına uygun şekilde uyum ve birlik içinde yapılmasıdır. Yapıların ve endüstriyel tesislerin mekanik altyapılarını oluşturan bu projelerde, binanın su, atık su, ısıtma, soğutma, havalandırma, yangın önleme sistemlerinin nasıl olacağı, bunlara ait cihaz türleri ve güçleri ile, binanın temiz su ve kanalizasyon hatlarının nerelerden geçebileceği ve boru çapları belirlenir. Mekanik tesisatların projelendirmesi, müşavirliği veya kontrol işlemlerinde ürünlerin ve binanın kullanım ömrü boyunca hizmet alınabilmesi adına aşağıdaki gibi bazı kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

- Konfor şartları
- Fonksiyonellik sağlama
- Güvenilirlik
- Kullanım Ömrü ve Sağlık
- Teknolojik açıdan uygunluk
- İlk yatırımda düşük maliyetler sağlamak
- Uygulamada kolaylık
- Bakım, onarım kolaylığı
- Kullanımda kolaylık
- Gelişime açıklık

- Enerji ve su tasarrufu sağlamak
- Çevreye karşı hassasiyet
- Satış sonrasında montaj, servis desteğinin etkin olması
- Marka ve ürünün sürdürülebilir olması

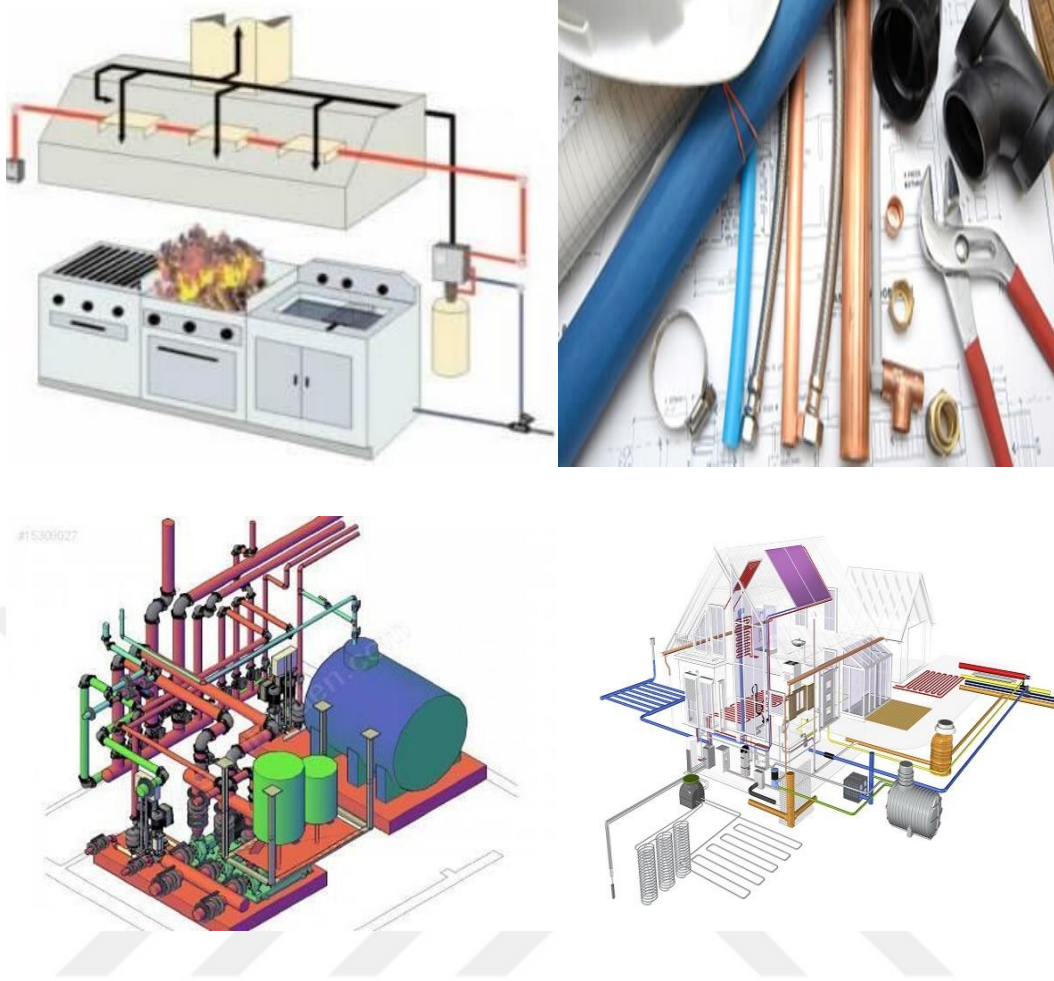


Şekil 3.8. Bina mekanik tesisatı

Konfor ilkesine dayanan tesisatçılık mesleği, geçmişten bugüne insan hayatını kolaylaştıracak şekilde gelişmiştir. Mekanik tesisat inşaattaki tüm işler arasında en önemli işlerden biridir. Herhangi bir binada hangi tesisatın yapılacağı binaya göre farklılık gösterse de mekanik tesisatın yapıları modernleştirme ve temel ihtiyaçlarına kavuşturma fonksiyonları mevcuttur. Örneğin bazı binalarda otomasyon yapılmazken, bazı modern binalar tamamen akıllı olarak tasarlanır ve otomasyon tesisatı gerektirir. Her tesisat çeşidi bir amaç doğrultusunda özelleşmiştir. Konfor ve ekonomi açısından gelişmeye devam eden bina mekanik tesisatları, günümüz teknolojisinde genellikle dört temel sistem üzerine oturtulmaktadır. Bu sistemler;

- Sıhhi Tesisat Sistemleri
- Isıtma – Soğutma Tesisat Sistemleri
- Havalandırma Tesisat Sistemleri
- Yangın Söndürme Tesisatı Sistemleri

Bu sistemlerin haricinde bina özelliklerine göre değişen hastanelerdeki medikal sistemler gibi tesisat sistemleri de vardır.



Şekil 3.9. Binalarda mekanik tesisat çeşitleri

Yapılan bu çalışmada inceleme yapılan bina restore edilen eski bir otel binasıdır. Otel gibi umuma açık bir yerde, istenilen konfor şartlarının sağlanması ve bu konfor şartları sağlanırken enerjinin doğru kullanılması önem arz etmektedir. Bu nedenle bu tarz bir mekanda uygulanacak mekanik tesisat sistemleri dikkatli bir şekilde tasarlanmalıdır.

3.2.1 Sıhhi Tesisat Sistemleri

Su insanlık için en temel ihtiyaçlardan biridir. Dolayısıyla sıhhi tesisat sistemleri de en önemli mekanik tesisat işlemlerinden bir tanesidir. Bu nedenle sıhhi tesisat mimari aşamadan uygulamaya tüm süreçlerde dikkate alınması gereken konulardan biridir.

Sıhhi tesisat denilince suyun iletimi, dağıtımı ve atık suyun bertaraf edilmesi akla gelir. Genel hatlarıyla sıhhi tesisat şebeke suyunun binaya ulaşmasının ardından bina içindeki yerlere dağıtılması ve kullanılmış olan atık suyun kanalizasyon hattına gönderilmesi olarak düşünülmektedir.

Enerji ve ekserji analizlerinin yapıldığı otel binasında bina içerisindeki tuvalet, duş, mutfak gibi mahallerin sıcak ve soğuk su ihtiyacı şebeke suyundan karşılanmaktadır. Şebekeden gelen su sistem üzerinde depoda toplanmaktadır. Su sayacından sonra soğuk su hattı önce su deposuna ardından hidrofora bağlanmıştır. Herhangi bir su kesintisi olmaması durumunda depodaki su hidrofor tarafından emilerek direk mahallere gitmektedir. Su kesintisi olması durumunda ise depodaki su devreye girmekte ve oteldeki olası bir su sıkıntısının çözülmesini sağlamaktadır. Sistemde sıcak su ihtiyacı ise ısıtma eşanjöründen geçen ısıtılmış şebeke suyu ile karşılanır.

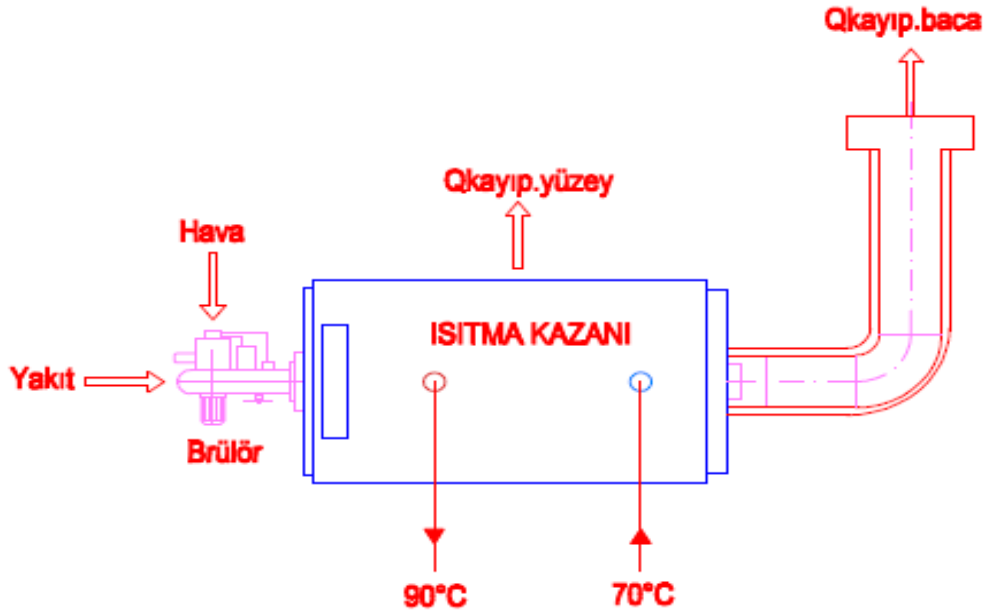
3.2.2 Isıtma ve Soğutma Tesisat Sistemleri

Bir binanın ısıtma ve/veya soğutma ihtiyacını karşılayabilmek için gerekli enerjinin oluşturulduğu ve bu enerjinin mekana akışkanlar aracılığıyla taşındığı tesisat sistemleridir. İnsanlık için ısınma büyük önem taşımaktadır ve bu nedenle insanlar yıllarca gelişen teknolojilerle birlikte ısıtma tesisat sistemlerini ileri boyutlara taşıma çabası içerisinde olmuşlardır. Günümüzde ısıtma üniteleri her bir odada ısı aktarabilecek duruma gelmiştir.

Isıtma sistemleri, yapının istenen sıcaklık seviyesinde tutulması için iç ortamdan çevreye olan ısı kaybının karşılanması prensibiyle çalışan sistemlerdir. Yani bu sistemlerdeki temel amaç bina içindeki sıcaklığın istenilen aralıkta tutulabilmesidir.

Binalarda genellikle ısıtma tesisatı olarak ısıtma sirkülasyon pompaları, kazan, radyatör, gidiş-dönüş boru hatları, fan coil üniteleri, kollektörler ve bu hatlar üzerinde kullanılan vana ve armatürler yer alır. Suyun dolaşımı eski sistemlerde doğal yolla (yer çekimi gücüyle), günümüz sistemlerinde ise daha ekonomik ve konforlu olması nedeniyle sirkülasyon pompalarıyla sağlanır.

Şekil 3.10' da ısıtma kazanı çalışma mantığı şematik olarak görülmektedir. Kazanın brülör bölümünde yanma sonucu reaksiyona giren yakıt hava karışımıyla elde edilen ısı enerjisi binaya sıcak su olarak gönderilmektedir. Mahallerde ısı transferi ile enerjisi azalma olan su ısıtma kazanına tekrar geri döner. Yanma sonucu açığa çıkan ürünler, baca gazı olarak atmosfere salınır.



Şekil 3.10. Isıtma kazanı şematik gösterimi

Basit bir ısıtma sistemi ele alınacak olursa; genel olarak ısıtma kazanları, kombi gibi ısıtıcı kısımda kapalı devre olarak ısıtılan akışkan, belli bir sıcaklığa ulaştığında pompalar yardımıyla sirküle edilip taşıyıcı ekipmanlarla (boru, fittings, pompa vb.) ısıtılacak mahale gönderilir. Gönderilen sıcak akışkanın enerjisi mahalde bulunan ısı aktarıcı yardımıyla (radyatör, fan-coil vb.) mahale aktarılır. Mahale ısı aktarımı yapan akışkan dönüş hatlarında taşıyıcı ekipmanlar ile tekrar ısıtıcı üniteye geri döner ve gerekli ısı şartları sağlanıncaya kadar bu döngü devam eder. Suyun ısınması sırasında artan hacim, genişleme kabında toplanır. Modern sistemlerde ise dış hava sıcaklığına bağlı çalışan elektronik panelli sistemler tercih edilebilmektedir.

Soğutma sistemindeki yapı benzer şekildedir. Ancak ısıtma sisteminde kullanılan ısıtıcılar soğutma tesisatında kendini soğutma gruplarına (chiller vb.) bırakırlar.

3.2.3 Havalandırma Tesisat Sistemleri

Kapalı mekânlarda çok sayıda insanın bulunuşu ortam ısısını, karbondioksit miktarını ve nemini arttırmaktadır. Teoride, ortamda mikroorganizma oluşumunun ve transferinin önüne geçilemez. Bununla birlikte, ortama filtrelenmiş düşük tanecik derişimine sahip taze havanın verilmesi ve ortamdaki kirli havanın alınması ile tanecik sayısı istenilen düzeyde tutulabilir. Bunu gerçekleştirebilmenin en iyi yolu, şartlara uygun olarak tasarlanmış bir havalandırma sisteminin kullanılmasıdır. İnsanların ikamet ettiği, dolaştığı, zaman geçirdiği yerlerde havanın kirlilik bakımından zenginleşmesini önlemek, iç ortamda insan sağlığına uygun ve konforlu bir ortam koşulu sağlayabilmek için havalandırma sistemi ile beraber iklimlendirme sistemi yıllar geçtikçe önem kazanmaktadır.

Havalandırma sistemleri genel olarak klima santralleri, aspiratör cihazları, havalandırma ve egzoz fanları, menfezler, difüzör, vantilatörler ve anemostadlardan oluşmaktadır.

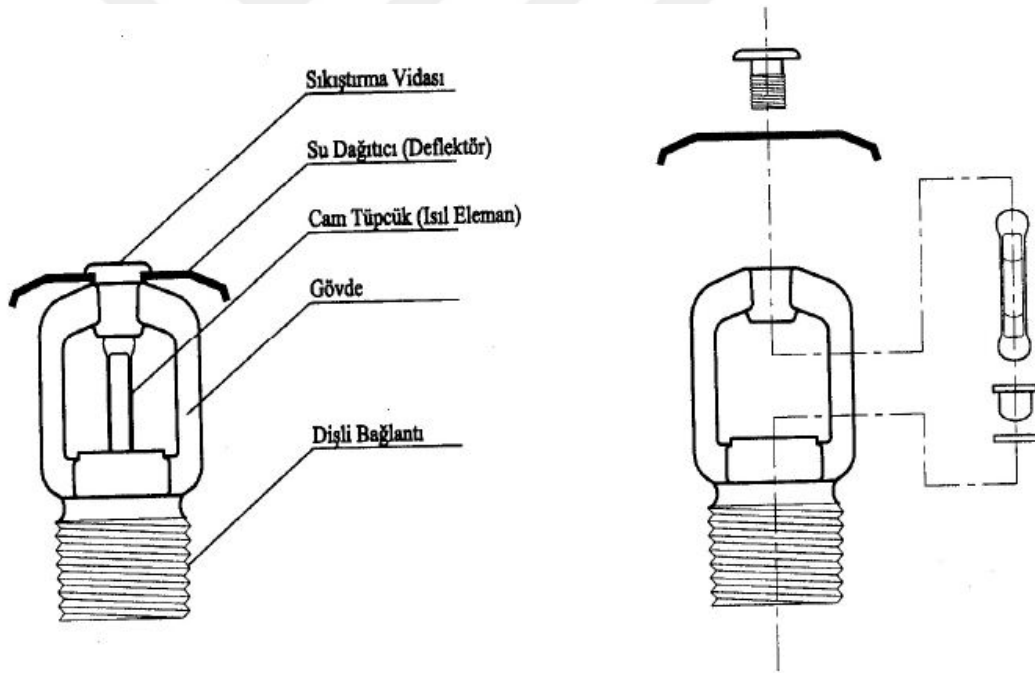
Vantilatörler yardımıyla dışarıdan alınan temiz hava klima santrallerinde filtrelenerek zararlı maddelerden arındırılmaktadır. Klima santrallerine ısıtma ya da soğutma sisteminden gelen sıcak ya da soğuk su klima santrallerinde bulunan bataryalar sayesinde havaya sıcaklığı aktarmaktadır. İstenilen sıcaklık ve nem değerlerine getirilen taze hava fan ve motor yardımıyla iç ortama dağıtılmaktadır. Mahale gönderilen temiz hava zamanla kirleneceğinden bu havayı dışarı atmak için emiş aspiratör cihazı kullanılmaktadır. Bu sayede mahalde oluşan zararlı gazlarla, kokularla, tozlarla kirlenmiş ve ısınmış kirli hava vakumlanarak emilen temiz havaya eşdeğer hacimde dışarı atılmaktadır.

Havalandırma sistemleri optimum sıcaklık, nem ve insanların sağlığını koruyacak şekilde bir hava akımı sağlamalıdır. Binalarda havalandırma sistemi tasarlanırken havalandırma kanal ölçülerinin, fan büyüklüklerinin ve kanallardaki hava akım hızlarının doğru şekilde hesaplanması büyük önem taşımaktadır. Gürültüyü azaltıcı düzenekler, ısıtma-soğutma düzenekleri ve hava partikül tutucu filtreleri havalandırma sistemlerinin önemli bileşenlerindedir.

3.2.4 Yangın Tesisat Sistemleri

Yangın tesisatının temel görevleri küçük yangınları söndürebilmek, itfaiye gelinceye kadar yangına müdahale edebilmek ve itfaiye mahale ulaştığında da ekibe yardımcı olabilecek koşulları sağlayabilmektir. Bu sistem sprinkler, hidrantlar, yangın dolapları gibi donanımlardan oluşur.

Binaların büyük çoğunluğunda yaygın olarak sprink sistemleri kullanılmaktadır. Yangın çıkması durumunda sprink sistemleri devreye girer ve alev üzerine su serper. Bu şekilde söndürme işlemi gerçekleştirilir ve yayılması engellenir. Sprinkler içerisinde ısıya duyarlı cıva bulunmaktadır. Cam tüp içerisinde bulunan cıva çevreden alınan ısı ile genişler. Genleşmenin etkisiyle cam tüp kırılır. Tüpün kırılması su yolunun açılmasını sağlar ve yangın üzerine gönderilen yoğun orandaki su damlacıkları ortama dağılarak yangının söndürülmesine olanak sağlar.



Şekil 3.11. Sprink detayı

3.3 Klima Santralleri

Klima santralleri ısıtma, soğutma ve havalandırma ihtiyaçlarının karşılanması için tasarlanan iklimlendirme sistemlerinin ana elemanlarıdır. Binalarda konfor

şartlarının sağlanması, toz ve kötü kokuların mümkün olduğunca düşük seviyede tutulabilmesi için tüm genel ve özel kullanım alanlarında uygun klima tesisatının uygulanması gerekmektedir. Tercih edilen klima santrallerinin sürdürülebilir konforu ve yüksek enerji verimliliğini aynı anda sunması, güvenli olması, kapasitesinin proje şartlarına uygun olması ve düşük ses seviyesine sahip olması oldukça önemlidir.

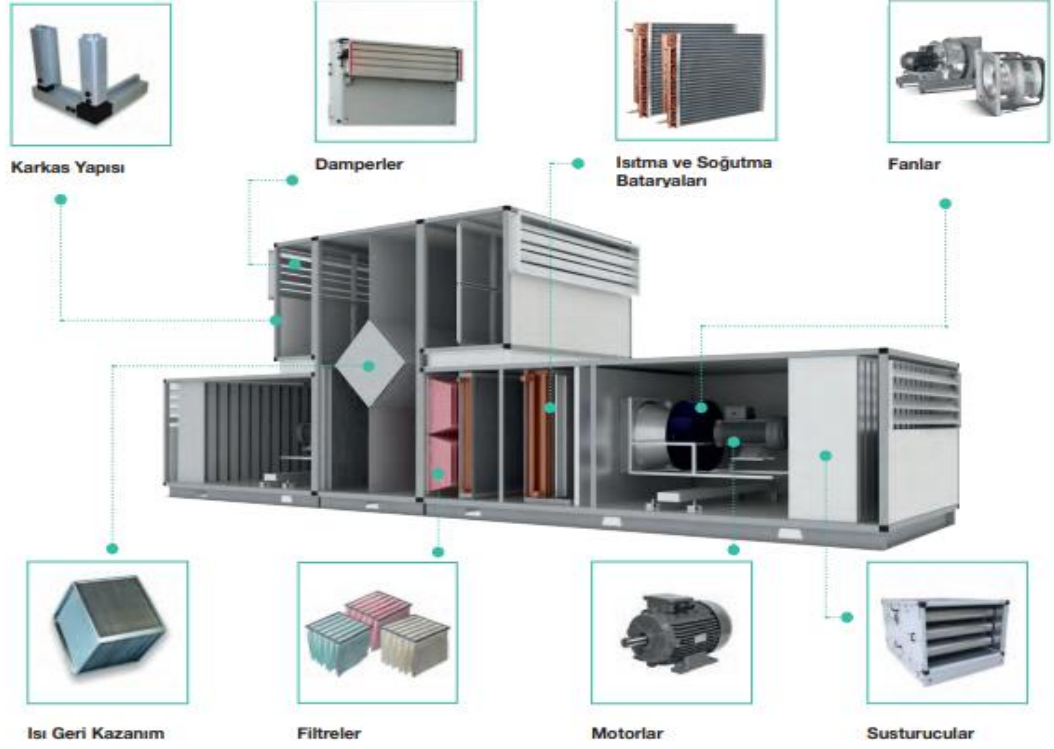
Klima santralleri genel olarak mahallere taze hava verilmesini, bu mahallerin sıcaklık ve nem oranlarının ayarlanmasını, havanın içerisindeki toz ve parçacıklardan arındırılmasını sağlamaktadır ve bu görevleri yerine getirebilmek için klima santrallerinde çeşitli elemanlar kullanılmaktadır. şekil 3.12' de otelde kullanılan klima santralleri gösterilmiştir.



şekil 3.102. Otelde kullanılan klima santralleri

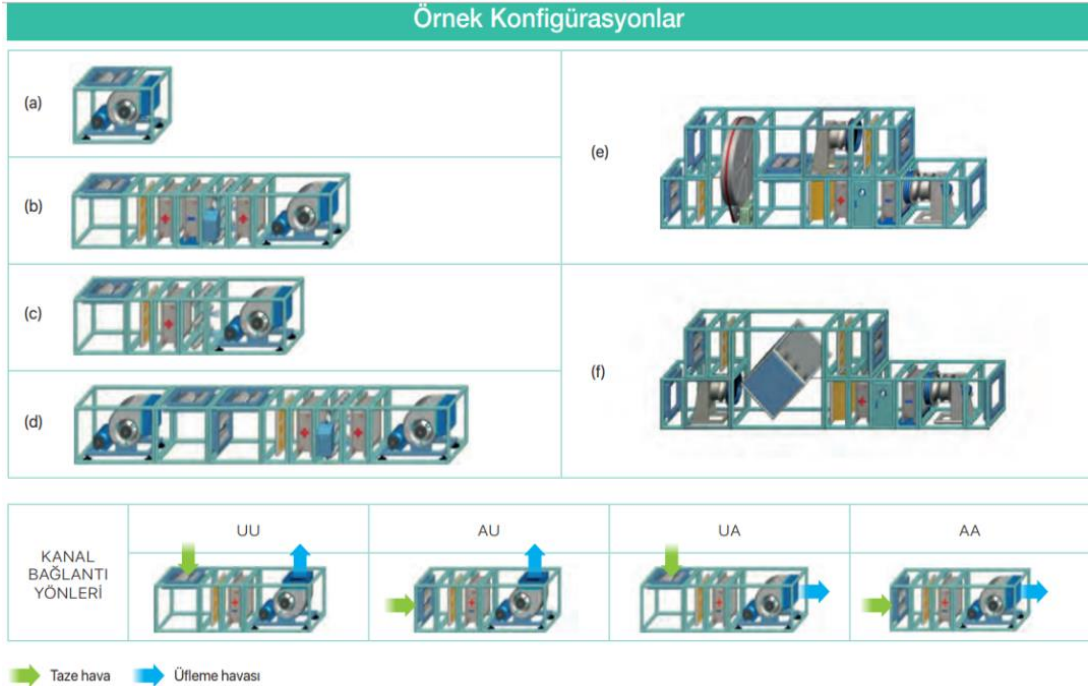
Klima santralleri genel olarak karışım odası, ısıtma, nemlendirme, soğutma ve nem alma ve son ısıtma ünitelerinden oluşur. Karışım odaları, iklimlendirilen ortamların taze hava ihtiyaçlarının karşılanmasında ekonomik açıdan önem taşımaktadır. Kış mevsiminde özgül nem ve sıcaklık değerleri düşük seviyede olan havanın ısıtılması ve aynı zamanda nemlendirilmesi, yaz mevsiminde ise özgül nem ve sıcaklık değerleri yüksek seviyede olan havanın soğutulup neminin uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu sebeple yaz sezonunda sadece soğutma ünitesi devrede iken kış sezonunda ön ısıtma, nemlendirme ve son ısıtma üniteleri çalıştırılmaktadır. Ön ısıtma işlemi, nemlendirme işlemine destek olmak için gerçekleştirilir. Bunun nedeni sıcaklığı yükselen havanın nem alabilme kapasitesinin artmasıdır. Son ısıtma işlemi ise mekana gönderilecek havanın istenilen sıcaklık şartına getirilebilmesi amacı ile uygulanır. Yaz sezonunda devreye alınan soğutma ünitesi, özgül nemi yüksek olan havanın neminin alınması işleminde de etkili olmaktadır.

Klima santralleri içerisinde genel olarak dış havadaki toz ve partikülleri tutması amacıyla kullanım amaçlarına göre değişik filtreler, ısıtma ve soğutma yükünü hava akışına aktarması amacıyla serpantinler, enerji ekonomisi açısından kullanılan ve dış ortam verilerine göre seçime bağlı ısı geri kazanım ünitesi, havanın bağıl nemini ayarlamak için gerekli ise nemlendirici ünitesi, hava akışını dışarıdan alıp ortama basmak amacıyla kullanılan fan ve motor aksamı, ses ve gürültüyü önlemek amacıyla susturucu ünitesi, herhangi bir toz ve partikülü tutmaması amacıyla paslanmaz yapıda ve keskin dönüşleri olmayan bir iskelet sistemi, kapatıldığında herhangi istenmeyen toz ve partiküllerin santrale girmesini ve hava akımını önlemesi için damper (taze hava ve egzoz veya karışım) motoru bulunur. Tercih edilecek klima santralinde kullanım amacına göre bu üniteler dışında farklı üniteler de bulunabilir.

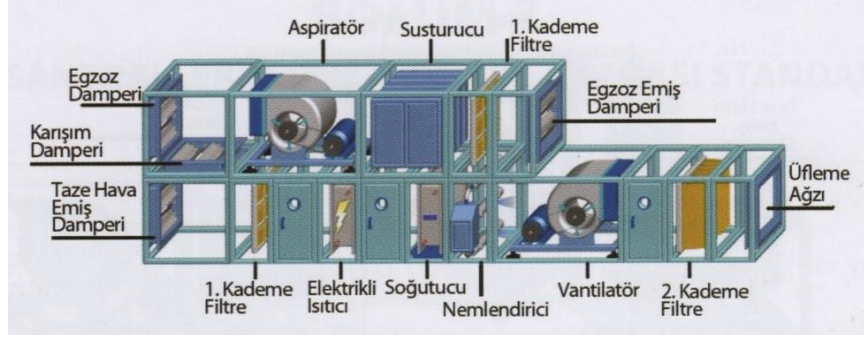


Şekil 3.113. Klima santrali üniteleri

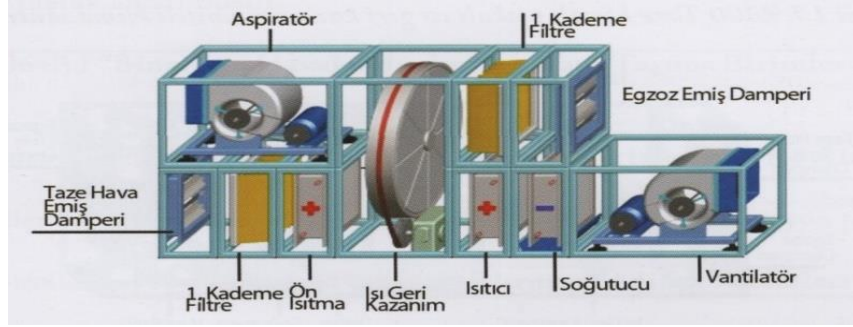
Kullanım amaçlarına göre karışım havalı, ısı geri kazanımlı, taze havalı ve hijyenik klima santralleri mevcuttur.



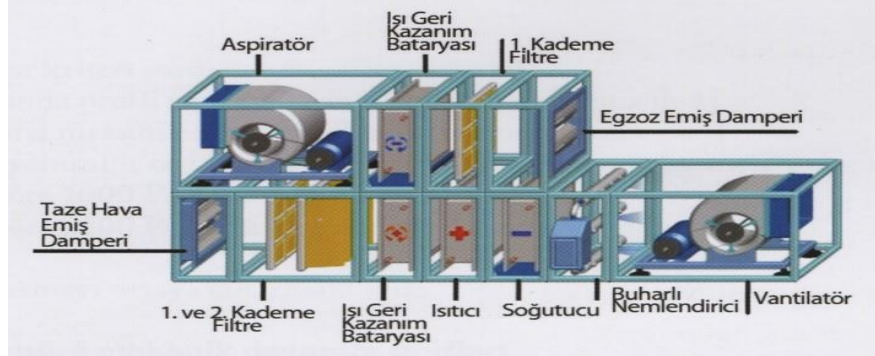
Şekil 3.124. Klima santrali konfigürasyon örnekleri



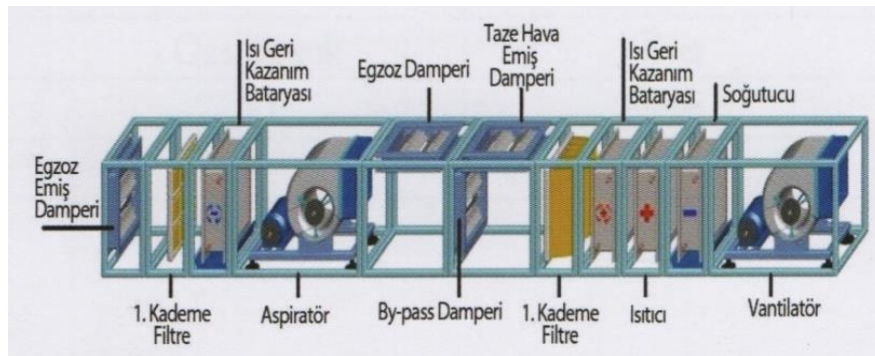
Şekil 3.135. Çift katlı karışım havalı klima santrali



Şekil 3.146. %100 Taze havalı rotorlu ısı geri kazanım üniteli klima santrali



Şekil 3.157. Çift katlı %100 taze havalı run-around ısı geri kazanım bataryalı klima santrali

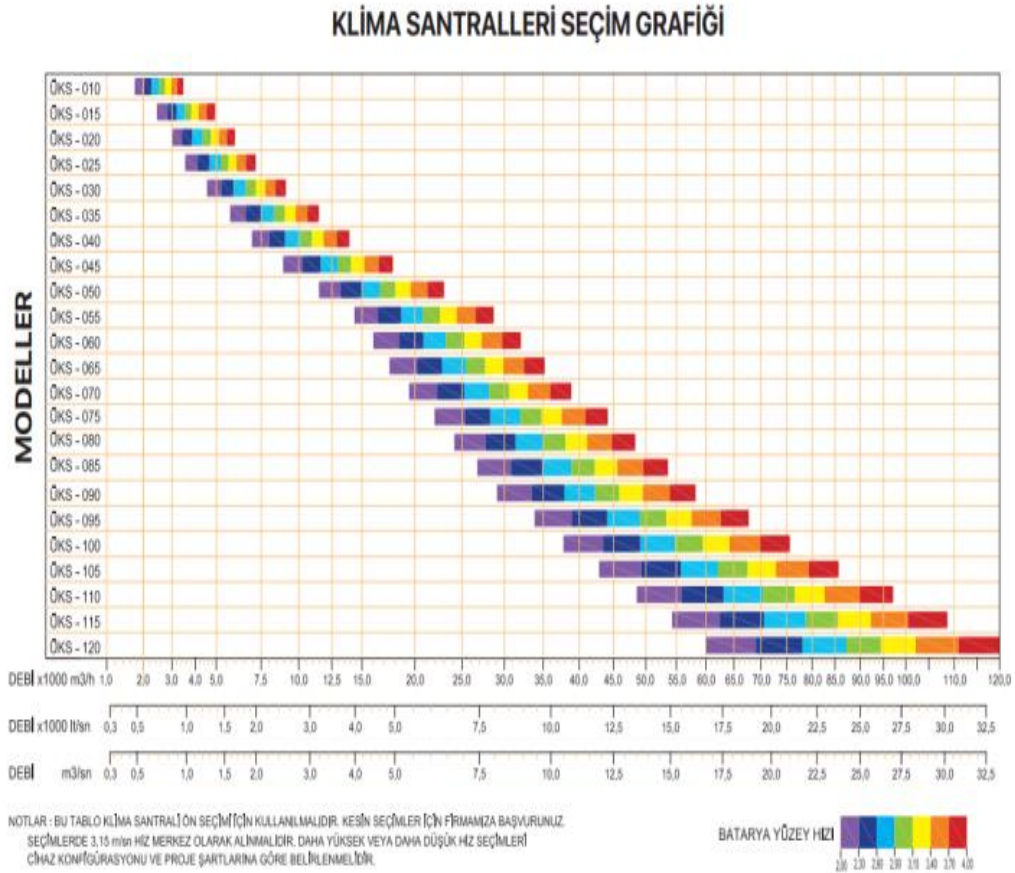


Şekil 3.168. Tek katlı karışım havalı run-around ısı geri kazanım bataryalı klima santrali

Santral hücre iskeleti çelik veya alüminyum profillerden imal edilmektedir. Bu profiller santral köşelerinde sert plastik profiller veya döküm alüminyum köşe parçaları ile birbirine bağlanmaktadır. Vantilatör ve aspiratör hücrelerinde standart olarak aydınlatma ve gözetleme camı bulunmaktadır.

Klima santrali, fancoil sisteminde olduğu gibi su devresinden elde ettiği ısı kazancını, hava yoluyla mahalın ısıtılıp soğutulmasında kullanmaktadır. Santraller üzerinde ısıtma ve soğutma bataryaları bulunmaktadır. Bu bataryaların bağlı olduğu ısıtma ve soğutma serpantinleri mevcuttur. Santrale alınan taze hava serpantinlerden geçen suyun sıcaklığından yararlanılarak şartlandırılır. Şartlandırılan hava üfleme kanallarıyla ısıtılacak ya da soğutulacak mahale gönderilir.

Şekil 3.19’ da otelde kullanılan Üntes firmasına ait klima santrali seçim grafiği gösterilmiştir. Sistemde hesaplanan debiye göre bu tablodan uygun model seçilebilmektedir.

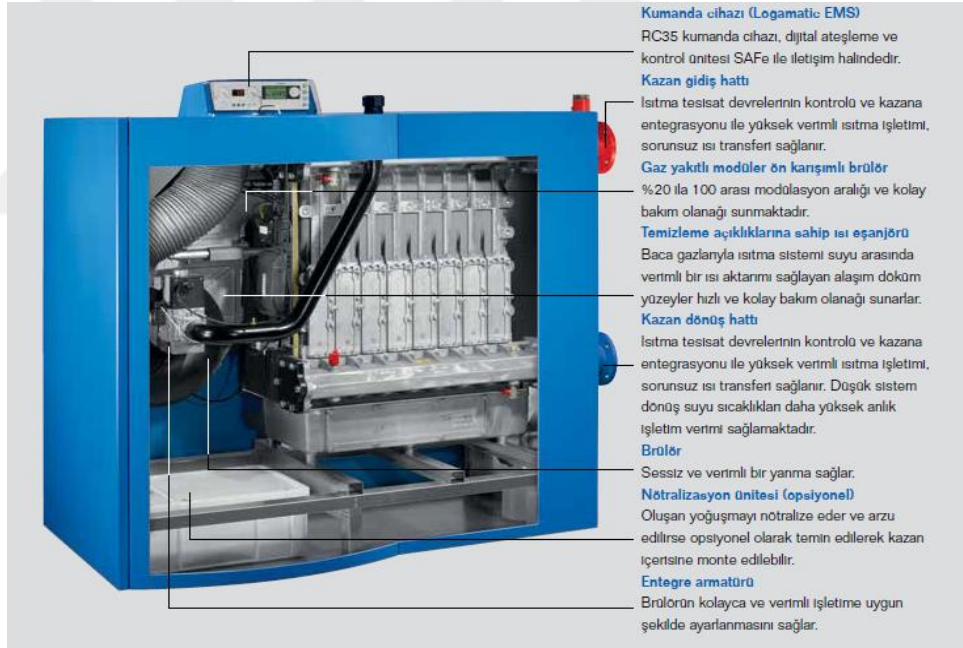


Şekil 3.179. Otelde kullanılan santrallere ait seçim grafiği

4. MATERYAL VE YÖNTEM

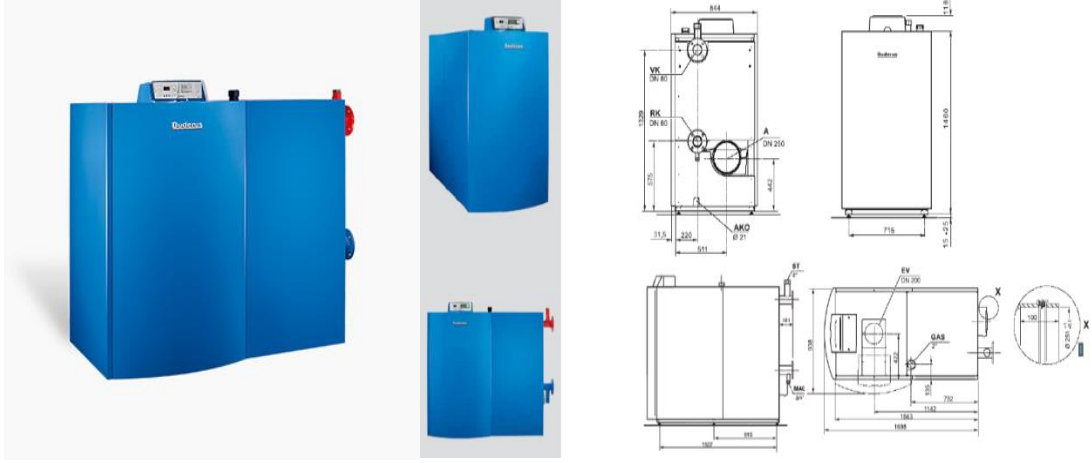
4.1 Uygulama Yapılan Otelde Isıtma Tesisatı

Otel binası ısıtma tesisatı incelendiğinde, sistemde 5 adet yer tipi gaz yakıtlı yoğuşmalı kazan kullanılmıştır. Kazanlarda yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Doğalgaz büyük oranda Metan (CH_4),daha düşük oranlarda Etan (C_2H_6), Propan (C_3H_8), Bütan (C_4H_{10}), Azot (N_2), Karbondioksit (CO_2), Hidrojensülfür (H_2S) ve Helyum (He) gibi çeşitli hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Bu bileşenlerin oranı kullanılan gazın kaynağına göre farklılıklar göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 4.1 ve 4.2’ de kullanılan kazanların iç aksamaları görülmektedir.



Şekil 4.1. Otelde kullanılan kazanın detaylı resmi

Sistemde kazana giren su 70/90 °C çevrimine göre çalışmaktadır. Yani kazana 70°C de giren su 90°C de denge tankına ve oradan da ana ısıtma kolektörüne gitmektedir. Ana ısıtma kolektörünün üstünde balans vanası, çekvalf gibi pompa ve bağlantı ekipmanları mevcuttur. Otel binası ısıtma sisteminde 3 adet ana hat bulunmaktadır.



Şekil 4.2. Otelde kullanılan kazanların şematik resmi

- Fan Coil Hattı
- Klima Santrali Hattı
- Boyler Hattı

Şekil 4.3' te ana ısıtma basma kollektörünün resmi verilmiştir. Kollektördeki pompalar yardımıyla ısıtılan su fan-coil hattına, klima santrallerine ve boylerlere basılmaktadır. Mahallerde dolaşan sıcak su Şekil 4.4' teki ana ısıtma dönüş kollektörüne gelmekte ve oradan tekrar kazana giriş yaparak çevrimini devam ettirmektedir.

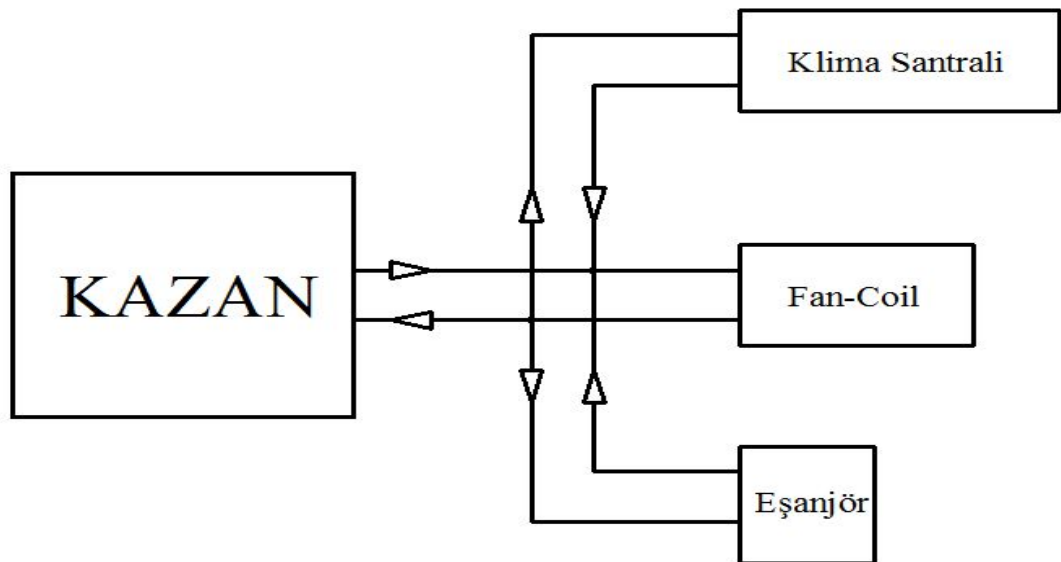


Şekil 4.3. Otel ana ısıtma kollektörü



Şekil 4.4. Otel ana ısıtma dönüş kollektörü

Otele ait ısıtma sisteminde klima santralleri, kazanlar, fan-coil üniteleri ve eşanjör bulunmaktadır. Sistemde kazandan elde edilen enerji klima santralleri, fan coiller ve eşanjöre iletilmektedir. Isıtma sisteminde üretilen sıcak su, boylerler yardımıyla kullanım suyu, fan-coiller yardımıyla mahal ısıtma, klima santralleri yardımıyla ise hijyenik alan ve mahal ısıtılmasında kullanılmıştır. Şekil 4.5' te ısıtma sistemine ait akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Otele ait ısıtma sisteminin akış diyagramı

Mahal ısıtmada kullanılan fan coiller üzerinde bulunan serpantinler ısıtıcı veya soğutucu üniteden gelen akışkan aracılığıyla ısıtılıp veya soğutulurken, fan

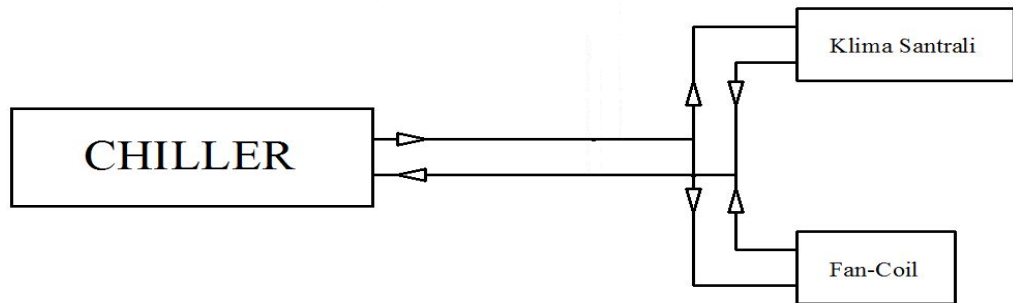
yardımla üzerinden geçen havanın istenilen konfor koşullarına göre şartlanarak, mahale üflenir ve bu şekilde ortamda ısıtma ve soğutma işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 4.6. Otelde kullanılan tavan tipi ve yer tipi fan coil örnekleri

4.2 Uygulama Yapılan Otelde Soğutma Tesisatı

Otelin kullanım alanlarını istenilen konfor şartlarında tutabilmek için kullanılan soğutma sistemi 3 temel ekipmandan meydana gelmektedir. Bu ekipmanlar sırasıyla chiller, klima santralleri ve fan coil üniteleridir. Şekil 4.7’ de otelin soğutma sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



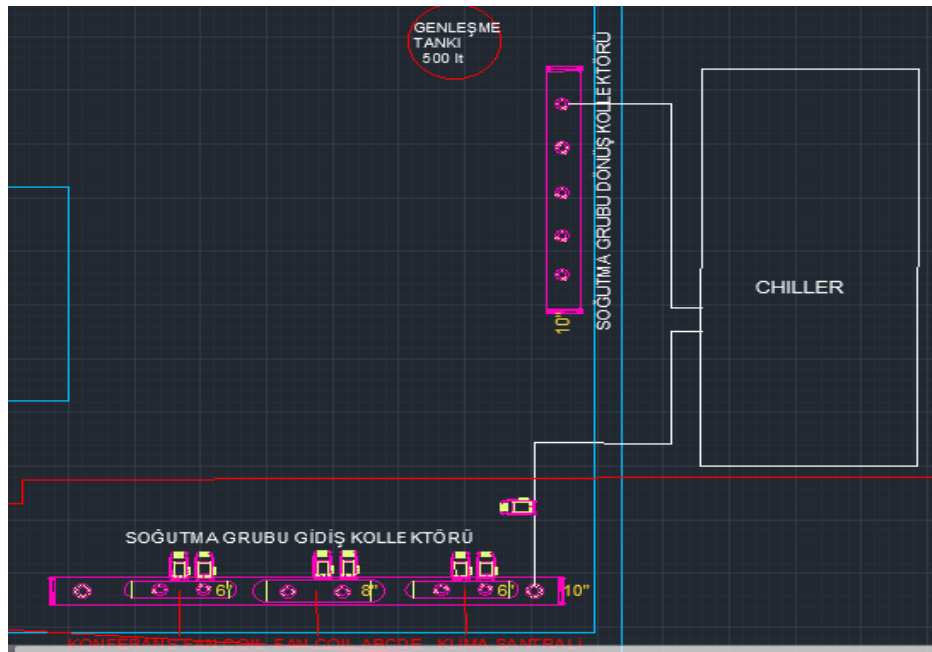
Şekil 4.7. Soğutma sistemi akış diyagramı

Uygulama yapılan otel binasında soğutma tesisatı incelendiğinde, sistemde 1 adet chiller soğutma grubu kullanılmaktadır. Chiller soğutma grubuna su deposundan pompa yardımıyla gönderilen su chiller sonrası yine bir pompa yardımıyla ana soğutma kolektörüne gitmektedir. Otel soğutma sisteminde 2 adet ana hat bulunmaktadır.

- Klima Santrali Hattı
- Fan Coil Hattı

Chillerden gelen soğumuş su fan coil ve klima santrallerinin soğutma bataryalarına girerek soğutulacak ortamdan ısıyı çeker ve tekrar chillere geri döner. Chillere suyun giriş sıcaklığı 12 °C, çıkış sıcaklığı ise 5 °C' dir. Su klima santrali ve fan-coil hatlarına 5 °C' de girip 12 °C' de çıkmaktadır.

Şekil 4.5' te otel binasında kullanılan soğutma grubunun yerleşim proje resmi bulunmaktadır. Chillere soğuyan su önce ana soğutma kolektörüne gelmektedir. Soğuyan su kolektördeki pompalar yardımıyla klima santrallerine ve fan-coil hattına basılmaktadır. Mahallerde dolaşan su soğuk su dönüş kolektörüne gelip oradan tekrar chillere basılarak çevrimini devam ettirmektedir.



Şekil 4.8. Otelde kullanılan soğutma grubunun yerleşim planı

4.3 Uygulama Yapılan Otelde Havalandırma Tesisatı

Uygulama yapılan otel binasında 2 adet klima santrali bulunmaktadır. Bu klima santralleri çatı katı tavan arasında ses izolasyonlu zemin üzerine yerleştirilmiştir. Bu binada 4 adet hücreli aspiratör ve 11 adet çatı tipi emiş aspiratörü bulunmaktadır. Mutfak havalandırmasında kullanılan davlumbazların emişi için çatı katında davlumbaz aspiratörleri kullanılmıştır. Hücreli aspiratörlerin ikisi çatı katı tavan arasına, diğer ikisi çatı üstünde kaideler üzerine yerleştirilmiştir. Klima santrallerinde sulu batarya sistemi bulunmaktadır.

Analizini yaptığımız klima santrali 11490 m³/saat debi kapasitesine sahiptir ve otelde konferans salonu, restoran, koridor havalandırmasına hitap etmektedir. Klima santralinde bulunan bataryaların ısıtma kapasitesi 63640 kcal/h, soğutma kapasitesi ise 68800 kcal/h' dir. Klima santrali 5/12 °C soğutma suyu çevrimine, 70/90 °C ısıtma suyu çevrimine göre çalışmaktadır.



Şekil 4.9. Örnek bir mahalde havalandırma kanalı menfez bağlantısı

Fan-coil üniteleri genellikle havalandırma kanalları kullanılarak çalıştırılır. Bu cihazlar iklimlendirme işleminin yapılacağı mahalde menfezlerin homojen bir şekilde dağıtılması ve bu menfezlere hava kanallarının uygun bir şekilde çekilmesi ile çalıştırılır. Menfez bağlantı noktalarında çoğunlukla esnek hava kanalları (flex) kullanılır. Otel havalandırma tesisatında kullanılan hava kanallarında galvaniz sac kullanılmıştır.

Klima santrali ve fan coil ünitelerinde görüldüğü gibi ısıtma işlemi için kazandan, soğutma işlemi için chillerden gelen akışkanlar, bu cihazlardan geçecek havayı şartlandırır ve istenilen sıcaklıkta mahale gitmesini sağlar. Bu işlem esnasında klima santrallerine alınan taze hava, mahale gönderilen şartlanmış hava, mahalden çekilen emiş havası ve cihazdan atılan egzost havası havalandırma kanalları ile taşınıp, mahale gönderme ve mahalden çekme işlemleri menfezlerle yapılır.



5. ISITMA VE SOĞUTMA TESİSATI SİSTEMLERİNDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

5.1 Isıtma ve Soğutma Tesisatı Sistemlerinde Enerji Analizi

Kapalı bir sistemde toplam enerji değişimi çevreyle yapılan ısı veya iş etkileşimi sonucunda oluşur. Bu nedenle kapalı bir sistemde hal değişimi sırasında meydana gelen toplam enerji değişimi, sistem sınırlarında oluşan net ısı ve iş geçiş miktarına eşittir.

$$Q - W = \Delta E \quad (5.1)$$

Bununla birlikte açık sisteme veya kontrol hacmine ait enerji ısı ve iş geçişine ek olarak kütle giriş ve çıkışı ile de değişim gösterebilir. Kontrol hacmi içerisine kütle girişi olduğunda, sistemin enerjisi artar. Bunun sebebi giren kütlelerin taşıdığı bir enerjisinin olmasıdır. Benzer şekilde kontrol hacmi içerisinden bir kütle çıkışı olduğunda, sistemin enerjisi azalır. Bunun sebebi çıkan kütlelerin bir miktar enerjini kendisiyle birlikte dışarı taşımasıdır.

$$\Delta E = Q - E + \Sigma E_g - \Sigma E_c \quad (5.2)$$

$Q - E$: Sınırlardan iş ve ısı olarak geçen toplam enerji.

ΣE_g : Kontrol hacmi içerisine giren kütleyle ait toplam enerji.

ΣE_c : Kontrol hacmi içerisinden çıkan kütleyle ait toplam enerji.

ΔE : Kontrol hacminde oluşan toplam enerji değişimi.

Eşitlik 5.2 ısıtma ve soğutma sistemlerine göre düzenlenirse; kontrol hacmi sınırlarından iş ve ısı olarak geçen toplam enerji miktarı entalpi değişim miktarına eşit olur.

$$Q - W = \Delta h \quad (5.3)$$

Isıtma ve soğutma sistemleri üzerinde dışarıdan iş verilerek gerçekleşen bir işlem olmadığından sistemin sınırlarından geçen ısı enerjisi entalpi değişimine eşit olur.

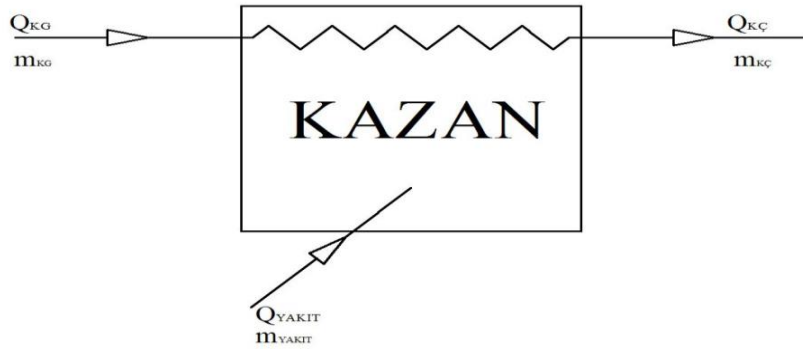
$$Q = \Delta h \quad (5.4)$$

5.1.1 Isıtma Sisteminde Enerji Analizi

Otelde uygulanan ısıtma mekanik tesisatı 4.1 bölümünde detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu bölümde ise ısıtma tesisatı üzerindeki tüm cihazlar için ayrı ayrı enerji analizi uygulanacaktır.

5.1.1.1 Kazanın Enerji Analizi

Kazanda oluşan ısı kayıplarını belirleyebilmek için kazanın kayıp parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler Şekil 5.1 üzerinde detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Kazan için gerekli parametreler

Yakıtın yanmasıyla oluşan enerji;

$$\dot{Q}_{Yakit} = \dot{m}_{Yakit} \times H_a \quad (5.5)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada;

\dot{m}_{Yakit} = Kullanılan yakıtı ait kütleli debi (kg/s)

H_a = Kullanılan yakıt için alt ısı değeri

Kazanda oluşan kayıp;

$$\dot{Q}_{KK} = \dot{Q}_{Yakit} - [\dot{m}_K x (h_{KÇ} - h_{KG})] \quad (5.6)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Burada;

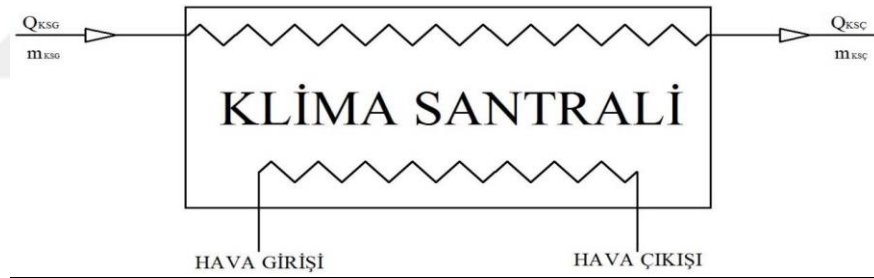
\dot{m}_K = Kazanda kullanılan akışkana ait kütleli debi (kg/s).

h_{KG} = Kazanın giriş noktasında akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg).

$h_{KÇ}$ = Kazan çıkış noktasında akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg).

5.1.1.2 Klima Santrali Hattının Enerji Analizi

Klima santrali hattı içerisinde de tıpkı kazanda belirlediğimiz gibi gerekli parametreleri belirlememiz gerekmektedir. Santrale ait parametreler aşağıdaki şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Klima santrali için gerekli parametreler

Klima santrali parametreleri belirlendikten sonra 5.7' deki formül kullanılarak enerji analiz hesabı yapılabilir.

$$\dot{Q}_{KS} = [\dot{m}_{KS} x (h_{KSG} - h_{KSÇ})] \quad (5.7)$$

Burada;

\dot{m}_{KS} = Klima santrali hattında kullanılan akışkana ait kütleli debi (kg/s)

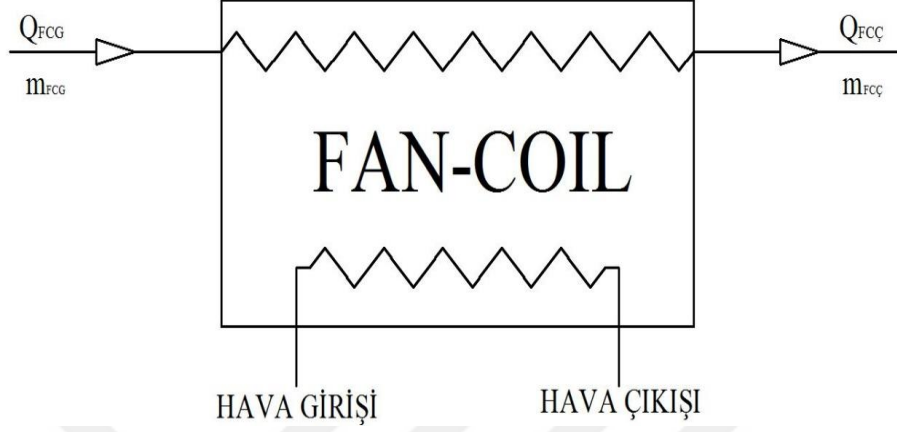
h_{KSG} = Klima santrali girişinde akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

$h_{KSÇ}$ = Klima santrali çıkışında akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

dir.

5.1.1.3 Fan Coil Hattının Enerji Analizi

Fan-coil hattına ait parametreler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Fan-coil hattı için gerekli parametreler

Fan-coil hattına ait parametreler bulunduktan sonra aşağıdaki eşitlik kullanılarak kayıplar hesaplanır.

$$\dot{Q}_{FC} = [\dot{m}_{FC} \times (h_{FCG} - h_{FCÇ})] \quad (5.8)$$

Burada;

\dot{m}_{FC} = Fan coil hattında kullanılan akışkana ait kütleli debi (kg/s)

h_{FCG} = Fan coil hattı girişinde akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

$h_{FCÇ}$ = Fan coil hattı çıkışında akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

dir.

5.1.1.4 Eşanjörün Enerji Analizi

Eşanjöre ait enerji analizinde gerekli parametreler aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir.



Şekil 5.4. Eşanjör için gerekli parametreler

Belirlenen parametreler kullanılarak eşanjörde enerji analizi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Q_{EŞ} = [\dot{m}_{EI} \times (h_{EIG} - h_{EIÇ})] + [\dot{m}_{EKS} \times (h_{KSG} - h_{KSÇ})] \quad (5.9)$$

Burada;

\dot{m}_{EI} = Eşanjör ısıtma hattında akışkana ait kütleli debi (kg/s)

\dot{m}_{EKS} = Eşanjör kullanım suyu hattında akışkana ait kütleli debi (kg/s)

h_{EIG} = Eşanjör ısıtma hattı girişinde akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

$h_{EIÇ}$ = Eşanjör ısıtma hattı çıkışında akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

h_{KSG} = Eşanjör kullanım suyu hattı girişinde akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

$h_{KSÇ}$ = Eşanjör kullanım suyu hattı çıkışında akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

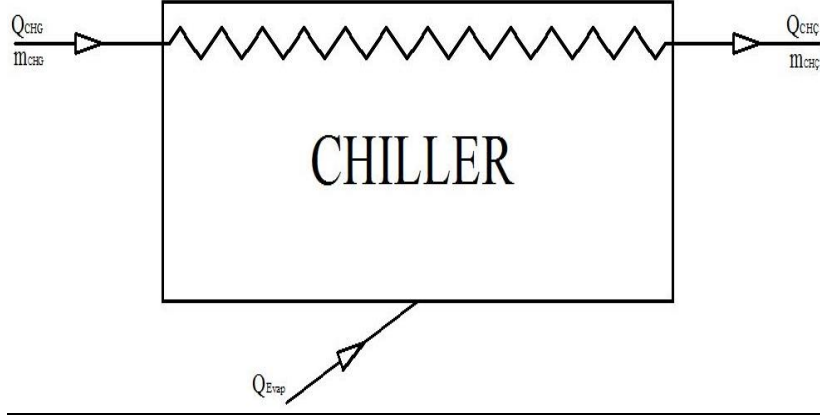
dir.

5.1.2 Soğutma Sistemlerinde Enerji Analizi

İncelediğimiz oteldeki soğutma sisteminde 4.2. Bölümde de anlatıldığı gibi chiller, klima santralleri ve fan coil cihazlarından oluşan bir soğutma sistemi kullanılmıştır. Sistemde kullanılan bu cihazlara tek tek enerji analizi uygulanmıştır.

5.1.2.1 Chillerin Enerji Analizi

Aşağıdaki şekilde chillere ait parametreler gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Chiller için gerekli parametreler

Şekildeki parametreler kullanılarak chillerde oluşan enerji dengesi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\dot{Q}_{CH} = \dot{Q}_{Evap} - [\dot{m}_{CH} \times (h_{CHG} - h_{CHC})] \quad (5.10)$$

Burada;

\dot{m}_{CH} = Chiller hattındaki akışkana ait kütleli debi (kg/s)

h_{CHG} = Chiller girişinde akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

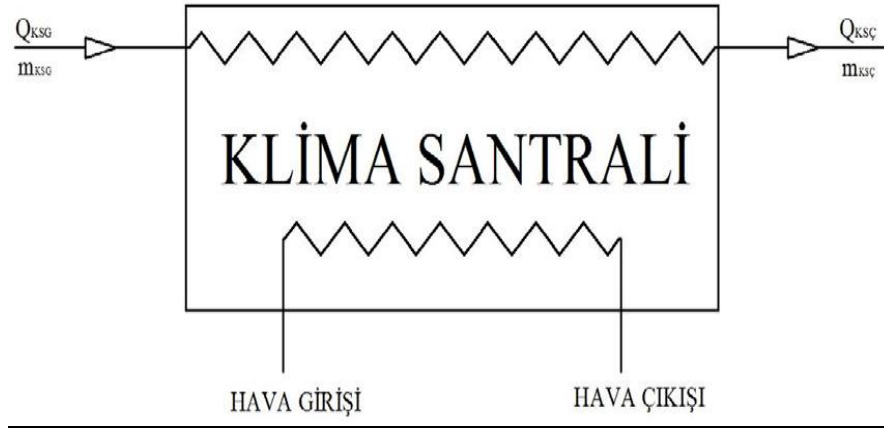
h_{CHC} = Chiller çıkışında akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

\dot{Q}_{Evap} = Kullanılan chiller cihazının soğutma kapasitesi (kW)

dir.

5.1.2.2 Klima Santrali Hattının Enerji Analizi

Öncelikle klima santralleri hattı için gerekli parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Santrale ait parametreler Şekil 5.6' da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Klima santrali için gerekli parametreler

Şekildeki parametreler kullanılarak klima santrali hattında enerji dengesi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_{KS} = [\dot{m}_{KS} \times (h_{KSG} - h_{KSÇ})] \quad (5.11)$$

Burada;

\dot{m}_{KS} = Klima santrali hattında akışkana ait kütleli debi (kg/s)

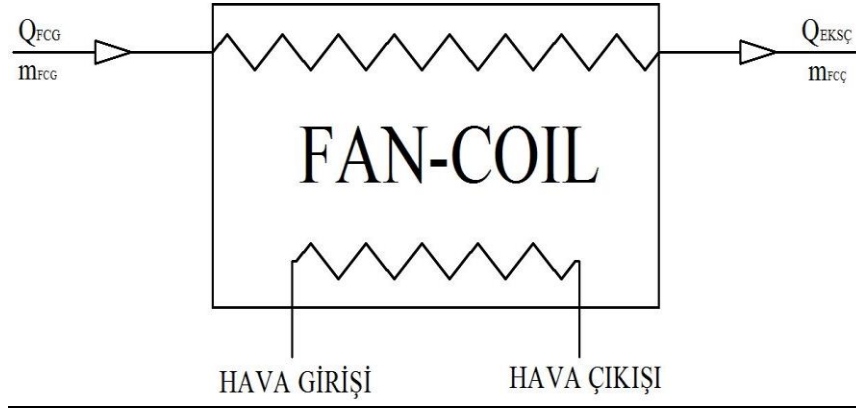
h_{KSG} = Klima santrali hattı girişinde akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

$h_{KSÇ}$ = Klima santrali hattı çıkışında akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

dir.

5.1.2.3 Fan Coil Hattının Enerji Analizi

Fan coil hattında enerji dengesinin hesaplanabilmesi için hatta ait parametreler Şekil 5.7' de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Fan-coil hattı için gerekli parametreler

Şekildeki parametreler kullanılarak fan coil hattı için enerji dengesi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_{FC} = [\dot{m}_{FC} \times (h_{FCG} - h_{FCC})] \quad (5.12)$$

Burada;

\dot{m}_{FC} = Fan coil hattında kullanılan akışkana ait kütleli debi (kg/s)

h_{FCG} = Fan coil hattı girişinde akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

h_{FCC} = Fan coil hattı çıkışında akışkana ait entalpi değeri (kJ/kg)

dir.

Sistemlerin ve sistemler üzerindeki tüm elemanların enerji değerlerini hesaplamada kullanılan eşitlikler oluşturulduktan sonra verim değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

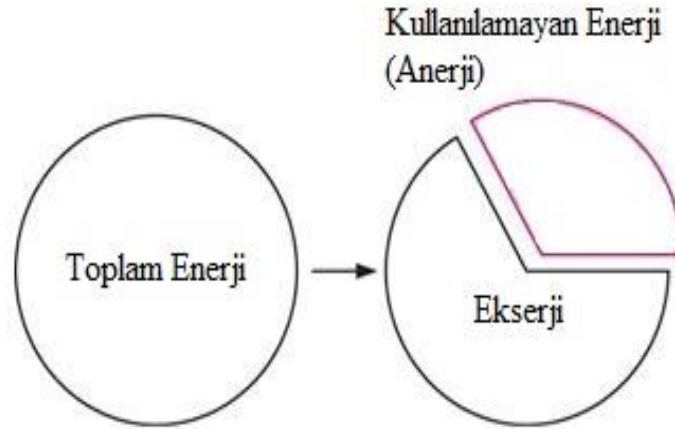
$$\eta_I = \frac{\sum \dot{Q}_{Çıkan}}{\sum \dot{Q}_{Giren}} \quad (5.13)$$

Tüm cihazlar ve ısıtma soğutma sistemleri için enerji verim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

5.2 Isıtma ve Soğutma Tesisatı Sistemlerinde Ekserji Analizi

Enerji ve enerji dönüşümleri üzerine kurulmuş bir disiplin olan termodinamik kavramının birinci yasası enerji korunumu ve sistemler üzerinde enerji dengesiyle; ikinci yasa enerjinin yönüyle ilgilenir. İkinci yasaya göre enerjinin kalitesi vardır ve gerçek koşullardaki hal değişimlerinde enerjinin kalitesi azalma yönündedir. İş yapma potansiyeli ekserji ile sayısal biçimde ifade edilir. Enerjinin işe dönüştürülebilme potansiyeli ekserjiye eşittir. Hal değişimi esnasında kaybedilen ekserji miktarının az olması üretilen işin fazla olduğu anlamına gelir. Herhangi bir sistemin performansını maksimize edebilmek için ekserji kayıplarının minimuma indirilmesi gerekir. Sistemler ve hal değişimleri üzerinde gerçekçi sonuçlar ortaya koyan ekserji analizi gerçekçi karşılaştırma ve yorumları da mümkün kılar. Bu analiz ile elde edilen ekserjik verimler kullanılarak maksimum performans ile gerçek sistem performansı karşılaştırılabilir. Sistemlerde ekserji analizi yapılarak meydana gelen termodinamik kayıplar, kayıp yerleri ve oluşma nedenleri yorumlanabilir.

Sistemin çalışma performansının iyileştirilmesinde ve oluşturulacak sistemlerin daha iyi tasarlanmasında ekserji analizinde elde edilen sonuçlar kullanılır. Sistemlerde enerji dengesi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Enerji dengesi

Kullanılabilir enerji ve ekserji ifadeleri benzer terimlerdir. Ekserji tüketimi, ekserji yok oluşu, kayıp iş ve tersinmezlik de benzer anlamları taşımaktadır.

Enerji hareket veya hareket üretebilme yeteneği iken, ekserji iş veya iş yapabilme yeteneği şeklinde tanımlanır. Sistemlerde enerji her zaman korunur.

Ekserji ise sadece tersinir proseslerde korunabilmektedir. Gerçek proseslerde, ekserji tersinmezlik nedeniyle tüketilir.

Ekserji analizi, sistemler üzerinde yapılan enerji analizinden farklılık gösterir. Ekserji analizinden elde edilen sonuçlar, sistemler üzerinde gerçekleşen proseslerin daha anlamlı bir şekilde gösterilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada ekserji analizi, incelenen ısıtma ve soğutma sistemlerinin analiz edilmesinde oldukça önemlidir. Ekserji analizi ile sistemler üzerindeki verimsizlikleri azaltma ve daha yüksek verimli sistemler tasarlama olasılığı üzerinde durulur.

Bir sistemde ekserji hesabının yapılabilmesi için, çevreye ait basıncın, sıcaklığın ve kimyasal durumların bilinmesi gerekmektedir. Aynı zamanda tersinir bir sürecin varlığı da kabul edilmelidir. Fakat diğer termodinamik analizler gibi, ekserji analizinde de tersinir sürecin ne şekilde gerçekleştiğinin bilinmesi gerekmemektedir. Sadece sürecin giriş ve çıkış noktalarındaki şartların bilinmesi analiz için yeterlidir.

Bir maddenin basıncı (P), sıcaklığı (T), özgül entropisi (s) ve özgül entalpisi (h) ise özgül ekserjisi (kullanılabilirliği);

$$Ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.14)$$

denkleminde ifade edilir.

5.2.1 Isıtma Sisteminde Ekserji Analizi

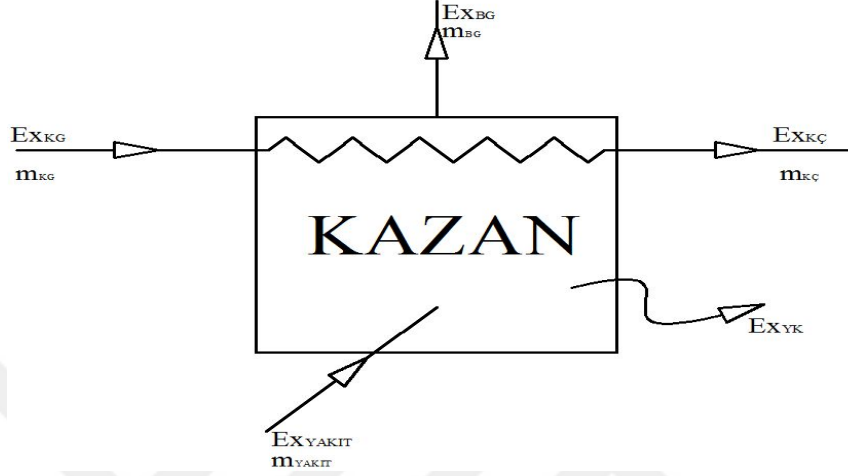
Yapılan enerji analizinde otelin ısıtma sistemi incelenmişti. Bu bölümde ise ısıtma sisteminin ekserji analizi üzerinde durulacaktır.

5.2.1.1 Kazanda Ekserji Analizi

Kazanlar, içerisinde herhangi bir yakıt yakıldığında açığa çıkan yanma enerjisini, ısıtma sisteminde kullanılan akışkana aktarırlar. Yanma olayı sonucunda açığa çıkan ısının tamamı akışkan maddeye aktarılamaz. Oluşan ısının bir bölümü

baca gazıyla, bir bölümü de kazan yüzeyinden atmosfere atılır. Kazan verimi konusunda kullanılmayan ısı miktarı dikkate alınması gereken bir parametredir.

Aşağıdaki şema üzerinde kazan hattının giriş-çıkış noktalarındaki ekserjik faktörler gösterilmektedir. Şekildeki ekserji parametrelerinin belirlenmesinin ardından aşağıdaki denklemler kullanılarak ekserji kayıpları hesaplanır.



Şekil 5.9. Kazan için gerekli parametreler

$$\sum Ex_{giren} = \sum Ex_{çikan} + \sum Ex_{kayıp} \quad (5.15)$$

$$Ex_{Yakit} + Ex_{KG} = Ex_{KÇ} + Ex_{YK} + Ex_{BG} + Ex_{kayıp} \quad (5.16)$$

$$Ex_{kayıp} = Ex_{Yakit} + Ex_{KG} - (Ex_{KÇ} + Ex_{YK} + Ex_{BG}) \quad (5.17)$$

Yakıtın yanması sonucu oluşan ekserji değeri:

Sistemde doğalgaza ait yanma denklemi yakıtın tamamen metandan (CH₄) meydana geldiği varsayılarak oluşturulmuştur.

Birim kütle için yakıtta ait ekserji değeri 5.18' deki formül kullanılarak hesaplanır.

$$\epsilon_{Yakit} = H_a \times \varphi \quad (5.18)$$

Formüldeki “ φ ” kimyasal ekserji faktörüdür ve 1,04 değerinde alınmıştır.

Yakıtta ait toplam ekserji değeri, toplam kütle ile birim kütle için hesaplanan ekserji değerinin çarpımına eşittir.

$$\sum Ex_{Yakit} = \dot{m}_{Yakit} \times \epsilon_{Yakit} \quad (5.19)$$

Kazan yüzeylerinde gerçekleşen ısı transferi sonucu oluşan kayıplar:

Sistemde kazan yüzeyinden, kazanın bulunduğu mahale ısı geçişi meydana gelir. Bu değer kazan yüzeyinden gerçekleşen kayıp olarak bilinir ve aşağıdaki denklik kullanılarak hesaplanır.

$$\sum Ex_{Yk} = \dot{Q}_{Kayıp} \left(1 - \frac{T_o}{T_{Kds}}\right) \quad (5.20)$$

Formüldeki $\dot{Q}_{Kayıp}$ değeri; kazan bünyesindeki ekserji değerinden yakıtın yanmasıyla oluşan ekserji değerinin çıkarılmasıyla elde edilir ve aşağıdaki denklem kullanılarak bulunur.

$$\dot{Q}_{Kayıp} = \dot{m}_{Yakıt} \times H_a - [Q_{Kazan} + (\dot{m}_{N_2} \Delta h_{N_2} + \dot{m}_{CO_2} \Delta h_{CO_2} + \dot{m}_{H_2O} \Delta h_{H_2O})] \quad (5.21)$$

Yukarıdaki eşitlikte hesaplanan kayıp değeri Eşitlik 5.20' de kullanıldığında kazan yüzeyinden oluşan ekserjik kayıp hesaplanır.

Baca gazları için ekserji analizi:

Baca gazlarına ait ekserji analizi hesaplamasında aşağıdaki formül kullanılır.

$$\sum Ex_{BG} = \sum \dot{M}_i \times Ex_i \quad (5.22)$$

Baca gazlarının ekserji analizinin yapılabilmesi için önce yakıt için gerçek yanma denkleminin bilinmesi gerekmektedir.

Kullanılan yakıt için gerçek yanma denklemi, yakıtın sadece metan gazından oluştuğu kabulüyle CH_4 e ait yanma denklemine eşittir.



Metanın gerçek yanma denklemi formülüne göre oluşan yanma ürünlerine ait toplam kütle hesabı yapılır. Açığa çıkan CO_2 , H_2O ve N_2 gazlarının toplam kütlesi Eş.5.24 ile hesaplanır.

$$\dot{M}_{Top} = (1 \times M_{CO_2}) + (2 \times M_{H_2O}) + (7,52 \times M_{N_2}) \quad (5.24)$$

Açığa çıkan yanma ürünlerinin toplam kütle hesabı yapıldıktan sonra bütün yanma ürünlerinin toplam kütle içerisindeki yüzdesel değerleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$y_i = \frac{\dot{M}_i}{\dot{M}_{Top}} \quad (5.25)$$

Doğal gaza ait yanma veriminin % 92 olduğu kabul edilir. Yani yanma işlemi sonucunda baca gazı kütlelerinin % 8' lik bir kayıpla açığa çıkacağı hesaplanır.

$$\dot{M}_{Bg} = (\dot{M}_{Yakıt} + \dot{M}_{Hava}) \times 0.92 \quad (5.26)$$

Eşitlikte yanma esnasında tepkimeye giren havanın kütlesi ihmal edilebilmektedir. Baca gazına ait kütleli debi yukarıdaki formül kullanılarak hesaplanır. Daha sonra yanma ürünlerinin baca gazı kütlesi içerisindeki yüzdesel değerleri aşağıdaki formül kullanılarak bulunur.

$$\dot{M}_i = \dot{M}_{Bg} \times y_i \quad (5.27)$$

Aşağıdaki tabloda sistemde metanın yanmasıyla açığa çıkan baca gazlarının kütleleri ve bu kütle içerisindeki yüzdeleri hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Açığa çıkan baca gazlarının kütle değerleri

Baca gazı	M_i (g)	M_{top} (g)	$y_i = M_i / M_{top}$ (%)	\dot{M}_{Bg} (kg/s)	$\dot{M}_i = \dot{M}_{Bg} \times y_i$ (kg/s)
N ₂	210,56	290,59	73,4	0,051948	0,03813
H ₂ O	36	290,59	12,3	0,051948	0,006389
CO ₂	44	290,59	15,2	0,051948	0,0078961

Açığa çıkan yanma ürünlerinin toplam ekserji değerleri:

Yanma ürünlerinin ekserji değerlerini hesaplamadan önce termodinamik değerleri bulunur. Daha sonra hepsi için ayrı ayrı kimyasal ve termodinamik ekserjileri hesaplanır. Hesaplanan bu ekserji değerleri kullanılarak baca gazının toplam ekserji kaybı hesaplanır. Kazan firmasına ait veriler doğrultusunda baca gazının tam yükte 185 °C olduğu varsayılmıştır.

Aşağıdaki çizelgede ortam sıcaklığının ve açığa çıkan baca gazlarının termodinamik özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Baca gazlarına ait termodinamiksel özellikler

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	15358,4	203,3444	9904	188,720
CO ₂	15829,4	230,854	9364	213,685

Yanma ürünlerine ait kimyasal, termomekaniksel ve toplam ekserji hesaplamaları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Baca gazlarına ait termodinamik, kimyasal ve toplam ekserji değerleri

Baca Gazı	$Ex_{TM} = (h - h_0) - T_0(s - s_0)$ (kJ/kmol)	$Ex_{Kim} = \bar{R}T_0 \ln 1/y_{ci}^e$ (kJ/kmol)	$Ex_{Top_i} = Ex_{TM_i} + Ex_{Kim}$ (kJ/kmol)	Ex_{Top_i} (kJ/kg)
N ₂	934,697	691	1625,697	58,0606
H ₂ O	1096,329	8663,09	8769,419	487,1899
CO ₂	1319,238	19752	21071,238	478,8917

Kimyasal ekserji hesaplamada kullanılan y_{ci}^e değeri açığa çıkan baca gazlarının çevrede bulunma yüzdeleridir. Bu değerler aşağıdaki tabloda görüldüğü gibidir.

Çizelge 5.4. Baca gazları çevre yüzdeleri (Moran ve Shapiro)

Referans Bileşen	Mol Kesri (%)
N ₂	75,670
CO ₂	0,0345
H ₂ O	3,0300

Tablodaki baca gazı çevre yüzdeleri Eşitlik 5.22' de yerine konulduğunda açığa çıkan baca gazlarının toplam ekserjisi bulunur.

$$\sum Ex_{BG} = \dot{M}_{N_2} \times Ex_{Top_{N_2}} + \dot{M}_{CO_2} \times Ex_{Top_{CO_2}} + \dot{M}_{H_2O} \times Ex_{Top_{H_2O}} \quad (5.28)$$

Kazan girişinde ekserji değeri hesabı:

Sistemde dolaşp kazana geri dönen kazan dönüş suyu için ekserji değer hesabı aşağıdaki formül kullanılarak yapılır.

$$Ex_{KG} = \dot{m}_{Kazan} [(h_{KG} - h_o) - T_o(s_{KG} - s_o)] \quad (5.29)$$

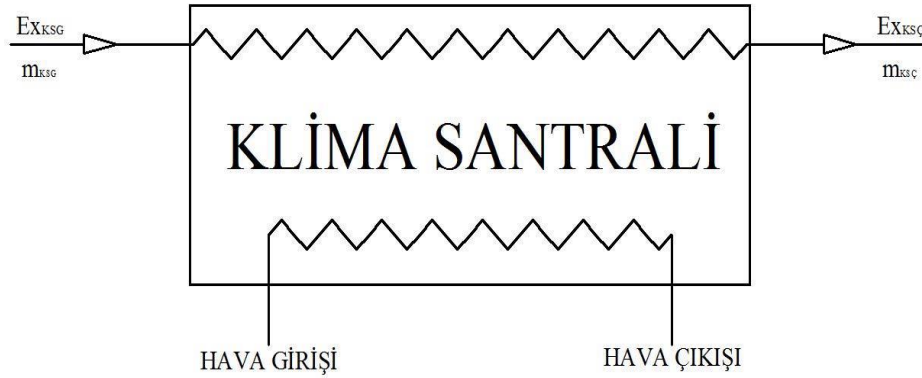
Kazan çıkışında ekserji değeri hesabı:

Kazandan çıkıp sisteme gönderilen kazan çıkış suyu için ekserji değeri hesabı aşağıdaki formül kullanılarak yapılır.

$$Ex_{KÇ} = \dot{m}_{Kazan} [(h_{KÇ} - h_o) - T_o(s_{KÇ} - s_o)] \quad (5.30)$$

5.2.1.2 Klima Santrali Tesisat Sisteminde Oluşan Ekserjik Kayıplar

Aşağıdaki şematik gösterimde klima santrali hattında giriş ve çıkış ekserjik parametreleri gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Klima santrali için gerekli parametreler

Klima santrali hattının girişinde ekserji değeri hesabı:

Sıcak su klima santraline 90 °C' de girmektedir. Suyun termodinamiksel özellikleri kullanılarak klima santrali girişindeki ekserji değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak elde edilir.

$$Ex_{KSG} = \dot{m}_{KS} [(h_{KSG} - h_o) - T_o(s_{KSG} - s_o)] \quad (5.31)$$

Klima santrali hattı çıkışında ekserji değeri hesabı:

Klima santrali çıkışındaki su sıcaklığı 70 °C' dir ve çıkış ekserjisi değeri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$Ex_{KSÇ} = \dot{m}_{KS}[(h_{KSÇ} - h_o) - T_o(s_{KSÇ} - s_o)] \quad (5.32)$$

Klima santrali hattında oluşan toplam ekserjik kayıp hesabı:

Klima santrali hattındaki ekserjik parametreler belirlendikten sonra ekserjik kayıp değerleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır.

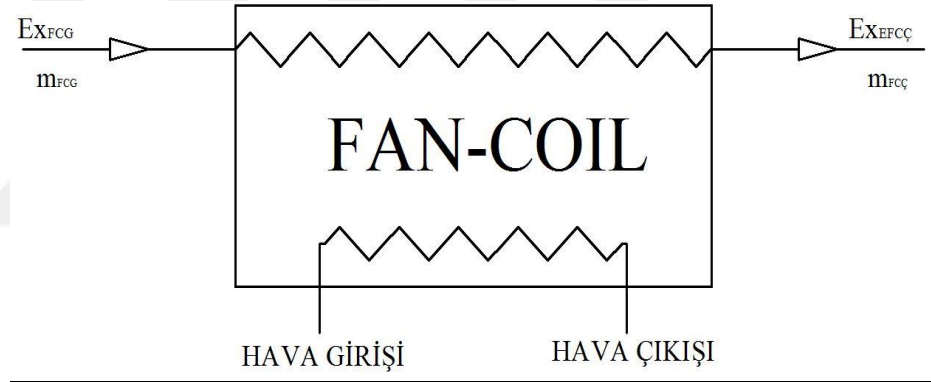
$$\sum Ex_{giren} = \sum Ex_{çikan} + \sum Ex_{kayıp} \quad (5.33)$$

$$Ex_{KSG} = Ex_{KSÇ} + Ex_{kayıp} \quad (5.34)$$

$$Ex_{kayıp} = Ex_{KSG} - Ex_{KSÇ} \quad (5.35)$$

5.2.1.3 Fan Coil Sisteminde Oluşan Ekserjik Kayıplar

Aşağıdaki şemada fan coil hattı giriş ve çıkış noktalarındaki ekserji parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 5.11.Fan-Coil için gerekli parametreler

Fan-Coil hattı girişinde ekserji değeri hesabı:

Fan-coil ünitelerine girişteki su sıcaklığı 70 °C' dir. Sıcak suyun termodinamik özellikleri kullanılarak fan-coil ünitelerine giriş ekserji değeri aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

$$Ex_{FCG} = \dot{m}_{FC} [(h_{FCG} - h_o) - T_o(s_{FCG} - s_o)] \quad (5.36)$$

Fan-Coil hattı çıkışında ekserji değeri hesabı:

Sıcak su fan-coil ünitelerinden 60 °C' de çıkmaktadır ve çıkış ekserjisi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$Ex_{FCC} = \dot{m}_{FC} [(h_{FCC} - h_o) - T_o(s_{FCC} - s_o)] \quad (5.37)$$

Fan-Coil hattında toplam ekserjik kayıp hesabı:

Fan coil hattı için gerekli parametreler belirlendikten sonra ekserji kayıpları aşağıdaki formüller yardımıyla elde edilir.

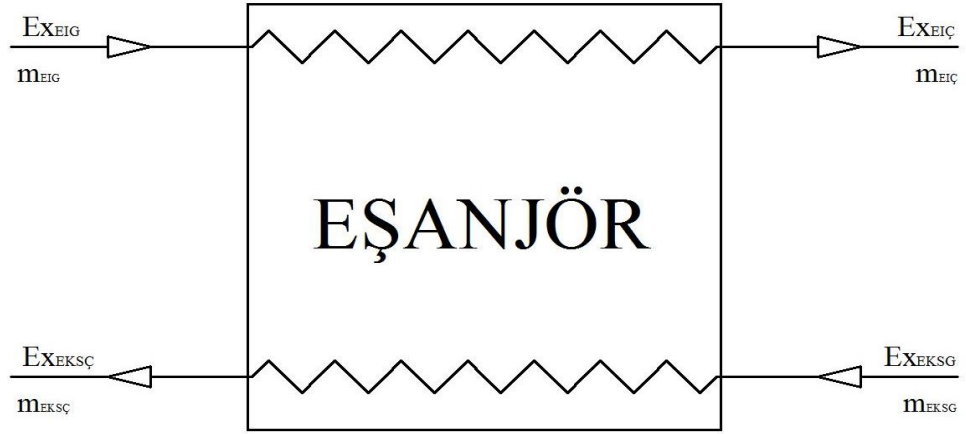
$$\sum Ex_{giren} = \sum Ex_{çıkan} + \sum Ex_{kayıp} \quad (5.38)$$

$$Ex_{FCG} = Ex_{FCÇ} + Ex_{kayıp} \quad (5.39)$$

$$Ex_{kayıp} = Ex_{FCG} - Ex_{FCÇ} \quad (5.40)$$

5.2.1.4 Eşanjörde Oluşan Ekserjik Kayıplar

Eşanjör hattı otel binasında sıcak su üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Bu hat sayesinde sıcak su devresinden elde edilen ısı kazancı, soğuk suya aktarılmakta ve böylelikle kullanım sıcak suyu ihtiyacı karşılanmaktadır. Şehir şebekesinden 5 °C' de gelen kullanım sıcak suyu (KSS) 40 °C' de kullanım alanlarına gönderilmekte, kazandan 90 °C' de çıkan eşanjör ısıtma suyu (EIS) ise, 70 °C' de kazana geri döndürülmektedir.



Şekil 5.12. Eşanjör için gerekli parametreler

Eşanjör hattı ısıtma devresinin girişinde ekserji değeri hesabı:

Eşanjör hattı ısıtma devresinin girişindeki su sıcaklığı 90 °C' dir ve giriş ekserjisi değeri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$Ex_{EIG} = \dot{m}_{EI} [(h_{EIG} - h_o) - T_o (s_{EIG} - s_o)] \quad (5.41)$$

Eşanjör hattı ısıtma devresinin çıkışındaki ekserji değeri hesabı:

Eşanjör hattı ısıtma devresinin çıkışındaki su sıcaklığı 70 °C' dir ve çıkış ekserjisi değeri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$Ex_{EIÇ} = \dot{m}_{EI} [(h_{EIÇ} - h_o) - T_o (s_{EIÇ} - s_o) -] \quad (5.42)$$

Eşanjör hattı kullanım sıcak suyu devresi girişindeki ekserji değeri hesabı:

Eşanjör hattının kullanım sıcak suyu girişindeki sıcaklık değeri 5 °C' dir ve giriş ekserjisi değeri aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

$$Ex_{KSG} = \dot{m}_{EKS} [(h_{EKSG} - h_o) - T_o (s_{EKSG} - s_o) -] \quad (5.43)$$

Eşanjör hattı kullanım sıcak suyu devresi çıkışındaki ekserji değeri hesabı:

Eşanjör hattının kullanım sıcak suyu çıkışındaki sıcaklık değeri 40 °C' dir ve çıkış ekserjisi değeri aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

$$Ex_{KSÇ} = \dot{m}_{EKS} [(h_{EKSC} - h_o) - T_o (s_{EKSC} - s_o) -] \quad (5.44)$$

Eşanjör hattında toplam ekserjik kayıp hesabı:

Eşanjöre hattı için gerekli tüm parametreler belli olduktan sonra ekserji kayıp değerini hesaplamada aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$\sum Ex_{giren} = \sum Ex_{çıkan} + \sum Ex_{kayıp} \quad (5.45)$$

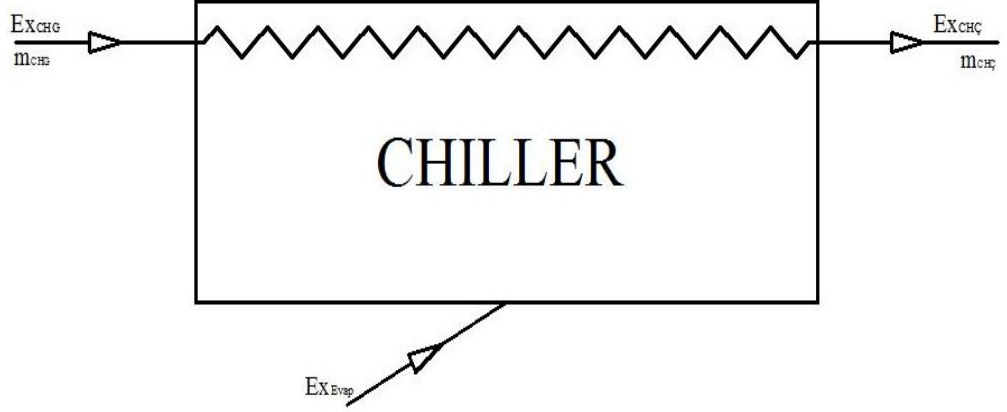
$$Ex_{EIG} + Ex_{EKSG} = Ex_{EIÇ} + Ex_{EKSC} + Ex_{kayıp} \quad (5.46)$$

$$Ex_{kayıp} = Ex_{EIG} + Ex_{EKSG} - (Ex_{EIÇ} + Ex_{EKSC}) \quad (5.47)$$

5.2.2 Soğutma Sisteminde Ekserji Analizi

Oteldeki soğutma sistemini ekserjik açıdan değerlendirebilmemiz için, tıpkı enerji analizinde olduğu gibi tüm cihazları ayrı ayrı incelememiz gerekmektedir.

5.2.2.1 Chillerde Oluşan Ekserjik Kayıplar



Şekil 5.13. Chiller için gerekli parametreler

Chiller hattı girişinde ekserji değeri:

Chiller hattı girişinde suyun sıcaklık değeri 12 °C' dir ve giriş ekserjisi değeri aşağıdaki formül kullanılarak elde edilir.

$$Ex_{CHG} = \dot{m}_{CH} [(h_{CHG} - h_o) - T_o (s_{CHG} - s_o)] \quad (5.48)$$

Chiller hattı çıkışında ekserji değeri hesabı:

Chiller hattı çıkışında suyun sıcaklık değeri 7 °C' dir ve çıkış ekserjisi değeri aşağıdaki formül kullanılarak elde edilir.

$$Ex_{CHÇ} = \dot{m}_{CH} [(h_{CHÇ} - h_o) - T_o (s_{CHÇ} - s_o)] \quad (5.49)$$

Chiller hattında toplam ekserjik kayıp hesabı:

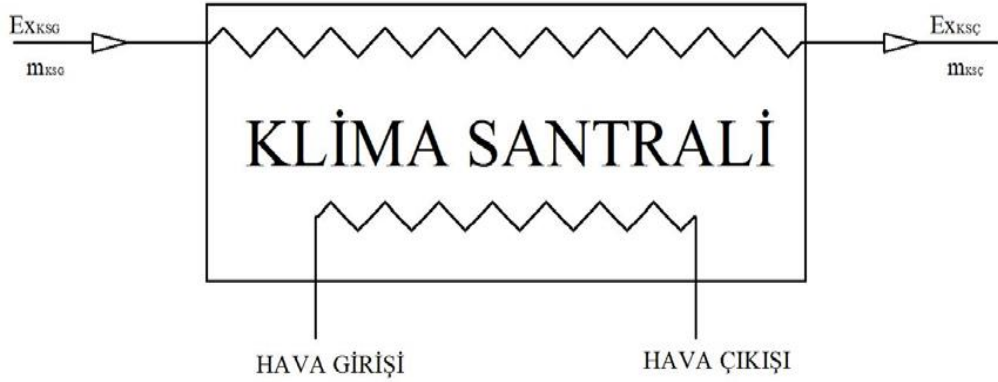
Chiller cihazı hattındaki tüm parametreler yukarıdaki eşitliklerle belirlendikten sonra ekserji kayıp değeri aşağıdaki formüller kullanılarak bulunur.

$$\sum Ex_{giren} = \sum Ex_{çıkan} + \sum Ex_{kayıp} \quad (5.50)$$

$$Ex_{CHG} + Ex_{Evap} = Ex_{CHÇ} + Ex_{kayıp} \quad (5.51)$$

$$Ex_{kayıp} = Ex_{CHG} - Ex_{CHÇ} \quad (5.52)$$

5.2.2.2 Klima Santrali Sisteminde Oluşan Ekserjik Kayıplar



Şekil 5.14. Klima santrali için gerekli parametreler

Klima santrali hattı girişinde ekserji değeri hesabı:

Klima santrali hattı girişinde suyun sıcaklık değeri 7 °C' dir ve giriş ekserjisi değeri aşağıdaki formül kullanılarak elde edilir.

$$Ex_{KSG} = \dot{m}_{KS} [(h_{KSG} - h_o) - T_o (s_{KSG} - s_o) -] \quad (5.53)$$

Klima santrali hattı çıkışında ekserji değeri hesabı:

Klima santrali hattı çıkışında suyun sıcaklık değeri 12 °C' dir ve çıkış ekserjisi değeri aşağıdaki formül kullanılarak elde edilir.

$$Ex_{KSÇ} = \dot{m}_{KS} [(h_{KSÇ} - h_o) - T_o (s_{KSÇ} - s_o) -] \quad (5.54)$$

Klima Santrali hattında oluşan toplam ekserjik kayıp değeri:

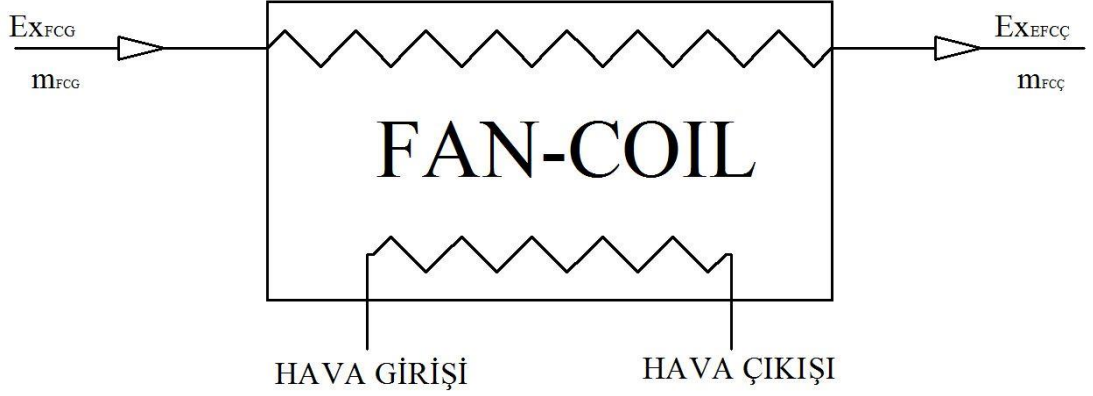
Klima santrali hattı için tüm parametreler belirlendikten sonra ekserji kayıplarını hesaplamada aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$\sum Ex_{giren} = \sum Ex_{çıkan} + \sum Ex_{kayıp} \quad (5.55)$$

$$Ex_{KSG} = Ex_{KSÇ} + Ex_{kayıp} \quad (5.56)$$

$$Ex_{kayıp} = Ex_{KSG} - Ex_{KSÇ} \quad (5.57)$$

5.2.2.3 Fan Coil Sisteminde Oluşan Ekserjik Kayıplar



Şekil 5.15. Fan-Coil için gerekli parametreler

Fan coil hattı girişinde ekserji değeri:

Fan coil ünitelerinin girişinde suyun sıcaklık değeri 7 °C' dir ve giriş ekserjisi değeri aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

$$Ex_{FCG} = \dot{m}_{FC} [(h_{FCG} - h_o) - T_o (s_{FCG} - s_o) -] \quad (5.58)$$

Fan-coil hattı çıkışında ekserji değeri:

Fan coil ünitelerinin çıkışında suyun sıcaklık değeri 12 °C' dir ve çıkış ekserjisi değeri aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

$$Ex_{FCC} = \dot{m}_{FC} [(h_{FCC} - h_o) - T_o (s_{FCC} - s_o) -] \quad (5.59)$$

Fan-coil hattındaki toplam ekserjik kayıp:

Fan coil üniteleri için gerekli parametreler belli olduktan sonra giriş ve çıkış ekserji değerleri bulunarak toplam ekserji kayıpları hesaplanır.

$$\sum Ex_{giren} = \sum Ex_{çıkan} + \sum Ex_{Kayıp} \quad (5.60)$$

$$Ex_{FCG} = Ex_{FCC} + Ex_{Kayıp} \quad (5.61)$$

$$Ex_{Kayıp} = Ex_{FCG} - Ex_{FCC} \quad (5.62)$$

Sistem üzerindeki bütün elemanların ekserji değerlerinin hesaplanması için eşitlikler yazıldıktan sonra ekserjik verim değerleri Eş.5.63 ile hesaplanır.

$$\eta_{II} = \frac{\sum Ex \text{ çıkan}}{\sum Ex \text{ giren}} \quad (5.63)$$

Ekserjik verim değeri bütün cihazlar için tek tek hesaplanmış ve grafiklerle yapılan analizler desteklenmiştir.



6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 Enerji Analizi Sonuçları

Mekanik ısıtma soğutma tesisatı enerji analizi için 5. bölümdeki eşitlikler kullanılmıştır. Sistemin tüm bölümleri için hesaplanan sonuçlar tek tek çizelgeler halinde gösterilmiştir.

6.1.1 Isıtma Sisteminde Elde Edilen Sonuçlar

4. bölümde Şekil 4.5' teki şematik gösterimde giriş ve çıkış noktalarına ait termodinamiksel değerler ve yukarıda verilen Eş. 5.6, Eş. 5.7, Eş. 5.8, Eş. 5.9 kullanılarak elde edilen enerji değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 6.1. Isıtma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal enerjileri

No	Açıklaması	Akışkan Tipi	Sıcaklığı T ($^{\circ}C$)	Entalpi h (kJ/kg)	Kütleli Debi \dot{m} (kg/s)	Enerji Miktarı (kW)
1	Kazan girişi	Su	70	293,07	122,2	35813,154
2	Kazan çıkışı	Su	90	377,04	122,2	46074,288
3	Klima santrali girişi	Su	90	377,04	98,55	37157,292
4	Klima santrali çıkışı	Su	70	293,07	98,55	28882,0485
5	Fan-coil ünitesi girişi	Su	70	293,07	13,88	4067,8116
6	Fan-coil ünitesi çıkışı	Su	60	251,18	13,88	3486,3784
7	Eşanjör ısıtma devre girişi	Su	90	377,04	11,944	4503,3658

Çizelge 6.1. (Devam) Isıtma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal enerjileri

8	Eşanjör ısıtma devre çıkışı	Su	70	293,07	11,944	3500,4281
9	Eşanjör kullanım sıcak suyu girişi	Su	5	21,020	11,944	251,0629
10	Eşanjör kullanım sıcak suyu çıkışı	Su	40	167,53	11,944	2000,978

Sistemdeki elemanların termodinamiksel değerleri ve elde edilen enerji değerleri kullanılarak Çizelge 6.2 oluşturulur.

Çizelge 6.2. Isıtma sistemindeki elemanların enerjik kayıp ve verim değerleri

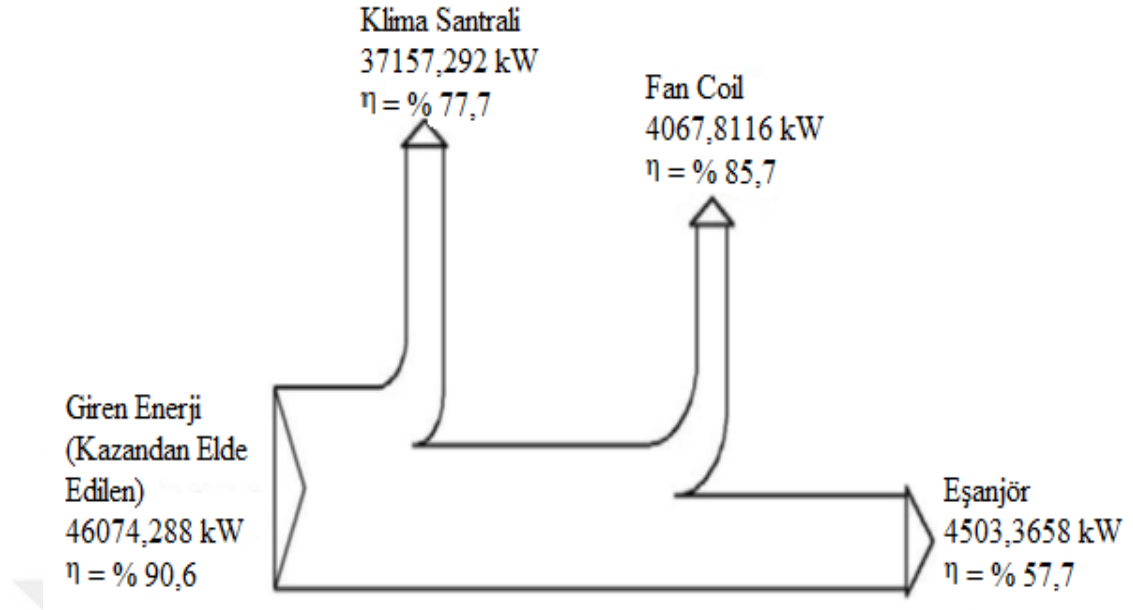
Cihaz No	Cihaz İsmi	ΣQ_{Giren} (kW)	$\Sigma Q_{Çıkan}$ (kW)	$\Sigma Q_{Kayıp}$ (kW)	Enerjik Verim (η)
1	Kazan	11330,76 ¹	10261,134 ²	1069,626	0,906
2	Klima Santrali	37157,292	28882,0485	8275,2435	0,777
3	Fan-Coil	4067,8116	3486,3784	581,4332	0,857
4	Isıtma Eşanjörü	6504,3438	3751,491	2752,8528 ³	0,577

¹Yakıttan gelen enerji değeri (Eş. 5.5.)

²Kazan suyu giriş ve çıkışı ile elde edilen enerji değeri (Eş. 5.6.)

³Kazanın kullanım suyuna aktaramadığı miktar

Elde edilen enerji kayıp değerleri ve hangi noktalarda kayba uğradığı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Şekilde en yüksek verim kazanda görülmektedir.



Şekil 6.1. Isıtma sistemi için Sankey diyagramı

6.1.2 Soğutma Sisteminde Elde Edilen Sonuçlar

Soğutma sistemi üzerinde sistem elemanlarının giriş ve çıkış noktalarındaki termodinamik değerleri ve Eş.5.10, Eş. 5.11, Eş.5.12. kullanılarak elde edilen enerji değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 6.3. Soğutma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal enerjileri

No	Açıklaması	Akışkan Tipi	Sıcaklığı T (°C)	Entalpi h (kJ/kg)	Kütlesel Debi m (kg/s)	Enerji Miktarı (kW)
1	Chiller girişi	Su	12°C	50,426	458,33	23111,75
2	Chiller çıkışı	Su	7°C	29,428	458,33	13487,74
3	Klima santrali girişi	Su	7°C	29,428	338,89	9972,85
4	Klima santrali çıkışı	Su	12°C	50,426	338,89	17088,87

Çizelge 6.3. (Devam) Soğutma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal enerjileri

5	Fan-coil ünite girişi	Su	7°C	29,428	119,44	3514,88
6	Fan-coil ünite çıkışı	Su	12°C	50,426	119,44	6022,88

Yukarıdaki çizelgedeki hesaplanan değerleri, Eş. 5.13' de yerine konulduğunda sistem üzerindeki bütün elemanlar için elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

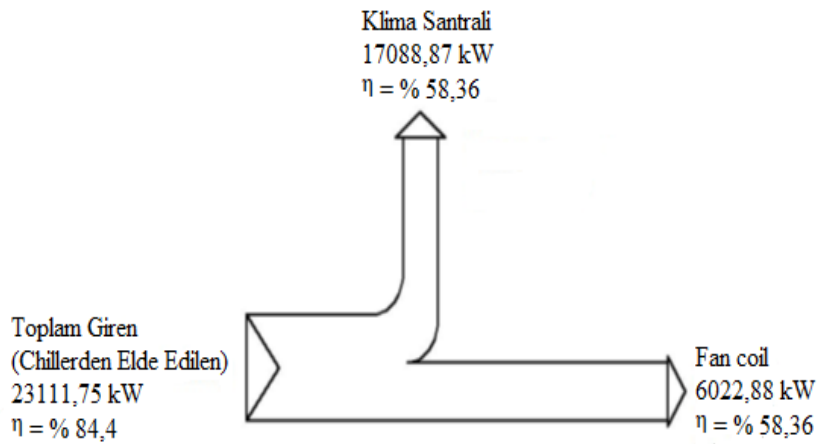
Çizelge 6.4. Soğutma sistemindeki elemanların enerji kayıp ve verimleri

Cihaz No	Cihaz İsmi	ΣQ_{Giren} (kW)	$\Sigma Q_{Çıkan}$ (kW)	$\Sigma Q_{Kayıp}$ (kW)	Enerjik Verim (η)
1	Chiller	11400,00 ⁴	9624,01 ⁵	1775,99	0,844
2	Klima Santrali	17088,87	9972,85	7116,02	0,5836
3	Fan-Coil	6022,88	3514,88	2508,00	0,5836

⁴Chiller soğutma kapasitesi

⁵Chillere su giriş çıkışı ile oluşan enerji değeri (Eş.5.10.)

Hesaplanan sonuçlar enerji değerleri ve enerji verimleri aşağıdaki Sankey diyagramı üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Soğutma sistemi için Sankey diyagramı

Enerji akış diyagramı giren enerji ile çıkan enerjinin eşit olduğunu ortaya koyan diyagramdır. Enerji akış diyagramı sayesinde kayıp noktalar ve kayıp değerleri görülmektedir.

6.2 Ekserji Analizi Sonuçları

Otelde binası mekanik tesisat ısıtma ve soğutma sistemi elemanlarına enerji analizleri yapıldıktan sonra, daha detaylı sonuçlar elde edebilmek ve kayıp noktalarını belirleyebilmek için ekserji analizi yapılmıştır. Yapılan analiz ışığında hesaplanan sonuçlar tablolar üzerinde belirtilmiştir.

6.2.1 Isıtma Sistemi Elemanlarında Elde Edilen Sonuçlar

4. bölümde Şekil 4.5' deki şematik gösterimde giriş ve çıkış noktalarındaki termodinamik değerler ve Eş. 5.31, Eş. 5.32, Eş. 5.36, Eş. 5.37, Eş. 5.41, Eş. 5.42, Eş. 5.43 ve Eş. 5.44 kullanılarak elde edilen ekserji değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Isıtma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal ekserjileri

No	Açıklaması	Akışkan Tipi	Sıcaklığı $T (^{\circ}C)$	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg K)	Kütleli Debi \dot{m} (kg/s)	Ekserji Ψ (kJ/kg)	Ekserji Miktarı (kW)
1	Kazan girişi	Su	70	293,07	0,9551	122,2	13,046	1594,22
2	Kazan çıkışı	Su	90	377,04	1,1929	122,2	26,151	3195,65
3	Klima santrali girişi	Su	90	377,04	1,1929	98,55	26,151	2577,22
4	Klima santrali çıkışı	Su	70	293,07	0,9551	98,55	13,046	1285,66
5	Fan-coil ünitesi girişi	Su	70	293,07	0,9551	13,88	13,046	181,08
6	Fan-coil ünitesi çıkışı	Su	60	251,18	0,8313	13,88	8,048	111,71

Çizelge 6.5. (Devam) Isıtma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal ekserjileri

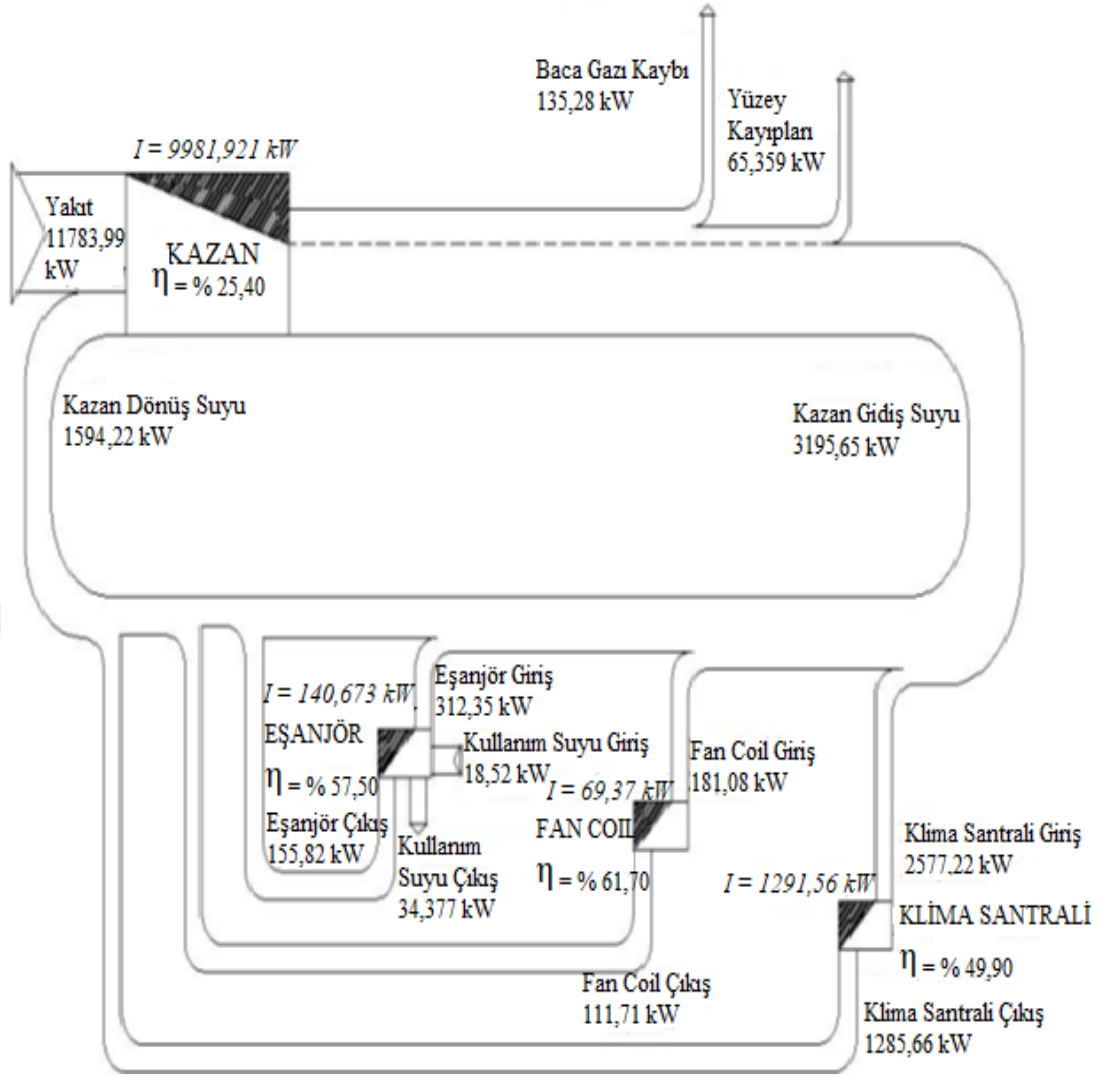
7	Eşanjör ısıtma devresi girişi	Su	90	377,04	1,1929	11,944	26,151	312,35
8	Eşanjör ısıtma devresi çıkışı	Su	70	293,07	0,9551	11,944	13,046	155,82
9	Eşanjör kullanım sıcak suyu girişi	Su	5	21,02	0,0763	11,944	1,550	18,52
10	Eşanjör kullanım sıcak suyu çıkışı	Su	40	167,53	0,5724	11,944	2,878	34,377

Çizelge 6.5’ de verilen ekserji değerleri, Eş. 5.63’ de yerine konulursa tüm sistem elemanları için ekserji kayıp ve verim değerleri bulunur. Bu değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 6.6. Isıtma sistemindeki elemanların ekserjik kayıp ve verimleri

Cihaz No	Cihaz İsmi	ΣEx_{Giren} (kW)	$\Sigma Ex_{Çıkan}$ (kW)	$\Sigma Ex_{Kayıp}$ (kW)	Ekserjik Verim (η)
1	Kazan	13378,21	3396,29	9981,921	0,254
2	Klima Santrali	2577,22	1285,66	1291,56	0,499
3	Fan-Coil	181,08	111,71	69,37	0,617
4	Isıtma Eşanjörü	330,87	190,197	140,673	0,575

Elde edilen ekserjik kayıp ve verim değerlerini daha iyi yorumlayabilmemiz için Şekil 6.3’ de Grassman diyagramı çizilmiştir.



Şekil 6.3. Otelin ısıtma sistemi için Grassman diyagramı

Sonuçları daha iyi yorumlamamızı sağlayan Grassman diyagramı tüm cihazlar için ayrı ayrı kullanılabilir enerji ve tersinmezlikleri göstermekte ve kayıpların yüksek olduğu yerleri fark edip çözüm yolları aramamıza olanak sağlamaktadır. Sonuçlara göre en büyük kayıp değeri kazanda görülmüştür.

6.2.2 Soğutma Sistemi Elemanlarında Elde Edilen Sonuçlar

Soğutma sistemi elemanlarının giriş ve çıkış noktalarındaki sıcaklık, debi, entalpi değerleri ve Eş. 5.48, Eş. 5.49, Eş. 5.53, Eş. 5.54, Eş. 5.58 ve Eş. 5.59 kullanılarak elde edilen ekserji değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. Soğutma sistemindeki elemanların termodinamiksel özellikleri ve noktasal ekserjileri

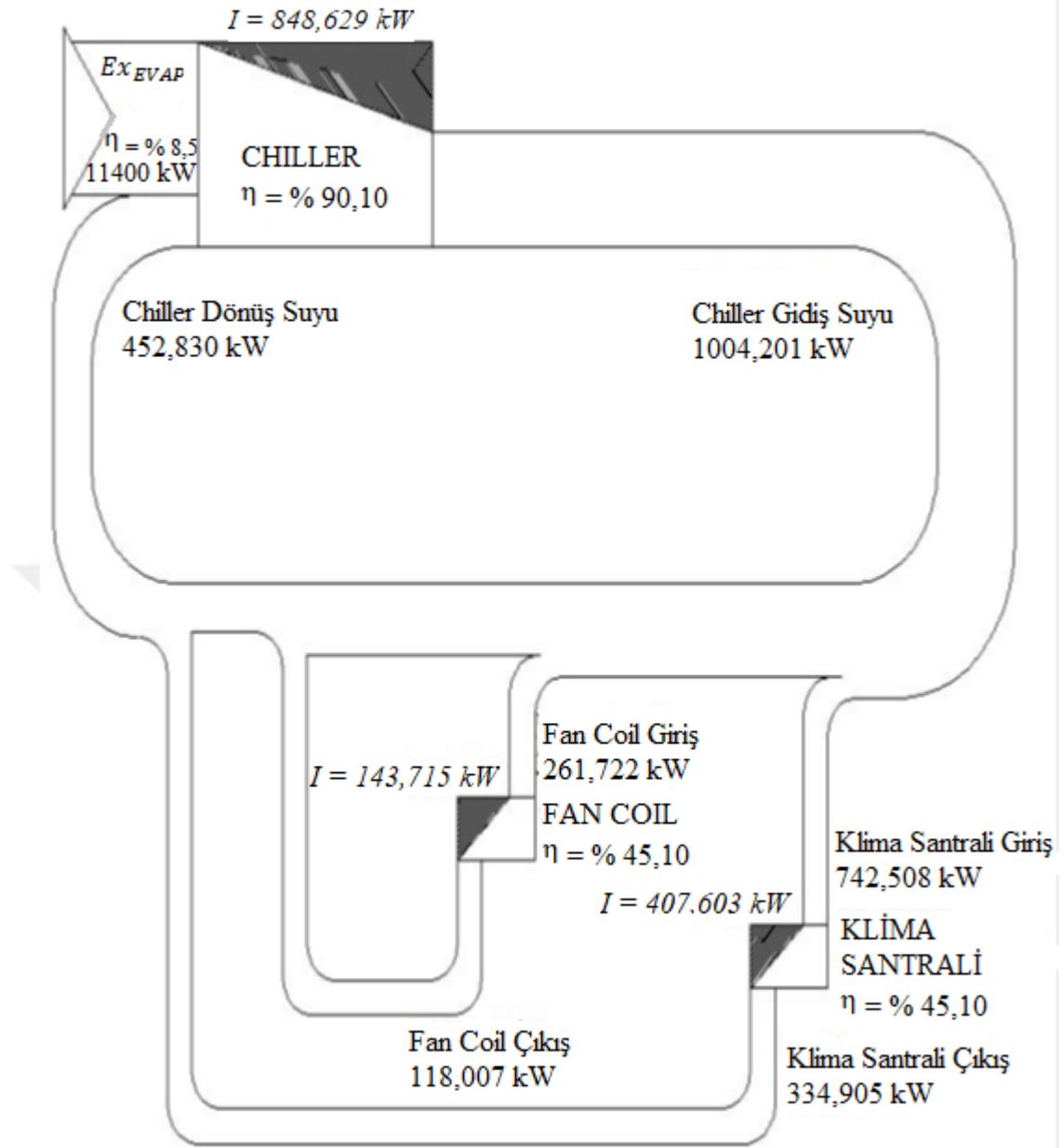
No	Açıklaması	Akışkan Tipi	Sıcaklığı $T (^{\circ}C)$	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kgK)	Kütleli Debi $\dot{m}(kg/s)$	Ekserji Ψ (kJ/kg)	Ekserji Miktarı (kW)
1	Chiller girişi	Su	12°C	50,426	0,18132	458,33	0,988	452,830
2	Chiller çıkışı	Su	7°C	29,428	0,10682	458,33	2,191	1004,201
3	Klima Santrali girişi	Su	7°C	29,428	0,10682	338,89	2,191	742,508
4	Klima santrali çıkışı	Su	12°C	50,426	0,18132	338,89	0,988	334,905
5	Fan-coil ünitesi girişi	Su	7°C	29,428	0,10682	119,44	2,191	261,722
6	Fan-coil ünitesi çıkışı	Su	12°C	50,426	0,18132	119,44	0,988	118,007

Çizelge 6.7’ deki noktasal ekserji değerleri, Eş. 5.63’de yerine konulduğunda soğutma sistemi elemanları için hesaplanan ekserjik kayıp ve verim değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 6.8. Soğutma sistemindeki elemanların ekserjik özellikleri

Cihaz No	Cihaz İsmi	ΣEx_{Giren} (kW)	$\Sigma Ex_{Çıkan}$ (kW)	$\Sigma Ex_{Kayıp}$ (kW)	Ekserjik Verim (η)
1	Chiller	11852,83	1004,201	10848,629	0,085
2	Klima Santrali	742,508	334,905	407,603	0,451
3	Fan-Coil	261,722	118,007	143,715	0,451

Hesaplanan ekserjik değerlerin daha iyi bir şekilde yorumlanabilmesi için sonuçlar Şekil 6.4’ de Grassman diyagramı üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Soğutma sistemi için Grassman diyagramı

6.3 Enerji ve Ekserji Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

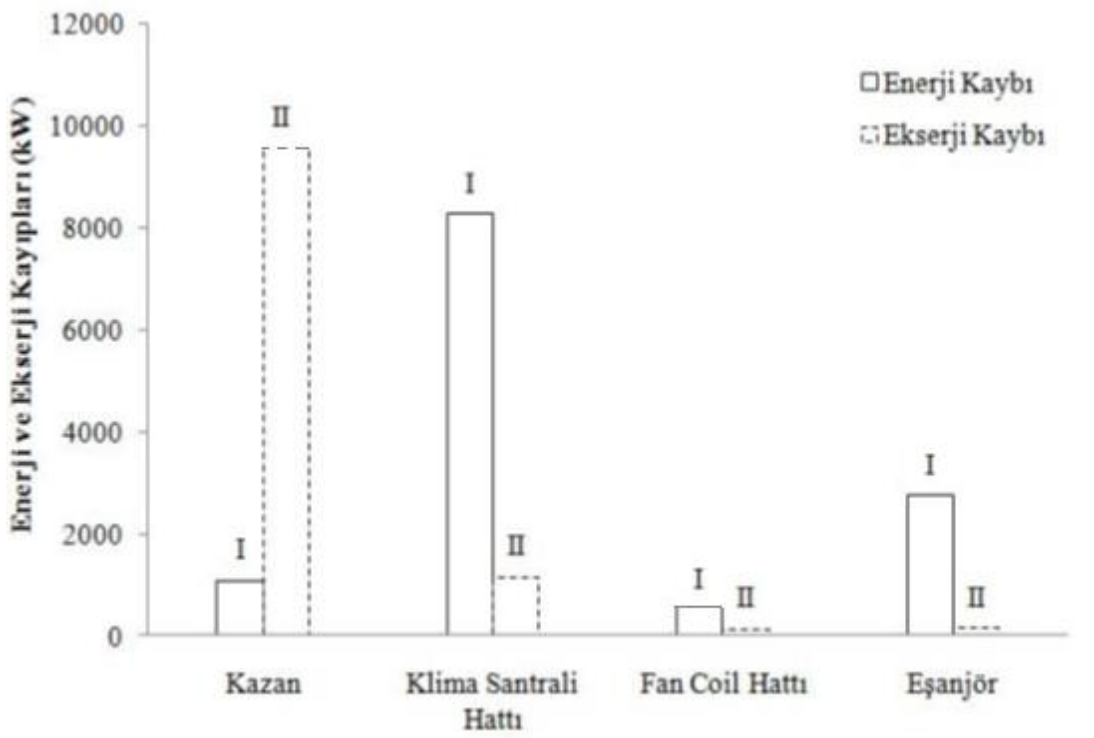
6.3.1 Isıtma Sisteminin Karşılaştırılması

Otelin ısıtma sistemi elemanlarında yapılan enerji ve ekserji analizleri sonucunda hesaplanan değerler Çizelge 6.9' da gösterilmiştir.

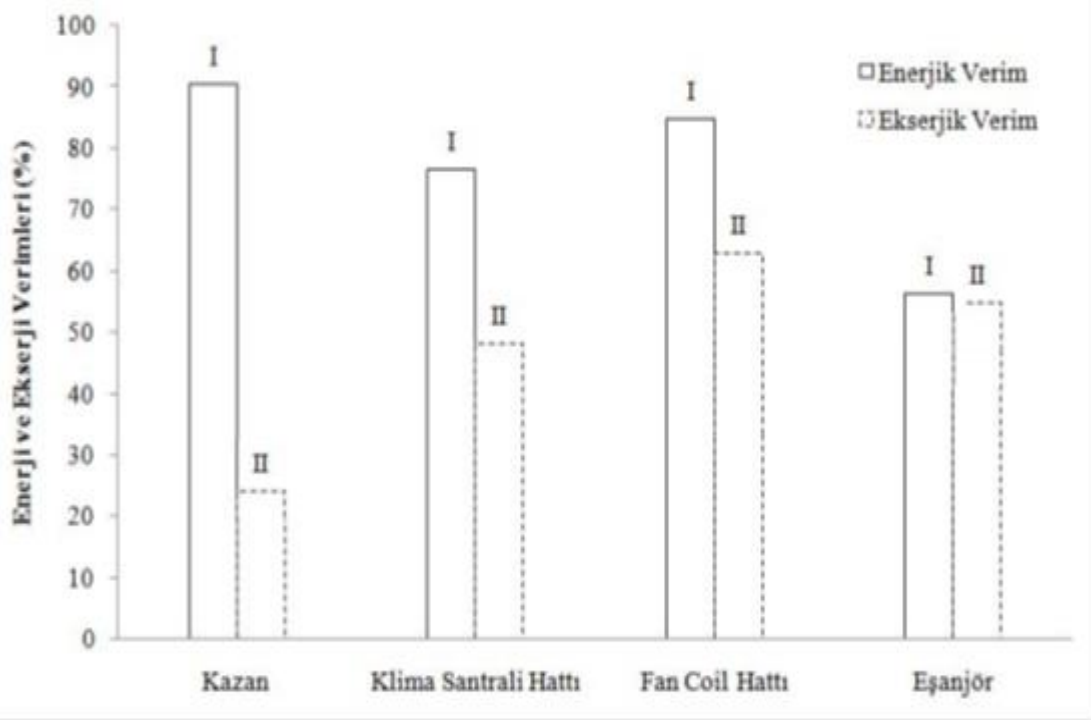
Çizelge 6.9. Isıtma sistemindeki cihazların enerji ve ekserji analiz sonuçları

Cihaz No	Cihaz İsmi	Enerjik Kayıp (kW)	Ekserjik Kayıp (kW)	Enerjik Verim (η_Q)	Ekserjik Verim (η_{Ex})
1	Kazan	1069,626	9981,921	90,6	25,4
2	Klima Santrali Hattı	8275,2435	1291,56	77,7	49,9
3	Fan Coil Hattı	581,4332	69,37	85,7	61,7
4	Eşanjör	2752,8528	140,673	57,7	57,5

Otel ısıtma sistemi üzerindeki cihazların çalışma performanslarının daha iyi karşılaştırılabilmesi için yukarıdaki çizelgede verilen değerler, aşağıdaki grafikler üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Isıtma sistemi enerji ve ekserji kayıpları



Şekil 6.6. Isıtma sistemi enerji ve ekserji verimleri

Yapının ısıtma sistemindeki elemanların kayıp ve verim değerleri tek tek hesaplanmıştır. Buna göre kazanın enerji kayıp değeri 1069,63 KW ve kazan verimi % 90,6' dir. Ekserji kayıp değeri ise 9981,92 KW ve ekserji verimi % 25,4' tür. Yapılan diğer araştırmalar incelendiğinde de literatürde benzer sonuçlara rastlanmıştır.

Klima santrali hattındaki enerji kayıp değeri 8275,24 KW ve enerji verimi % 77,7' dir. Ekserji kayıp değeri ise 1291,56 KW ve ekserji verimi % 49,9' dur.

Fan-coil hattındaki enerji kayıp değeri 581,43 KW ve enerji verimi % 85,7' dir. Ekserji kayıp değeri ise 69,37 KW ve ekserji verimi % 61,7' dir.

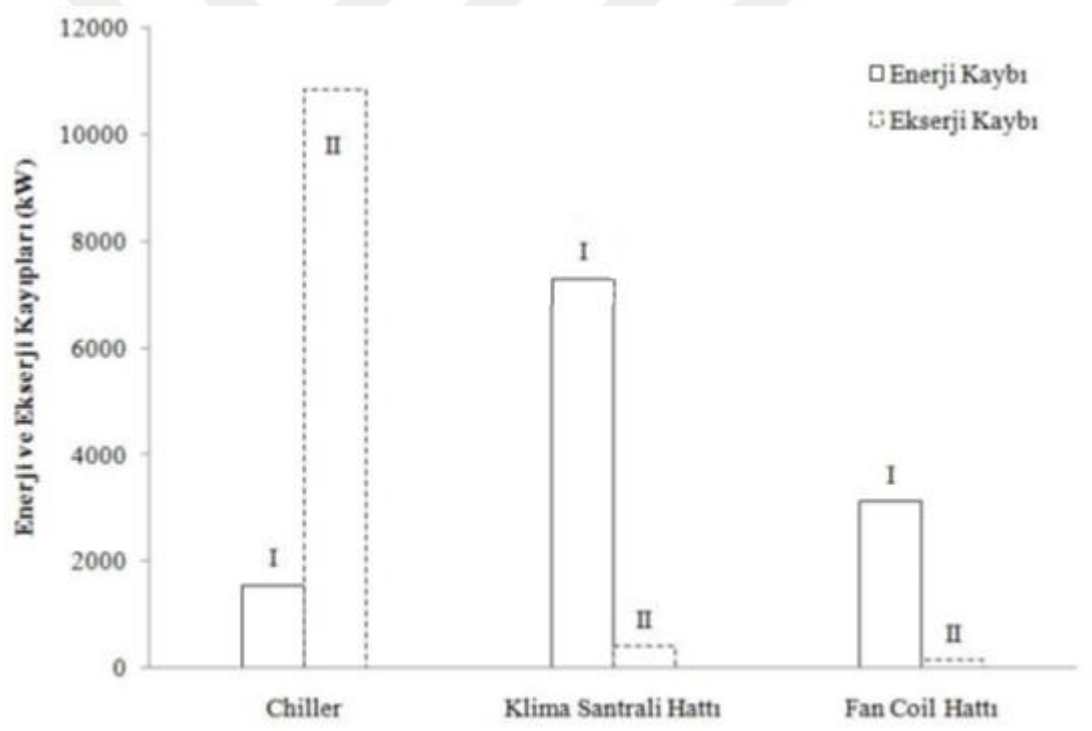
Eşanjör hattında enerji kayıp değeri 2752,85 KW ve enerji verimi % 57,7' dir. Ekserji kayıp değeri ise 140,67 KW ve ekserji verimi % 57,5' dir.

6.3.2 Soğutma Sisteminin Karşılaştırılması

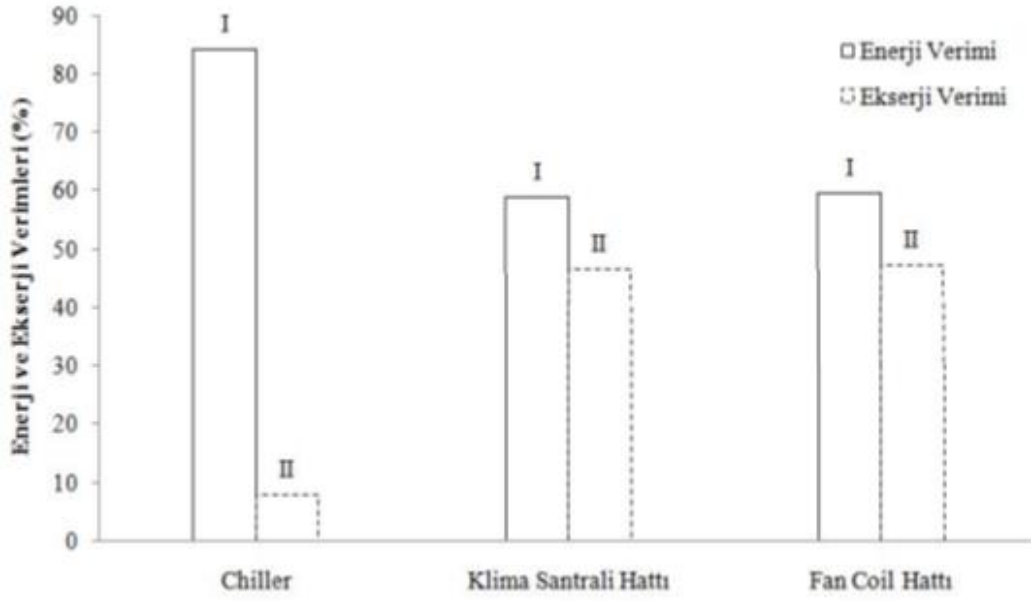
Çizelge 6.10. Soğutma sistemindeki cihazların enerji ve ekserji analiz sonuçları

Cihaz No	Cihaz İsmi	Enerjik Kayıp (kW)	Ekserjik Kayıp (kW)	Enerjik Verim (η_Q)	Ekserjik Verim (η_{Ex})
1	Chiller	1775,99	10848,629	84,4	8,5
2	Klima Santrali Hattı	7116,02	407,603	58,36	45,1
3	Fan Coil Hattı	2508	143,715	58,36	45,1

Soğutma sisteminde elde edilen hesap sonuçlarında, fan coil hattı üzerinde kayıp değerleri düşük ve verim değerleri yüksek bulunmuştur.

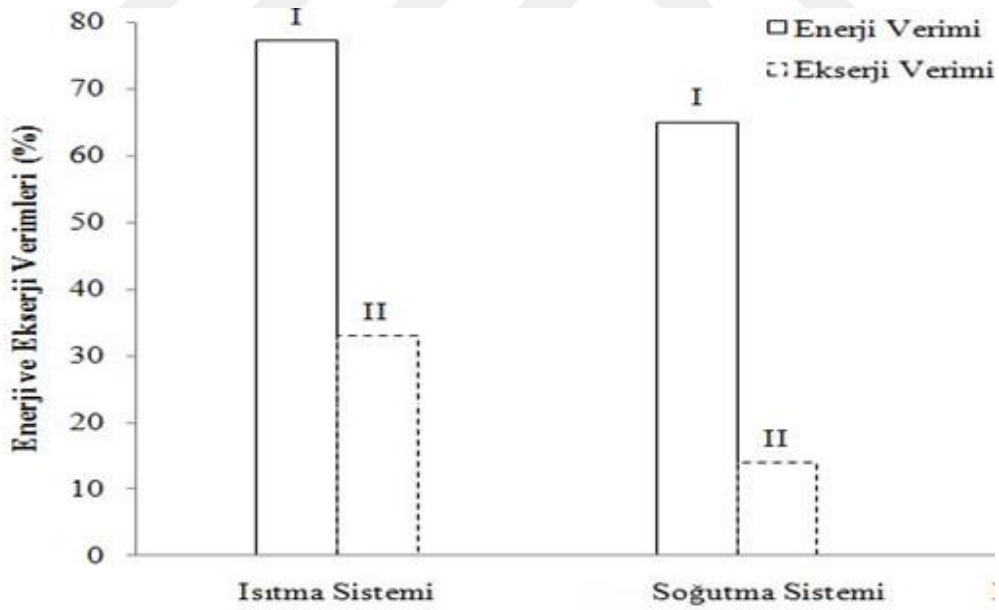


Şekil 6.7. Soğutma sistemi enerji ve ekserji kayıpları



Şekil 6.8. Soğutma sistemi enerji ve ekserji verim değerleri

Otelin ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji ve ekserji verimleri grafikler üzerinde ayrı ayrı gösterildikten sonra, iki ayrı sistem için toplam enerji ve ekserji verim değerleri Şekil 6.9’ daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Otele ait sistemlerin enerji ve ekserji verimleri

Otelin ısıtma sistemindeki enerji verimi % 78,5 ve ekserji verimi % 30,3 olarak, soğutma sistemindeki enerji verimi ise % 66,9 ve ekserji verimi % 11,3 olarak hesaplanmıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, klima santrali, ısıtma kazanı, fancoil ve eşanjör gibi merkezi ısıtma bileşenlerinin enerji ve ekserji hesaplamaları konusunda detaylı bilgiler verilmiştir. Isıtma ve soğutma sistemlerinde gerçekleştirilen enerji analizi ile yüksek verimler ve ekserji analizi ile ise düşük verimler elde edildiği gözlemlenmiştir. Kazandaki verimin gerçek koşullarda % 90 gibi yüksek bir değere ulaşmayacağı, ekserji analizi metoduyla ispatlanmıştır. MIST' larda ekserji analizine göre yapılan performans değerlendirilmesinin, hem tasarımcılar hem de uygulamacılar için daha yararlı olacağı ortaya konulmuştur. Mekanik ısıtma soğutma sistemlerinde ekserji analizinin yapılması, sistemdeki elemanların performansları hakkında daha gerçekçi yorumlar yapılabilmesi ve kayıp yerleriyle kayıp oranlarının daha doğru bir şekilde tespit edilebilmesine olanak vermektedir. Bu nedenle analizi gerçekleştiren otele ait ısıtma ve soğutma sistemi elemanlarının performanslarıyla ilgili olarak aşağıda sıralanan öneriler dikkate alınabilir.

1. Fan-coiller ve klima santralleri, akışkandaki enerjiyi üzerlerinden geçen havaya aktaran cihazlardır. Cihazlardaki verimi arttırmak için bataryaların (serpantinlerin) yapıları değiştirilebilir.
2. Isıtma sistemi gibi soğutma sisteminde de, fan-coil üniteleri ve klima santralinin batarya yapıları değiştirilerek, ısı transfer yüzeyleri artırılabilir. Böylelikle cihazlarda verim artışı sağlanabilir.
3. Grassman diyagramında görüldüğü üzere, ısıtma sistemi üzerinde yapılan ekserji analizine göre kazan oldukça düşük bir verimle çalışmakta, yakıttan gelen enerjinin büyük bir bölümü faydalı işe dönüştürülememektedir. Dolayısı ile hepsinden önce kazandaki yanmanın iyileştirilmesi gerekmektedir.
4. Kullanım sıcak suyu eşanjöre 5 °C' de girmekte ve 40 °C' de çıkmaktadır. Eğer sistemde bu döngü esnasında kullanılmadan dönüş yapan su mevcutsa, akümülayon tankları kullanılarak sudaki enerji büyük ölçüde kaybedilmeden değerlendirilebilir ve eşanjör verimi artırılabilir.

8. KAYNAKLAR

- Adell, Mekanik Tesisat Nedir? Mekanik Tesisat Ne Demektir?, <https://emagaza.adell.com/blogs/blog/mekanik-tesisat-nedir-mekanik-tesisat-ne-demektir>, 1 Nisan 2019.
- Altundağ A (2015) Bir Hastanede Ameliyathane Klima Santrali Isıtma Hattının Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, KÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Ercan U (2015) Özel K Tabloları ve Diyagramları, <https://docplayer.biz.tr/3014-Ozel-k-tabloları-ve-d-yagramları-tablo-a-20.html>, 28 Kasım 2019.
- Ergün A (2010) 80.000 m²'lik Isıtma Soğutma İhtiyacı Olan Bir Alışveriş Merkezinin Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fizik Mühendisi, Termodinamiğin Temel Kavramları Ders Notları, <http://www.fizikmuh.com/termodinamiğin-temel-kavramları-ders-notları/>, 31 Mart 2019.
- Fsm Mekanik, Klima Santrali, <http://www.fsmmekanik.com/klima-santrali>, 22 Nisan 2019.
- Güngör A, Karaçaylı İ, Şimşek E ve Canlı Y (2017) Geri Dönüş Havalı İklimlendirme Sistemlerinde Enerji ve Ekserji Analizi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(3): 19-29.
- Karaçaylı İ, Güngör A ve Canlı Y (2016) İklimlendirme Sistemlerinde Ekserji Analizi ve Örnek Bir Uygulama, International Mediterranean Science and Engineering Congress, 26-28 Ekim 2016, Adana.
- Karakoç NH, Erbay B ve Aras H (2012) Enerji Analizi, 1. Baskı, Anadolu Üniversitesi Yayınları, 214, Eskişehir.
- Leblebicioğlu E (2018) Termodinamiğin 2. Yasası ve Entropi, <https://muhendistan.com/termodinamiğin-2-yasası-ve-entropi/>, 27 Mart 2019.
- Mahmudoğlu Y (2017) Entropi ve Meşhur Termodinamiğin 2. Yasası, <https://www.matematikselsel.org/entropi-termodinamiğin-meshur-2-yasası>, 24 Mart 2019.
- Özer M (2007) Bir Ameliyathane Klima Santrali Tasarımı, Termodinamik Testleri ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özgener L ve Hepbaşlı A (2003) HVAC Sistemlerinde Ekserji Analizinin Gerekliği ve Uygulamaları, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 1-14 Ekim 2003, İzmir.

Tesisat, Klima Santrali Nedir? Klima Santrali Çeşitleri, <https://www.tesisat.org/klima-santrali-nedir-klima-santrali-sistemleri.html>, 22 Nisan 2019.

Tesisat, Tesisat Nedir ve Tesisat Çeşitleri Nelerdir, <https://www.tesisat.org/tesisat-nedir-ve-tesisat-cesitleri-nelerdir.html>, 1 Nisan 2019.

Tufan T (2017) Varlığın ve Yokluğun Yasası: Entropi, <https://www.gazeteduvar.com.tr/dunya-forum/2017/06/18/varligin-ve-yoklugun-yasasi-entropi/>, 28 Mart 2019.

Tur Assist, Mekanik Tesisat Nedir? Kaça Ayrılır?, <http://tesisatturkiye.com/tesisat/mekanik-tesisat>, 1 Nisan 2019.

Utlu Z ve Tekin S (2015) Merkezi Isıtma Sistemlerinin Termodinamik Analizi ve Yanma Hava Sıcaklık Değişimlerinin Ekserji Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Nisan 2015, İzmir.

Ünlü G (2010) Sürdürülebilir Binalar İçin HVAC Sistemleri Seçimi, Tasarımı ve Enerji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve Gül

Doğum Yeri ve Tarihi : Rize, 29.07.1992

Lisans Üniversite : Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik posta : muh.merve.colak@gmail.com

İletişim Adresi : Kötekli Mah. 56. Cad. 11214 Sok. 18(A1-2)
No: 11 Merkez / MUĞLA